

Журнал издается с 5.01. 1948 г.

Выходит 3 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈՆԵԳԻԱ

Ռ. Մարտիրոսյան (գլխավոր խմբագիր), Ռ. Աթոյան (գլխ. խմբ. տնօրեն), Տ. Թերզյան (գլխ. խմբ. տնօրեն), Ս. Ղազարյան, Ռ. Մարտիրոսյան, Ն. Մանուկյան, Ֆ. Սարգսյան, Յու Սարգսյան, Վ Սարգսյան, Մ Ստակյան (գլխ. խմբ. տնօրեն), Զ. Ստեփանյան (պատասխանատու քարտուղար), Վ Խաչատրյան, Տ. Զոհինյան:

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. Мартиросян (главный редактор), Р.В. Атоян (зам. глав. редактора), С.М. Казарян, Г.А. Кочинян, 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. Хапатрян.

EDITORIAL BOARD

R.M. Martirosyan (Editor-in-Chief), R.V. Atoyan (Vice-Editor-in-Chief), S.M. Ghazaryan, V.S. Khaachatryan, H.J. Kochinyan, 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).

**ՀԱՆՂԵՍԸ ՀՐԱՏԱՐԱԿՎԱԾ Է ԱՍԵՐԻԿԱՅԻ ՀԱՅ ԿՐԹԱԿԱՆ
ՀԻՄՆԱՐԿՈՒԹՅԱՆ ՆԿԻՐԱՏՎՈՒԹՅԱՄԲ ՀԻՄՆԱԴՐՎԱԾ
ՀԱՄԱԿԱՐԳՉԱՅԻՆ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉԱԿԱՆ ԿԵՆՏՐՈՆՈՄ**

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

Նրատ. խմբագիր՝ ԺԱՆՆԱ ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը եւ ձեւավորումը՝
ԼԻԼԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

© Издательство ГИУ А

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук) 1099

Բ.Գ. ШЕКЯН, М.Н. ХАЧАТРЯН

КОЛЕБАНИЯ ПЛАСТИНЧАТЫХ СИСТЕМ С ПРИСОЕДИНЕННЫМИ МАССАМИ

Դիտարկված է առավելակի կապերով տարածաչափող սիսթեմայի սեփականության կամակարգի տատանումների խնդիրը Շարժման դիֆերենցիալ հավասարումների կամակարգի լուծումը ներկայացված է գործնական կարգի Ֆուրիե ձևակերպման միջոցով: Ցույն է արված, որ առավելակի կապերի տարածաչափող դժգոյանը ոչ գծային կապերով տատանման անսթյուկոսի մեծություններ, հանդիսանում է տատանման սեփականության անպարունք:

Рассмотрены колебания пластинчатых механических систем с присоединенными массами и с переключающимися в зависимости от амплитуды колебания упругими связями. Решение дифференциальных уравнений движения системы представлено через функции Бесселя нулевого порядка. Показано, что переключение упругих связей с линейных на нелинейные в зависимости от амплитуды колебания приводит к появлению неустойчивых зон колебаний.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

The vibrations of plate-like mechanical systems with apparent additional masses and with switching depending on the amplitude of the vibration, elastic connections are considered. The solution of differential equations of the motion is represented by Bessel's function of zero the order. It is shown that the switching of the elastic connections from linear vibrations into nonlinear depending on the amplitude, vibrations reduced the appearance of unstable zones of vibrations.

Ил. 3. Table 1. Ref. 4.

Рассмотрим пластинчатую механическую систему (рис.1), состоящую из двух параллельных кольцевых пластин 1,2 и двух присоединенных масс 3 и 4. Пусть система нижней пластиной на радиусе R_0 опирается на основании 5. Обе кольцевые пластины по наружному и внутреннему контурам жестко зашпелены в радиальном направлении и с помощью упругих элементов $C_{1v}, C_{2v}, C_{1w}, C_{2w}$ упруго зашпелены в осевом направлении к массам 3 и 4. Упругие элементы, расположенные по внутренним контурам верхней и нижней пластин, соответственно могут переключаться с линейной жесткости C_{1v}, C_{2v} на нелинейную C_{1v}^*, C_{2v}^* , если перемещение массы m_1 относительно внутреннего контура одной из пластин превышает заранее заданную величину δ . При этом упруго-восстанавливающие силы нелинейных элементов выражаются зависимостями

$$F_{1w} = \alpha C_{1w}^* [W(a_w, t) - X_1(t)] [W(a_w, t) - X_1(t)]^{p-2},$$

$$F_{1v} = \alpha C_{1v}^* [V(a_v, t) - X_1(t)] [V(a_v, t) - X_1(t)]^{p-2},$$
(1)

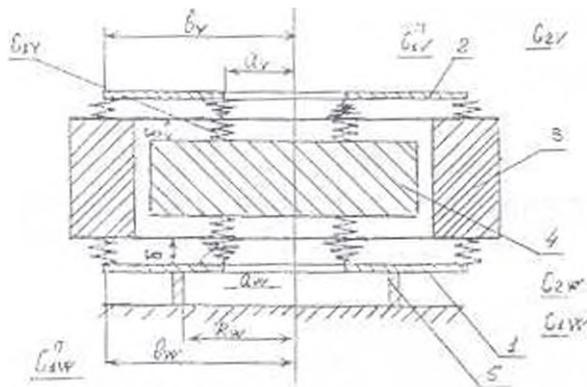


Рис. 1. Динамическая модель пластинчатой системы с присоединенными массами: 1, 2 - кольцевые пластины; 3, 4 - присоединенные массы; 5 - опора; $C_{1v}, C_{2v}, C_{3v}, C_{4v}, C_{1w}, C_{2w}, C_{3w}, C_{4w}$ - упругие связи

Вынужденные колебания можно описать системой дифференциальных уравнений вида [1]

$$\begin{cases} \Delta^2 V - \frac{q_v}{D_v} \frac{\partial^2 V}{\partial t^2} = 0, \\ \Delta^2 W + \frac{q_w}{D_w} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = 0, \\ m_1 X_1 + F_v(t) + F_{1v}(t) = f(t), \\ m_2 X_2 + F_v'(t) + F_w'(t) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где $f(t)$ - функция возмущения; $F_v = -2\pi a_v Q_v(a_v, t)$, $F_v' = -2\pi b_v Q_v(b_v, t)$, $F_w = -2\pi a_w Q_w(a_w, t)$, $F_w' = -2\pi b_w Q_w(b_w, t)$,

$$Q_v = D_v \frac{\partial^2}{\partial r^2} (\Delta V), \quad Q_w = D_w \frac{\partial^2}{\partial r^2} (\Delta W), \quad F_w = -2\pi a_w Q_w(a_w, t),$$

$$F_w' = -2\pi b_w Q_w(b_w, t), \quad Q_v = D_v \frac{\partial^2}{\partial r^2} (\Delta V), \quad Q_w = D_w \frac{\partial^2}{\partial r^2} (\Delta W),$$

Δ - дифференциальный оператор Лапласа в полярных координатах; $W, q_w, D_w, Q_w, a_w, b_w$ и $V, q_v, D_v, Q_v, a_v, b_v$ - прогиб, удельный вес, цилиндрическая жесткость, интенсивность перерезывающей силы, внешние и внутренние радиусы верхней и нижней пластин соответственно; X_1, X_2 - перемещения масс 4 и 3, r, Q - полярные координаты, t - время.

Введение нелинейных членов в граничные условия немного усложняет решение поставленных задач, но дает возможность точно оценить положение резонансных зон в общем диапазоне частот.

Из граничных условий следует, что колебания системы при малых возмущениях будут происходить с нулевыми узловыми

линиями [2]. Поэтому решение системы дифференциальных уравнений можно представить через функцию Бесселя нулевого порядка [3-4]:

$$V(r,t) = [A_1 J_0(\chi_1, r) + B_1 N_0(\chi_1, r) + C_1 I_0(\chi_1, r) + D_1 K_0(\chi_1, r)] \cos \omega t. \quad (3)$$

$$W(r,t) = [A_2 J_0(\chi_2, r) + B_2 N_0(\chi_2, r) + C_2 I_0(\chi_2, r) + D_2 K_0(\chi_2, r)] \cos \omega t. \quad (4)$$

где $\chi_1^4 = \frac{q_V \omega^2}{D_V}$, $\chi_2^4 = \frac{q_W \omega^2}{D_W}$.

Тогда массы m_1 и m_2 будут двигаться по закону

$$\dot{X}_1 = X_{10} \cos \omega t, \quad (5)$$

$$\dot{X}_2 = X_{20} \cos \omega t. \quad (6)$$

Подставив (3-6) и граничные условия в (2), получим частотные уравнения, представленные в матричной форме

$$|a_{ij}| = 0, \quad (7)$$

где a_{ij} - элементы матрицы, составленные из коэффициентов системы, при неизвестных амплитудах.

Из (7) могут быть найдены неизвестные собственные частоты системы. Решение векового уравнения производится при помощи ЭВМ методом проб. Для определения неизвестных амплитуд колебаний наиболее удобным является метод преобразования Лапласа, т.к. в исследуемой задаче нет ограничений на внешнюю нагрузку $f(t)$.

Процесс программирования и решение на ЭВМ производится следующим образом. Выбираются некоторые дискретные значения $\{t_n\}$, равностоящие и входящие в интервал периода функции (11). Далее решение задачи производится при помощи метода проб относительно максимальных значений $|W(a_w, t) - X_1(t)|$ и $|V(a_v, t) - X_1(t)|$.

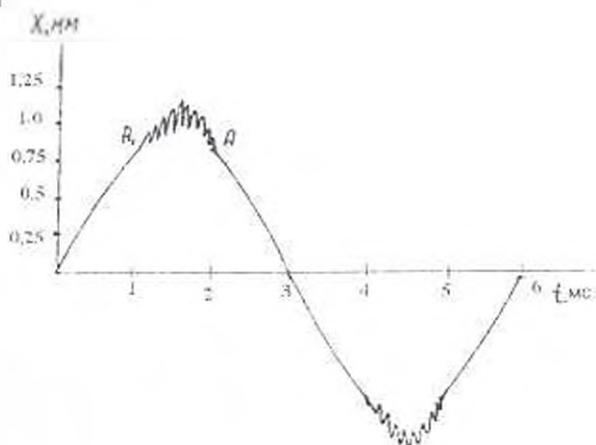


Рис.2. Зависимость перемещения массы m_1 от времени

На основании результатов решения системы построен график зависимости перемещения элемента 1 от времени (рис.2). В интервале OA , функционируют линейные пружины по внутреннему контуру пластины. В промежутке A_1A_2 одна из линейных пружин не функционирует, в связи с чем возникают колебания с более высокой частотой, с вырожденными пиками, что объясняется резким, почти ударным переходом линейной системы в нелинейную. В промежутке A_2A_3 обе линейные пружины снова функционируют. В следующем полупериоде аналогичный процесс повторяется, только в промежутке времени, когда не функционирует другая линейная пружина.

В промежутке A_1A_3 (рис.3) появление зоны неустойчивости в виде амплитудного "срыва" соответствует интервалу времени, когда линейная пружина не функционирует, т.е. $|W(a_w, t) - X_1(t)| > \delta$ или $|V(a_v, t) - X_1(t)| > \delta$. При увеличении амплитуды колебания в зоне A_1A_3 (рис.3) изменение относительного перемещения происходит по стрелкам, расположенным ниже линии графика, а при уменьшении - по стрелкам, расположенным выше линии графика. "Срыв" колебания происходит при увеличении амплитуды внешней нагрузки в точках A_1, A_2 , а при понижении - в точках A_3, A_4 .

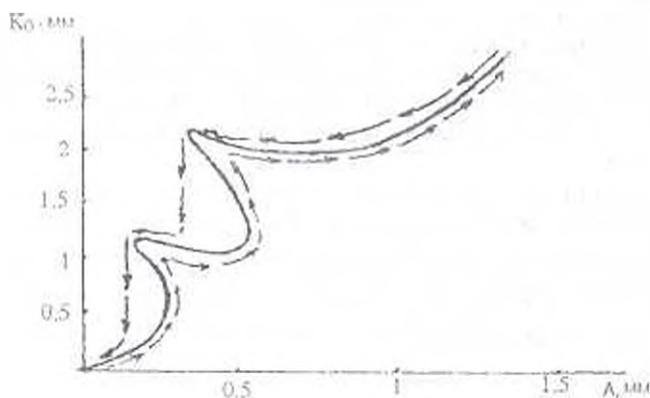


Рис. 3 Зависимость амплитуды относительного перемещения $K_1 = W(a_w, t) - X_1(t)$ от амплитуды возбуждения при фиксированной частоте колебания

Указанные явления обнаружены также при экспериментальных исследованиях.

Таким образом, предложенная методика исследования колебательных процессов систем позволила изучить переходные процессы линейно-упругих пластинчатых систем с переключающимися нелинейными элементами и выявить зоны неустойчивости в виде амплитудных срывов.

Решение частотных уравнений (7) методом проб производилось на ЭВМ, что дало возможность определить резонансные частоты малых роторных машин. В таблице приведены сравнительные результаты расчетов и измерений габаритов 50...65 мм.

Таблица

Расчетные и экспериментальные значения резонансных частот
малых роторных машин

Габа- рнты двигат- еля	Гармоники, Гц									
	I		II		III		IV		V	
	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.	теор.	эксп.
50	83	85	426	440	992	1050	1800	1910	3270	3320
56	78	80	397	410	963	1000	1750	1800	3150	3250
65	70	78	348	460	936	980	1520	1610	3070	3150

Как видно из таблицы, предложенный метод расчета собственных частот роторных машин дает результаты, достаточно близкие к экспериментальным данным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов А.Л. Колебания деформируемых систем - М.: Машиностроение, 1970. - 136 с.
2. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний. - М.: Высшая школа, 1972. - 416 с.
3. Справочник по специальным функциям / Под ред. М. Абрамовича и Н. Стигона. - М.: Наука, 1979. - 830 с.
4. Деч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа - М.: Наука, 1971. - 288 с.

Ин-т механики НАН РА

19.02.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 2, 1999, с. 145-152

УДК 621.9.01

МАШИНОСТРОЕНИЕ

С.Ш. ХРИСТАФОРЯН

О ПРОЦЕССЕ РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ КАК САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СТРУКТУРЕ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ВЕЩЕСТВА

Ինքնակազմակերպման և կառուցվածքների զարգացման դիրքերից ղիտարվում են կտրման տեսության հարցերը՝ ստացվագոյացման գործընթացին համանման ֆիզիկական մոդելի մշակման ենթամեթոդով:

Рассматриваются вопросы теории резания с позиции науки о самоорганизации и эволюции структур в контексте разработки адекватной физической модели процесса образования стружки.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.

Cutting theory problems from the viewpoint of the science on self-organization and evolution of structures are considered. An adequate physical model of a shearing formation process is worked out.

Fig. 2 Table 1, Ref. 7.

Процесс резания исследуется весьма долго, но, несмотря на огромный опыт в практике резания, наличие богатейшего фактического материала и достаточный уровень теоретических достижений в науке о резании материалов, основной вопрос теории адекватное описание сложнейшего физического процесса стружкообразования при резании - остается открытым.

Определенные перспективы в развитии науки раскрылись с бурным развитием новейших достижений научной мысли - неравновесной термодинамики и синергетики [1,2]. Однако, если несомненные успехи в приложении отмеченных теорий к вопросам механики разрушения материалов подтверждены, то в теории резания материалов в последний период еще не было шагов в этом направлении. Не последнюю в этом отставании роль сыграло и то, что на всех этапах развития, практически, реализация нового в резании материалов намного опережала теоретические проработки, т.к. потребности машиностроения диктовали такие условия.

Проблема физической модели стружкообразования особенно проявилась в связи с попытками ее привлечения к решению вопросов комбинированных методов обработки, в том числе и процесса резания с применением ультразвука (УЗ). С одной стороны, достоверные результаты о состоянии материала в области стружкообразования не согласовывались с моделью условной плоскости сдвига, с другой, эта модель не позволяла описать бесспорные положительные эффекты УЗ резания.

В 80-е годы начинается активный поиск новых решений о проблеме резания материалов, определении физической модели пластического деформирования при резании и осмыслении процесса резания как физического процесса. К этому периоду относятся и выполненные в Армении масштабные исследования процессов резания с применением дополнительных источников энергии, в том числе и УЗ, и вопросов термодинамики и энергетики процесса резания, а также первые результаты по разработке основ теории самоорганизующегося процесса резания на основе положений неравновесной термодинамики и синергетики [3,4]. В начале 90-х годов представления ряда авторов о характере состояния материала в зоне стружкообразования существенно различаются, в последние годы наблюдается повышенный интерес к возможности привлечения неравновесной термодинамики и синергетики к проблемам резания. Отношение к синергетическому подходу в вопросах резания существенно изменилось [5], но до разработки целостной концепции еще далеко. Поэтому целесообразно провести публикацию основных материалов исследований по разработке основ теории самоорганизующегося процесса резания, проводимой с конца 70-х годов в ГИУА.

В основу нового подхода к вопросу о физической модели процесса стружкообразования и концепции резания материалов заложены:

- отказ от существующих моделей, как недостаточно оправдавших себя в решении основной задачи теории резания с одновременным использованием достоверного фактического материала теории и практики резания;

- выделение физического процесса стружкообразования в отдельное явление, не связанное с целями изготовления конкретной детали;

- использование новейших достижений науки и методологии анализа;

- граничные условия, характерные для области стружкообразования и резания материалов, с учетом того, что система резания открытая и многокомпонентная, термодинамические функции имеют смысл для открытых систем, а обмен энергией и веществом с внешним миром и между компонентами допускается через характерные явные и условные границы.

Энтропия S и внутренняя энергия системы U обладают свойством аддитивности, и для открытых систем изменение их может произойти за счет обмена энергией и веществом с внешней средой, а также процессов, происходящих внутри системы, т.е. $dS = d_e S + d_i S$ и $dU = d_e U + d_i U$. Для реальных процессов $d_e S > 0$, тогда как $d_i S$ может иметь любой знак и величину в некотором интервале времени. Условию равновесия соответствует $dS = 0$, а $S = \max$ означает низшую степень организованности при заданных энергии, объеме и массе. Любое сравнительно организованное состояние неравновесно, и для него справедлив второй закон термодинамики. Текущее равновесие системы, устойчивое по отношению к малым отклонениям, определяется как $d_e U = 0$; $d_e S = -d_i S \leq 0$, и для поддержания ее в системе должен происходить приток отрицательной энтропии, компенсирующий производство энтропии в системе.

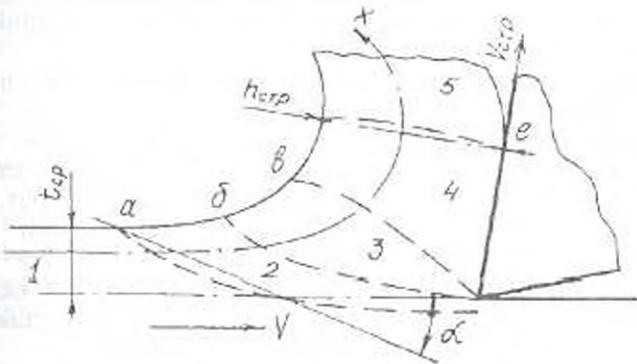


Рис.1 Область стружкообразования (CP), разделенная на пять акцентированных фрагментов и разграниченная условными поверхностями - границами в соответствии с уровнем порядка фрагментов

Так как $d_e S > 0$ и энергетические процессы, протекающие в системе, всегда диссипативны, что является явным признаком текущего равновесия, то необходимо иметь определенное

соотношение между производством энтропии и обменом ею со средой. Для формирования упорядоченных структур в открытых системах отдача энтропии должна превышать некоторое критическое значение, т.е. необходима самоорганизация. Существует два вида необратимых процессов: разрушение (деградация) структуры вблизи положения равновесия - универсальное свойство систем в произвольных условиях; возникновение (эволюция) структур вдали от равновесия, обусловленное тем, что система открыта, обладает нелинейной внутренней динамикой, внешние ее параметры превышают критические значения, а микроскопические процессы происходят кооперированно.

Процесс резания - явно необратимый процесс, причем если на входе некоторой функциональной системы (структура резания - СР) имеется квазиизотропный материал, то на выходе - высокоорганизованная конфигурация (мода) исходного материала - стружка (текстура, форма, свойства и пр.). Отметим, что иных методов получения структуры стружки не существует, и это безусловная прерогатива СР. За счет подвода энергии и вещества к СР в ней происходит структурирование исходного материала с выходом новой моды, отличающейся более высоким порядком и меньшим числом степеней свободы или симметрии, т.е. процесс стружкообразования созидательный, а созидующее функциональное устройство (СР) возникает самостоятельно и самоорганизуется в зависимости от внешнего и внутреннего полей параметров. Компоненты СР имеют различные уровни, масштаб и природу, а связи между ними, по существу, нелинейны.

Процесс резания происходит в значительном отклонении от равновесия, СР подвержена внешнему воздействию, микропроцессы в ней происходят кооперированно, а динамические уравнения ее нелинейны, т.е. возникновение СР неизбежно как явление класса самоорганизации. Описание таких систем необходимо проводить на всех уровнях с привлечением совершенно различных концепций, а физическая модель СР должна быть свободна от ограничений и быть общей для любого случая резания и при любом сочетании входных параметров.

Отметим, что если технологическая система, обеспечивающая процесс резания, настроена так, что в ней не возникает существенных флуктуаций, то самоорганизующаяся СР будет устойчива сколь угодно долго, а параметры СР будут стабильны и определены. Результаты исследований показывают, что СР характеризуется вполне определенными поверхностями, например, изолиниями, и в ее конфигурации выделить какие-либо плоскости просто невозможно, тогда как основная модель СР основана на условной плоскости сдвига. Учтем этот фактор и рассмотрим СР, основываясь на ее бесспорной макроконфигурации.

Представим СР подобластями или фрагментами (Ф) с явно различными и акцентированными характеристиками, разграничив условно их некоторыми поверхностями - границами (рис.1): Ф1 - идеальный беспорядок (изотропный исходный материал), Ф2 - область упругого деформирования ансамблей исходного материала, причем напряжения сжатия и накопления энергии будут непрерывно возрастать в направлении ФЗ. Здесь происходит интенсивное нарушение изотропности за счет всех известных механизмов теории

пластического деформирования и начинается формирование определенной структуры, которая при подходе к Ф3 становится ярко выраженной и предельно возможной для данной конфигурации с позиций энергонасыщенности, взаимодействий и взаимоотношений ансамблей материала в динамическом и геометрическом понимании.

На границе "б" траектория развития структуры приближается к точке бифуркации, при которой неизбежно происходит переход к новому уровню порядка, так как Ф2, насыщаясь энергией, еще ее не диссипирует. Необходимо отметить, что Ф2 накапливает энергию порядка на микроуровне, проявляющуюся в наведении такой конфигурации Ф2, которая позволяет оптимальным образом осуществить переход в фазовом пространстве состояний. В результате материал в Ф3 приобретает пластичность т.е. еще более высокий уровень порядка с явной кооперативностью поведения ансамблей. Ф3 имеет определенную протяженность в направлении движения материала в СР, характеризуемой криволинейной осью X, т.к. есть непрерывный приток энергии. Одновременно, пластическое деформирование сопровождается выделением тепла, и на эту область оказывает влияние источник тепла в зоне трения на передней грани реза, вследствие чего снижаются пороговые значения характеристик деформируемого материала и пластический сдвиг протекает в определенном интервале времени.

При переходе материала в Ф4 сдвиг прекращается, и структура материала фиксируется в той фрагментации, какой она была на границе "в". Влияние отмеченного источника тепла на Ф4 сказывается на ближайшие к нему слои материала, и в них может продолжаться пластическое деформирование, поэтому моду Ф4 можно считать упруго-пластической. Далее после границы "е", характеризуемой точкой отрыва стружки от реза, структурированный окончательно исходный материал существует как самостоятельная устойчивая мода высокого порядка. Заметим, что фрагменты СР обусловлены определенностью состояния материала в них, т.е. их формы и условные границы между ними могут быть обусловлены только динамическим взаимодействием фрагментов СР и составляющих их ансамблей. Следовательно, при отсутствии флуктуаций в процессе резания для данных условий обработки должны устанавливаться определенные соотношения между фрагментами и их границами [6,7]. Как видно из диаграммы уровней порядка в структуре резания (рис. 2), поток материала в СР через условную границу "а" строго регламентирован скоростью резания, т.е. перенесенная через условную границу масса вещества пропорциональна площади границы и скорости потока. Явление усадки стружки и анализ микрофотографий СР показывают, что длины условных границ неодинаковы и неизменны. Так как в СР не производится масса, то для всех условных границ диффузия массы через любую из определяющих СР поверхностей остается неизменной, иначе нарушается условие сплошности материала, т.е. $V_s \cdot S_s \cdot \rho = \text{const}$, где V_s - среднеинтегральная скорость точечных масс в данной поверхности S_s , характеризующая конфигурацию СР; ρ - плотность вещества.

Определим принятое в теории резания понятие "усадка стружки" не как укорочение ζ или отношение площадей поперечных сечений $S_{стр}$ стружки и $S_{ср}$ срезаемого слоя, а как отношение скоростей входа и выхода материала в СР. Зная, что эти скорости отличны друг от друга, можно записать $V = \zeta V_{ср}$, где V и $V_{ср}$ - соответственно скорости поступающего в СР и отводимого из нее материала; ζ - коэффициент изменения скорости материала при прохождении СР. Для некоторого объема материала, поступающего в СР, можно записать

$$mV^2/2 = \zeta^2 mV_{ср}^2/2, E - E_{ср} = (\zeta^2 - 1)E_{ср} \text{ и } E_s = E(1 - \zeta^{-2}),$$

где E , $E_{ср}$, E_s - соответственно энергии исходного, структурированного материала и затраченной на структурирование.



Рис. 2. Диаграмма уровней порядка в СР: 1 - 4 - точки бифуркации в фазовом пространстве состояний материала в СР, _____ траектория развития системы, - - - - - возможные траектории развития системы после точек бифуркации

Допуская, что для данных условий обработки и определенной массы $E_s = \text{const}$, можно записать $mV^2(1 - \zeta^{-2})/2 = \text{const}$ или $\zeta^{-2} = (1 - 2E_s/mV^2)^{-1}$, что имеет смысл при $V^2 > 2E_s/m$, т.е. стружкообразование может произойти, если данная масса материала обладает энергией, большей, чем необходимая для структурирования его в стружку, что не может вызвать каких-либо возражений. Заменяв усадку ζ на отношение длин срезаемого слоя и стружки, получим $l = l_{ср}(1 - V_s^2/V^2)^{-0.5}$. Полученные результаты говорят о том, что конфигурация СР должна быть обусловлена условными поверхностями, для которых произведение среднеинтегральной скорости вещества в ней на площадь поверхности есть постоянная

величина для данных условий резания, т.е. $D_s \cdot S_1 = \text{const.}$ где D_s - скорость диффузии вещества через определяющие СР условные поверхности.

Результаты синергетического анализа СР указывают на наличие существенных элементов погрешности в анализе СР посредством условной плоскости сдвига и открывают перспективы пересмотра известных в теории резания динамических, кинематических и геометрических соотношений в СР. Например, ζ_s не совпадает с общепринятой ζ , и это обусловлено тем, что площадь поверхности, с которой начинается вовлечение материала в СР, не равна площади поперечного сечения срезаемого слоя. В связи с этим возможно по известной величине традиционной усадки ζ определить угол наклона поверхности "п" аппроксимированной плоскостью к направлению резания - α (табл.)

Таблица

ζ_s	ζ	α	ζ	ζ_x	α	ζ	ζ	α
1,1	1,0042	65°64'	2,0	1,1574	35°18'	4,0	1,511	22°10'
1,2	1,0142	57°41'	2,2	1,1931	32°51'	5,0	1,666	19°30'
1,4	1,0435	48°12'	2,5	1,25	30°	7,0	1,9417	15°6'
1,6	1,0787	42°24'	3,0	1,3423	26°30'	10	2,3	13°23'
1,8	1,1156	38°18'	3,5	1,4291	24°6'	-	-	-

Представленные выше некоторые результаты по разработке основ самоорганизующегося процесса резания подтверждают ранее полученные по разработке физической модели пластического деформирования при резании [3, 4, 6, 7].

Таким образом, анализ СР, основанный на синергетическом подходе к самоорганизующейся СР, позволил выявить основные закономерности влияния входных параметров процесса резания на параметры СР, что существенно повысило возможности анализа процесса резания и прогнозирования его результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакен Г. Синергетика. - М. Мир, 1980. - 283 с.
2. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядочению через флуктуации. - М., Мир, 1979. - 512 с.
3. Христафорян С.Ш. Влияние УЗК на процесс пластического деформирования при высоких скоростях резания // Электрофизические и электрохимические методы обработки // НИИМАН. - М., 1983. - № 4. - С. 9-12.
4. Касьян М.В., Христафорян С.Ш. К вопросу о механизме возникновения структуры резания // Изв. вузов. Машиностроение. - 1990. - № 2. - С. 121-124.

5. Кабалдин Ю.Г. Механизмы деформации срезаемого слоя и стружкообразование при резании // Вестник машиностроения. - М., 1993. - №7 - С. 25-30.

6. Христафорян С.Ш. Модель пластического деформирования при резании. - Ереван, 1985. - 8 с. / НТД, АрмНИИНТИ. - Ереван, № 19Ар - 85 Деп.

7. Христафорян С.Ш. Вопросы формирования пространственной структуры твердого тела сливной стружки при непрерывном резании // Мат. 24-й науч.-техн. конф. РСНТО АрмССР. - Ереван, 1987. - С. 187-188.

ГИУА

08.12.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 11, № 2, 1999, с. 152-158.

УДК 621.791.624.014.25

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Т.Т. АРАКЕЛЯН

УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ МАЛОНАПРЯЖЕННОСТИ

Արդյակով է գործնական խորհրդարկությունը համար կարևոր նշանակություն ունեցող ընդհանրացման համար անալիզի արդյունքի նվազագույնի բաժանվելու սեփականությունը:

Установлена минимальная количественная величина условия возникновения малонапряженности, что имеет важное значение для инженерной практики.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 5 назв.

Minimum quantity of low-stress level onset conditions being of great importance for engineering practice is stated.

Ил. 4. Table 1. Ref. 5.

Непрерывное усложнение конструктивных форм несущих элементов, повышение их нагруженности и широкое применение неразъемных соединений упруго-неоднородных материалов делают необходимым, наряду с традиционными методами расчетно-экспериментальной оценки прочности и долговечности соединений, учитывать недавно установленное явление в таких соединениях - малонапряженность [1]. При этом получены такие предельные значения геометрических параметров, как условия возникновения малонапряженности (затухание напряжений) у края контактной поверхности.

Вблизи края контактной поверхности границ области затухания или возрастания напряжений в общем случае напряженного состояния определяются уравнением относительно углов α и β (рис. 1) [1,2]

$$\begin{aligned} \Gamma(\alpha, \beta) = & \mu m_1 m_2 [(\alpha + \beta) \cos(\alpha + \beta) - \sin(\alpha + \beta)] \sin(\alpha + \beta) + \\ & + \mu m_2 [\mu m_2 - m_1 - (\mu - 1) \sin^2 \beta] (\alpha \cos \alpha - \sin \alpha) \sin \alpha - \\ & - m_1 [\mu m_1 - m_2 - (\mu - 1) \sin^2 \alpha] (\beta \cos \beta - \sin \beta) \sin \beta = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

где α и β - углы между касательными плоскостями внешней поверхности тела и поверхностью контакта в рассматриваемой точке контакта (рис.1); E_1, E_2, ν_1, ν_2 - модули упругости и коэффициенты соединяемых материалов.

$$\mu = \frac{E_1(1+\nu_2)}{E_2(1+\nu_1)}, \quad m_1 = \frac{1}{1+\nu_1}, \quad m_2 = \frac{1}{1+\nu_2}$$

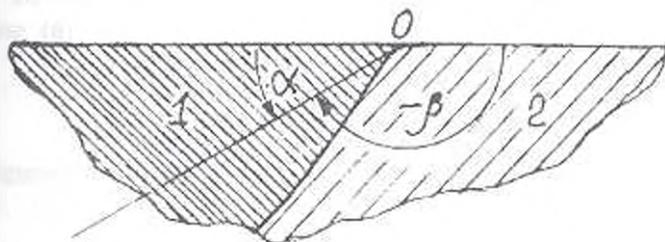


Рис. 1

В настоящей работе рассматривается случай гладкой внешней поверхности соединения у края поверхности контакта (рис.1):

$$\beta = \pi - \alpha. \quad (2)$$

При пересечении кривой 1 с прямой 2 определяются границы областей конечных и бесконечных напряжений у края поверхности контакта (рис.2). Практически действующая область малонапряженности определяется минимальным корнем α системы уравнений (1) и (2) (не считая $\alpha=0$) [3, 4]:

$$\alpha_1 = \arctg \sqrt{\frac{K-1}{K\nu_1 - \nu_2}}, \quad K = E_1/E_2 \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда значения упругих постоянных практически одинаковы $E_1 = E_2$; $\nu_1 = \nu_2$. Тогда техническая граница существования области малонапряженности находится только погрешностями их экспериментального определения. В частности, относительная погрешность определения модулей упругости обычно меняется в интервале $\Delta E/E = 0,01 \dots 0,045$ [5]. Для худшего варианта, принимая расчетное значение максимальным и различного знака, т.е. $\Delta E_1/E_1 = -\Delta E_2/E_2 = 0,045$, имеем

$$\Delta E_1 = 0,045E_1, \quad \Delta E_2 = -0,045E_2 \quad (4)$$

Тогда предельное максимальное значение отношения модулей упругости $K_{0,1}$, обусловленное только погрешностями их определения, будет

$$K_{0,1} = \frac{E_1 + \Delta E_1}{E_2 + \Delta E_2} = \frac{E_1 + 0,045E_1}{E_2 - 0,045E_2} = 1,094 \frac{E_1}{E_2} = 1,10 \frac{E_1}{E_2}$$

Так как $E_1 = E_2$, получим

$$K_{0,1} = 1,10 \quad (5)$$

Рассматривая основную область малонапряженности (рис.2), заключим, что ее размеры и форма характеризуются амплитудой h

шириной области L , которую отсекает прямая 2 от кривой 1 в точках $A(0, \pi)$ и $B(\alpha_1, \pi - \alpha_1)$. Безразмерная величина их отношения h/L однозначно определяет размеры области малонапряженности.

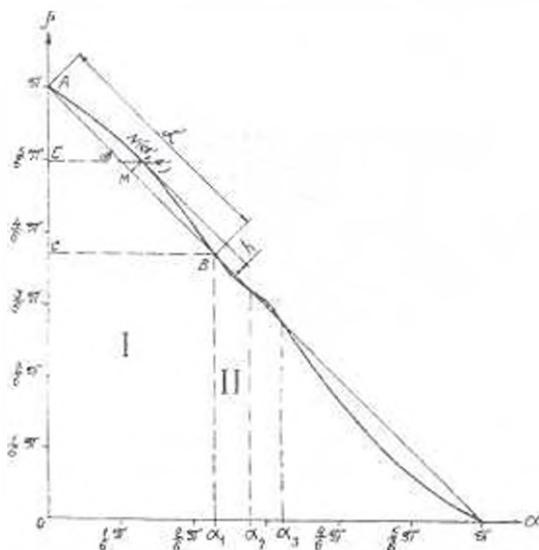


Рис. 2

Обозначив координаты точки N касания прямой, параллельной касательной кривой 1, через (α', β') , на основе рис.2 будем иметь

$$EN = \alpha', \quad OE = \beta', \quad CB = \alpha_1, \quad AB = L, \quad L = \sqrt{2}\alpha_1, \quad (6)$$

$$AE = EN - DN = \alpha' - \sqrt{2}h, \quad AE + OE = \alpha' - \sqrt{2}h + \beta' = \pi.$$

или

$$h = (\alpha' + \beta' - \pi) / \sqrt{2}.$$

Исходя из (3) и (6), находим значение искомого отношения

$$\frac{h}{L} = \frac{\alpha' + \beta' - \pi}{2\alpha_1} = (\alpha' + \beta' - \pi) / 2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{K-1}{K\vartheta_2 - \vartheta_1}}. \quad (7)$$

Если предположить, что нормаль кривой 1 в точке (α', β') приближенно находится в середине отрезка AB , т.е. $AM = AB = L/2$, то из рис. 2 следует приближенное выражение $OE = OC + BM \cos \pi/4 = \beta'$ или

$$\beta' = \pi + \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{L}{2} + h \right) - \alpha_1; \quad \alpha' = \alpha_1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{L}{2} - h \right).$$

где h определяется графически из рис. 2.

Уравнение (1) представляет собой аналитическое задание кривой в плоскости $\alpha\beta$. При этом угловой коэффициент касательной прямой в точке $N(\alpha', \beta')$ кривой 1 определяется соотношением

$$\operatorname{tg} \varphi = - \left(\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} / \frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} \right)_{\substack{\alpha=\alpha' \\ \beta=\beta'}} \quad (8)$$

где φ - угол между положительным направлением оси $O\beta$ и касательной.

Так как указанная касательная параллельна прямой 2, то угловые коэффициенты их должны быть равны, т.е. $\operatorname{tg} \varphi = -1$, и отношение (8) примет вид

$$\left(\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \alpha} \right)_{\substack{\alpha=\alpha' \\ \beta=\beta'}} = \left(\frac{\partial F(\alpha, \beta)}{\partial \beta} \right)_{\substack{\alpha=\alpha' \\ \beta=\beta'}} \quad (9)$$

Координаты точек касания (α', β') должны удовлетворять также кривой 1, т.е.

$$F(\alpha', \beta') = 0 \quad (10)$$

Таким образом, аналитическое определение координат (α', β') сводится к решению системы уравнений (9) и (10), что представляет математические трудности.

Для установления связи между величинами K и отношением h/L на ЭВМ определены координаты кривой 1 для случая, когда параметр K меняется в интервале $K=1,0 \dots 1,45$ при следующих различных значениях коэффициентов Пуассона материала составного тела: 1) $\nu_1=0,28, \nu_2=0,26$, 2) $\nu_1=0,30, \nu_2=0,24$, 3) $\nu_1=\nu_2=0,25$. По полученным значениям координат кривой $F(\alpha, \beta)=0$ в окрестности точек $N(\alpha', \beta')$ построена только часть основной области малонапряженности (рис.3) Для небольшого интервала $K=1,30 \dots 1,45$ предполагается, что точки $N(\alpha', \beta')$ находятся на одном перпендикуляре к прямой 2.

На рис. 3 графически определены значения амплитуды h , а величины значения $L=\sqrt{2}\alpha$ определены из соотношения (3). Это равносильно графическому решению системы уравнений (9) и (10) и определению отношения h/L (табл.)

Таблица

№	$K = E_1 / E_2$	$\nu_1 = 0,28,$	$\nu_1 = 0,30,$	$\nu_1 = \nu_2 = 0,25$
		$\nu_2 = 0,26$	$\nu_2 = 0,24$	
		h/L	h/L	h/L
1.	1,00	0	0	0
2.	1,05	0,0075	0,0073	0,0060
3.	1,15	0,0210	0,0196	0,0174
4.	1,25	0,0342	0,0316	0,0295
5.	1,35	0,0485	0,0441	0,0416
6.	1,45	0,0625	0,0572	0,0523

На основе данных таблицы построены графики функциональной зависимости $K=f(h/L)$ для изучаемых трех случаев (рис. 3). При этом для предельного значения $K_n=1.10$ установлены соответствующие значения $(h/L)_1$, $(h/L)_2$ и $(h/L)_3$.

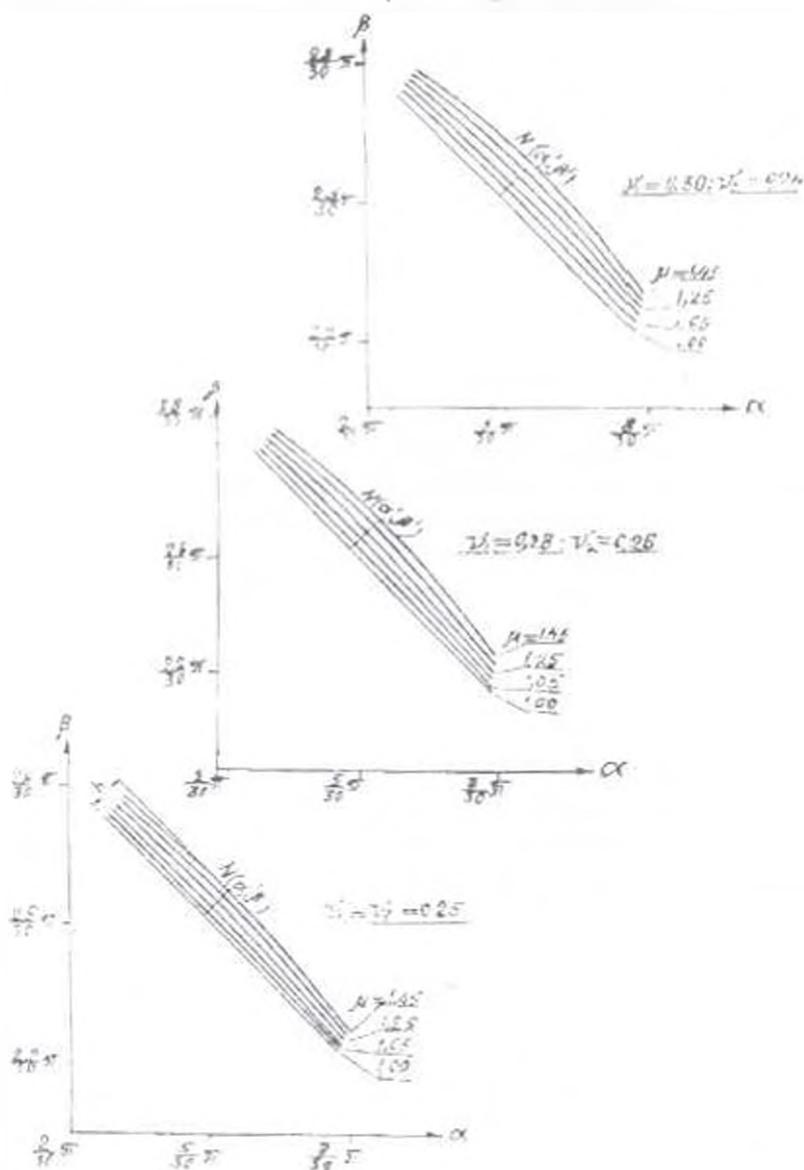


Рис.3

Предельное расчетное отношение возникновения малодеформации будет наибольшим из полученных, т.е. $(h/L)_1 = 0.015 - 0.02$. При $h/L < 0.02$ кривая 1 практически сливается с прямой 2. Т.е. соединение составного тела сводится к соединению упруго-однородного тела. А для последнего явления

малонапряженности отсутствует. Следовательно, практическим условием нижней границы возникновения малонапряженности будет

$$h/L > 0.02. \quad (11)$$

При выполнении этого условия соединение состоит из упруго-неоднородных материалов, значит, на основе этого можно отличить упругое тело от упруго-неоднородного

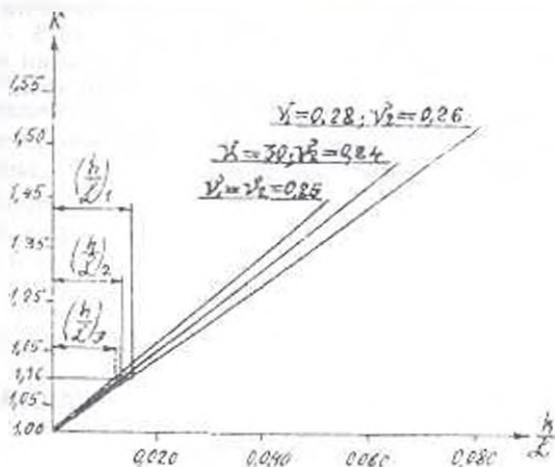


Рис. 4

Таким образом, выражение (11) является единственно общей комплексной характеристикой появления малонапряженности в соединениях составного нагруженного тела, ибо, согласно (7), (9) и (10), включает в себя все упругие постоянные E_1, μ_1, E_2, μ_2 материалов неразъемного соединения. Следовательно, не только найдена численная граница возникновения малонапряженности, но и выявлены особенности основной области малонапряженности, а именно:

- как следует из графика рис.4, практически существует прямолинейная зависимость между безразмерными величинами E_1/E_2 и h/L , т.е. $K = C(h/L)$;

- указанный коэффициент пропорциональности C зависит только от коэффициентов Пуассона ν_1 и ν_2 ;

- безразмерное отношение h/L , согласно выражению (7), и линейно связанное с ним отношение $\frac{1}{C} \frac{E_1}{E_2}$ определяют размер и

характер основной области малонапряженности;

- необходимое и достаточное условие возникновения малонапряженности в натуральных неразъемных соединениях образуется добавлением к геометрическому условию характеристики нижней границы (11) упруго-неоднородного составного тела, т.е.

$$0 < \alpha < \alpha_1 = \arctg \sqrt{\frac{K-1}{K\nu_1 - \nu_2}} \cdot \frac{h}{L} > 0.02,$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Чобанян К.С. Открытие № 102 // Бюл. откр. и изобр. Ежегодник БСЗ. 1972. - № 36. - 505 с.
2. Аракелян Т.Т., Чобанян К.С. Зависимость усталостной выносливости изгибаемых резинометаллических деталей от геометрии соединения // Каучук и резина - 1979. - № 10 - С. 38-41.
3. Ахсентян С.В., Лущик О.Н. Об условиях ограниченности напряжений у ребра составного клина // Механика твердого тела. - 1978. - С. 102-108.
4. Гумеров К.М., Зайцев Н.Л. К вопросу оптимизации конструктивного оформления упруго неоднородных стыковых соединений // Сварочное производство. 1983. - № 1. - С. 5-6.
5. Марковец М.П. Определение механических свойств по твердости. - М.: Машиностроение, 1979. - 192 с.

Ин-т механики НАН РА

21.05.1992

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ГН), т. III, № 2, 1999, с. 158-160

УДК 621.879.44.001.2

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Э.А. ДЖАНГУЛЯН

ОПТИМАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ ДЛИНЫ РЕЖУЩЕГО ПЕРИМЕТРА И ПЛОЩАДИ ГРУНТОВОЙ СТРУЖКИ

Գտնու են անալիտիկական և փորձարարական անկախություններ կտրող եզրի երկրաչափական և հասցիայ հոգսամուտքի կազմածքի մակերևույթի երկրաչափական արտաքին շատան: Անալիտիկական ամբողջությամբ կառուցումով են փորձարարական և փորձարարական անկախություններ արտաքիններով:

Выведены аналитические и эмпирические зависимости для определения оптимальных соотношений длины режущего периметра и площади сечения грунтовой стружки. Аналитические зависимости подтверждены результатами экспериментальных исследований.

Ил. 4. Библиогр. 1 назв.

Analytical and experimental dependencies for specifying optimal relations of the cutting perimeter length and ground chip cross section are derived. Analytical dependencies are verified by the results of experimental studies.

Ил. 4. Ref. 1.

Как известно, машинами, работающими по принципу резания, выполняется до 90% общего объема земляных работ. В связи с этим процесс резания грунтов является основной операцией в работе землеройных машин. Изыскания по расчету усилий резания продолжают до настоящего времени.

На процесс резания грунтов влияет ряд факторов: геометрическая форма и параметры режущего органа, режим, способ и вид резания, физико-механические свойства разрабаты-

ваемого грунта и пр., но наибольшее значение имеет, бесспорно, форма режущего элемента.

На удельное сопротивление резанию K существенное влияние оказывает изменение соотношения λ ($\lambda = L/F$, где L - длина режущего периметра; F - площадь сечения снимаемой грунтовой стружки). Для прямоугольного периметра это соотношение имеет вид

$$\lambda = L/F = b + 2h/bh,$$

где b и h - ширина и глубина резания.

Исследованиями выявлено [1], что при изменении этого соотношения в пределах 0,15 - 0,01 удельное сопротивление резанию уменьшается на 40% (рис. 1). Необходимо отметить, что даже при площади сечения стружки $F = bh = \text{const}$ удельное сопротивление резанию не постоянно, оно меняется в зависимости от изменения b и h .

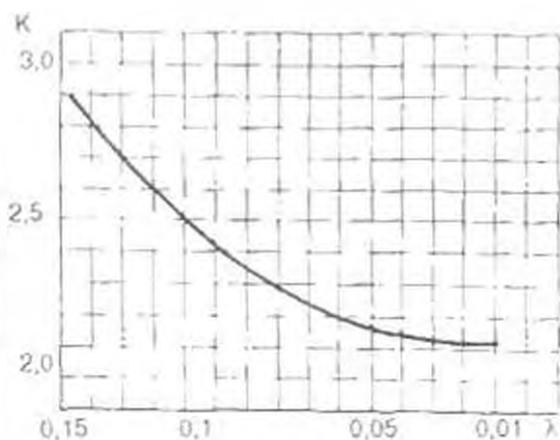


Рис. 1

В современных конструкциях экскаваторов прямоугольные формы режущих органов вытесняются криволинейными. Поэтому определенный интерес представляет изучение поведения функции $K = f(\lambda)$ для криволинейных (непрямоугольных) периметров.

Рассмотрим изменение соотношения λ в зависимости от толщины стружки C ранее выпускавшегося экскаватора ЭТН-124.

Определим длину l для половины скребка режущего периметра, соприкасающегося с грунтом (рис. 2).

$$l = a + \int_0^R \sqrt{1 + y'^2} dx, \quad y = R_1 - \sqrt{R_1^2 - (x - R_1)^2},$$

$$y' = \frac{x - R_1}{\sqrt{R_1^2 - (x - R_1)^2}}, \quad l = a + R_1 \arcsin \frac{R_1 - \lambda_0}{R_1},$$

$$y = C, \quad x = \lambda_0, \quad \lambda_0 = R_1 - \sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}.$$

$$l = a + R_1 \arcsin \frac{\sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}}{R_1}$$

Для полного скребка $L = 2l$.

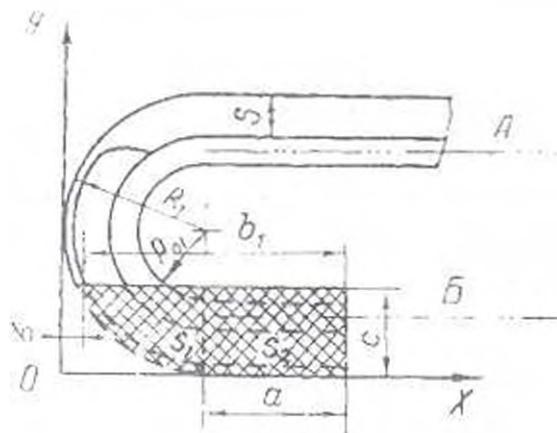


Рис.2

Согласно схеме взаимодействия режущего элемента с грунтом, скребок вырезает грунтовую стружку площадью $F = 2(S_1 + S_2)$.

$$S_1 = \frac{R_1^2 \arcsin \frac{\sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}}{R_1} - (R_1 - C) \sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}}{2}$$

$$S_2 = aC$$

$$\lambda_1 = \frac{2 \left[a + R_1 \arcsin \frac{\sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}}{R_1} \right]}{R_1^2 \arcsin \frac{\sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}}{R_1} + (C - R_1) \sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2} + 2aC}$$

Полученное уравнение удовлетворяет условию при изменении толщины стружки в области $0 \leq C \leq R_1$. Для области $R_1 \leq C \leq 2R_1$ уравнение принимает вид

$$\lambda_1 = \frac{2 \left[a + \pi R_1 + R_1 \arcsin \frac{\sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2}}{R_1} \right]}{\pi R_1^2 - R_1^2 \arccos \frac{C - R_1}{R_1} + (C - R_1) \sqrt{R_1^2 - (C - R_1)^2} + 2aC}$$

Необходимо отметить, что в описываемых скребках при срезании стружки толщиной $R_1 \leq C \leq 2R_1$ происходит уплотнение, а затем заклинивание грунта между двумя параллельными поверх-

ностями А и Б. Последнее сопровождается резким увеличением лобового сопротивления.

Для устранения этого недостатка разработан и внедрен в производство режущий элемент нового типа (рис.3).

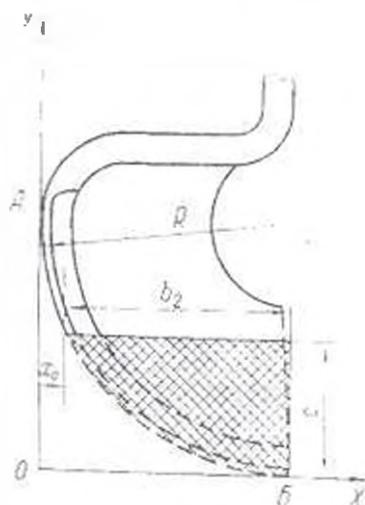


Рис.3

Аналогично предыдущему уравнению, имеем

$$L_{01} = \int_{x_0}^R \sqrt{1+y'^2} dx, \quad y = R - \sqrt{R^2 - (x-R)^2}$$

$$y' = \frac{x-R}{\sqrt{R^2 - (x-R)^2}} \quad L_{01} = R \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - (C-R)^2}}{R}$$

Площадь грунтовой стружки, снимаемая режущим периметром L_0 , равна $F = Ch$, где $h = R - x_0 = \sqrt{R^2 - (C-R)^2}$.

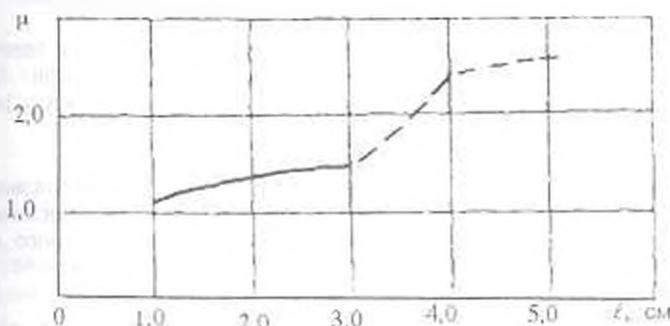


Рис. 4

Тогда

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{L_0}{F} = \frac{R \arcsin \frac{\sqrt{R^2 - (C-R)^2}}{R}}{C \sqrt{R^2 - (C-R)^2}}$$

Если обозначить $\lambda_1/\lambda_{\text{н}} = \mu$ и построить график функции $\mu = f(c)$, то можно убедиться (рис.4) что

$$\lambda_1 = (1.15 \dots 2.15) \lambda_{\text{н}}$$

а это значит, что для снятия грунтовой стружки одинаковой площади скребками ЭН-124 требуется большее L , по сравнению с таковым $L_{\text{н}}$ для новых скребков. Это обстоятельство оказывает существенное влияние на удельные показатели и обеспечивает оптимальные значения энергоемкости процесса резания грунта экскаватором в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джангулян Э.А. Проблемы механической разработки траншей. - Ереван: Изд. АН АрмССР, 1983. - 195 с.

ГИУА

10.12.1997

Изв. НАН и ГНУ Армении (сер. ТН), т. 1.11, № 2, 1999, с. 162-165

УДК 621.031/539.319

МАШИНОСТРОЕНИЕ

А.М. СИМОНЯН, М.М. МАРТИРОСЯН, С.Ш. ВАЛЕСЯН

СТЫКОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ БОЛЬШЕРАЗМЕРНЫХ ТРУБ ИЗ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Գրառվելով է կոստրուկտայն կառուցած վերջածայերում ներքին կողմերը սահմանափակող մեծ որսանցքի խողովակների ճաղակիցանքային սխաղումների հաշվարկը Ստուգվում են բանաձևեր կոնիկալային ճնշումների հաշվարկի և խողովակների վերնաստիկումը ընդերկախություն և օղակալին ճիգերի որոշման հարցեր:

Рассматривается расчет стыкового соединения больших размеров труб из композиционного материала, имеющих законцовки с коническими внутренними поверхностями. Получены формулы для расчета контактного давления и определения продольного и кольцевого усилий в законцовках.

Ил. 3. Библиогр. 2 назв.

The calculation of abutment joints of great size composite tubes which have tips with conic intrinsic surfaces is considered. Formulas for the calculation of the contact pressure of the longitudinal and circular efforts in tips are presented.

Ил. 3. Ref. 2.

Как известно, для стыковки больших размеров труб из композиционного материала используются клеезаклепочные соединения [1], что приводит к необходимости существенного утолщения законцовок труб, т.е. к излишнему расходу материала. Кроме того, такие соединения не надежны при использовании труб высокого давления.

В настоящей работе рассматривается вид соединения, основанный на притяжении друг к другу труб с коническими внутренними поверхностями на законцовках с помощью металлических составных колец, который был с успехом применен для стыковки стеклопластиковых труб ($\varnothing 100$ см) специального назначения.

Структурная схема рассматриваемого соединения (рис.1) представлена следующим образом: трубы 1 из композиционного материала с продольными и кольцевыми ориентациями волокон имеют конические законцовки. На трубах не делается никаких отверстий или других повреждений, на их торцах имеются прорезы для размещения резинового уплотнения 3. К внутренним поверхностям законцовок труб подводятся составные кольца 2, которые притягиваются друг к другу с помощью болтовых соединений, закрывая зазор между торцами.

В основе расчета принимаются следующие допущения.

- пренебрегаются трение между законцовками труб и металлическими коническими кольцами;
- пренебрегаются деформации металлических колец по сравнению с деформациями композиционной трубы, а также продольные деформации композита в стыке по сравнению с деформациями в кольцевом направлении;
- принимается нитевая схема сопротивления композита [2];
- законцовки труб рассматриваются как конические оболочки.

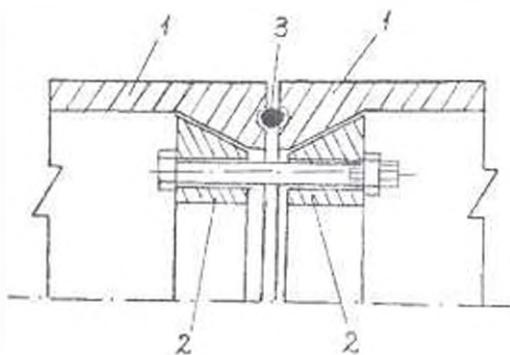


Рис. 1

Рассмотрим равновесие элемента конической оболочки (рис.2). Вследствие осевой симметрии этот элемент находится под действием кольцевого N_1 и продольного N усилий, зависящих лишь от продольной координаты, а также под действием внутренней распределенной нагрузки $p(r)$. Проектируя все силы, действующие

на элемент, на оси V (нормаль к конической поверхности) и l , из условия равновесия получим

$$N_x = \rho l^2 R(l) / \cos \varphi, \quad \partial(RN_x) / \partial l = -N_x \sin \varphi, \quad (1)$$

где R - радиальная координата элемента, определяемая по формуле

$$R(l) = R_0 - l \sin \varphi, \quad (2)$$

R_0 - внутренний радиус композитной трубы (l отсчитывается от начала области контакта в сторону торца трубы).

Из условия скольжения законцовки трубы вдоль поверхности жесткого конического кольца получим

$$\epsilon_x(l) = \frac{\Delta}{R(l)} \sin \varphi, \quad (3)$$

где Δ - горизонтальное смещение торца трубы относительно кольца.

Принимая, что композит деформируется по упругому закону, а также используя нитевую схему сопротивления, согласно которой каждый слой однонаправленного армирования воспринимает лишь осевые нагрузки вдоль волокон, получим

$$\epsilon_x(l) = N_x(l) / E_1 h_1(l), \quad (4)$$

где E_1 - модуль упругости кольцевых слоев вдоль волокон, $h_1(l)$ - суммарная толщина кольцевых слоев.

Из соотношений (1)-(4) получим

$$\rho(l) = \frac{h_1(l) E_1 \sin \varphi \cos \varphi}{(R_0 - l \sin \varphi)^2} \Delta \quad (5)$$

Из (1) имеем также

$$N_x(l) = \frac{l \sin \varphi}{R(l)} \int R(l) \rho(l) dl, \quad (6)$$

где L - ширина области контакта законцовки трубы с кольцом.

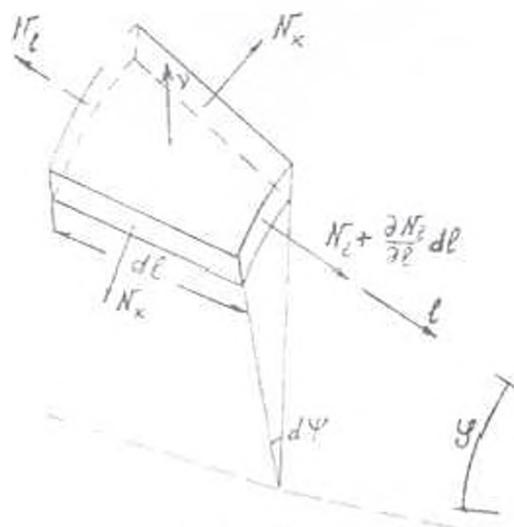


Рис. 2

Добавим сюда очевидное краевое условие

$$N_1(L) = Q / 2\pi R_0 \cos\varphi, \quad (7)$$

где Q - осевая сила, растягивающая соединение.

Пренебрегая изменением $R_1(r)$ в пределах конической законцовки по отношению к его значению R_0 , получим

$$\Delta = QR_0 / 2\pi E_s \sin^2\varphi \cos\varphi \int_0^1 h_1(r) dr \quad (8)$$

Из соотношений (8) и (5) получим следующую расчетную формулу для определения контактного давления $p(r)$ в зависимости от осевой растягивающей силы

$$p(r) = Q h_1(r) / 2\pi R_0 \sin^2\varphi \int_0^1 h_1(r) dr \quad (9)$$

Как видно, с увеличением угла φ контактное давление $p(r)$ уменьшается, тем самым уменьшается и сжимающее усилие в кольцах 2. Однако при этом возникает опасность разрушения законцовки трубы от расслоения. Рассмотрим напряжения, возникающие в слоях связующего между слоями кольцевого и продольного армирования. Слои связующего, прилегающие к внутренней поверхности законцовки трубы, очевидно, сжаты давлением $p(r)$. По мере удаления от внутренней поверхности это давление уменьшается за счет совместного восприятия нагрузки волокнами кольцевого и продольного направления и на наружной поверхности законцовок становится равным нулю. Итак, на элемент прослойки связующего в наиболее нагруженной зоне снизу (рис.3) действует сжимающая нагрузка $p(r)$, от кольцевой намотки - касательное напряжение $\tau(r)$. Из условия равновесия получим

$$\tau(r) = p(r) \tan\varphi. \quad (10)$$

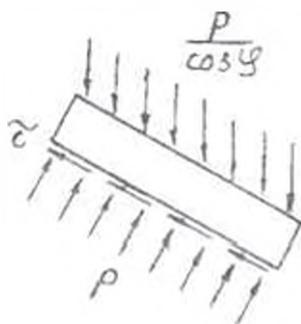


Рис. 3

Таким образом, угол φ не должен превосходить значения угла внутреннего трения связующего, иначе произойдет разрушение связующего и, следовательно, самой законцовки трубы. При обеспечении этого условия очевидно стремление проектировщиков к

увеличению угла φ , что приводит к уменьшению контактного давления $p(\varphi)$, а также к уменьшению размеров стыковочных элементов. При этом трение между законцовкой трубы и металлическим кольцом содействует уменьшению контактного давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробей В.В., Сироткин О.С. Соединения конструкций из композиционных материалов. - Л. Машиностроение. 1985. - 168 с.
2. Образцов И.Ф., Васильев В.В., Бунаков В.А. Оптимальное армирование оболочек вращения из композиционных материалов. - М.: Машиностроение. 1977. - 144 с.

Ин-т механики НАН РА

04.02.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1999, с. 166-170.

УДК 621.762

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

С.Г. АГБАЛЯН, А.С. ПЕТРОСЯН, Р.Б. ШАТВОРЯН,
Э.С. АМАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, Н.К. САРКИСЯН

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

1. ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭКСТРУЗИЕЙ

Նետաղաղվել է կոմպոզիցիոն փռչնյութերի տար արտադրման դնամիկան՝ կոմպոզիցիոն պարամետրերից: Պղնձի թելիկներից և Cu-Mo քաղաքյառնատերից արտադրվում ժուրուկեն նախապատրաստվածքների կամայ կատարվել է տար արտադրման պարամետրերի յաղարկում Ցույց է տրվել, որ միայն նետաղաղման թելիկներից ստադրառուղված նախապատրաստվածքների տար արտադրման ժամանակ թելիկների միաձառնումն արտառաղվ, վերջնեներիս կոմպոռոչվածոյթուն տեղի չի ունենում: Նետաղաղես, կոմպոռոչվածոյթունը ինարավոր է դառնում միայն փռչ, մատրիցի դեռքուր և թելիկների ստրսկննառոն բոչխվածոյթուն ժամանակ, երբ $t_0 \gg d_0$: Աղաղվել է նետաղաղման թելիկներով արեռնաղարված բարձրամոր կոմպոզիցիոն նյութերի ստաղման տեխնոլոգիան:

Исследована динамика экструзии порошковых КМ в зависимости от технологических параметров. Осуществлена оптимизация параметров экструзии пористых заготовок из медных волокон и композиции Cu-Mo. Показано, что при экструзии заготовок только из металлических волокон ориентация их становится возможной лишь в порошковой матрице при рассредоточенном распределении волокон и в случае, когда $t_0 \gg d_0$. Разработана технология получения высокопрочных КМ, армированных металлическими волокнами.

Ил. 3. Библиогр. 5 назв.

The dynamics of composition power material extrusion depending on technological parameters is studied. An optimization of parameter extrusion for porous copper fiber blanks and Cu-Me composition is performed. It is shown that during the extrusion of only metallic fiber blanks their orientation becomes possible only in the power matrix at discentric fiber distribution and when $l_{f1} \gg d_{f1}$. The technology of high-strength composition materials reinforced by metallic fibers is developed.

Ит. 3. Ref. 5.

Как известно [1,2], при получении композиционных материалов (КМ) возникают трудности, связанные, с одной стороны, с проблемой обеспечения прочной связи (совместимости) между волокнами и матрицей, с другой - предотвращением взаимодействия на границе раздела фаз (компонентов), а также равномерным распределением армирующих волокон в матрице. В этом аспекте порошковая металлургия является весьма перспективной технологией для создания армированных материалов с заданным комплексом свойств. В связи с этим определенный интерес представляет экструзия КМ повышенной прочности.

Целью работы является исследование и разработка технологии получения высокопрочных КМ, армированных волокнами.

Методы горячей экструзии пористых заготовок находят все большее применение в практике производства спеченных материалов [3]. Основные закономерности процессов экструзии применительно к порошковым и композиционным материалам детально изучены в [3,4]. Следует отметить, что при формовании композиций в пресс-формах волокна ориентируются в плоскостях, расположенных нормально к сжимающим усилиям, в самих плоскостях они ориентированы хаотично. Экструзия же позволяет создать однонаправленную структуру композиций, что является важным преимуществом данного материала [4].

На основании проведенных исследований разработана технология изготовления высокопрочных КМ методами экструзии (рис. 1).

Исходными материалами для исследования служили: медная проволока марки ММ (ГОСТ 2112-71) диаметром 0,05 и 0,1 мм; стальная проволока марки сталь 55 (ГОСТ 3875-59) диаметром 0,28 мм; молибденовая проволока марки МЧ (ГОСТ 18905-73) диаметром 0,05, 0,08 и 0,12 мм; железный порошок марки ПЖ4М (ГОСТ 9849-74), фракция -160 мкм; электролитический медный порошок марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75).

Для получения КМ (Cu-стальное волокно) армирующие волокна предварительно подвергали меднению. Волокна получали путем мерной резки проволоки на отрезки с заданным отношением длины волокна l к его диаметру d . Для стальных волокон $l/d=20$ ($d=0,28$ мм), для молибденовых $l/d=30$ ($d=0,12$ мм). Так как степень чистоты во многом определяет прочность КМ, а иногда и саму возможность соединения волокна и матрицы [1], армирующие стальные волокна обезжиривали в керосине, молибденовые - в 50%-ом растворе NaOH. Для получения равномерной смеси порошка-матрицы и армирующих волокон, увлажненных спиртом (-1 %), н

барабане опрокидывающегося типа в течение 9...10 ч применяя механическое смешивание. Волокна в шихту вводили порциями.



Рис. 1. Общая технологическая схема получения композиционных материалов, армированных волокнами, путем экструзии

Двусторонним статическим прессованием изготавливали пористые (-20%) заготовки диаметром 25 мм, которые нагревали при температуре 900...920°C для композиций на основе меди (Cu - сталь 55, Cu - Mo) и 1150±20°C на основе железа (Fe-сталь 55, Fe-Mo). Экструзию проводили с использованием измерительной аппаратуры.

Определенный интерес представляют диаграммы экструзии КМ, анализ которых показывает, что для всех композиций с увеличением объемной доли волокон имеет место закономерное увеличение $P_{\text{эк}}$ - усилия экструзии. Наибольших значений $P_{\text{эк}}$ достигает для Cu-Mo и Fe-Mo по сравнению с композициями Cu-сталь и Fe-сталь. Этого и следовало ожидать, так как сопротивление деформированию волокон Mo выше, чем сопротивление волокон стали при одинаковых условиях. Поэтому кривые Cu-Mo и Fe-Mo соответственно располагаются выше кривых Cu-сталь и Fe-сталь (рис. 2).

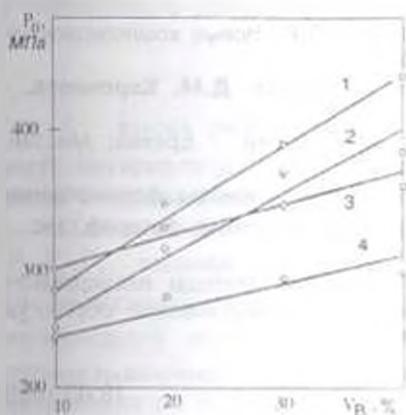


Рис. 2. Динамика уплотнения композиций: 1-Сu-Мо, 2-Сu-сталь, 3-Fe-Мо; 4- Fe-сталь

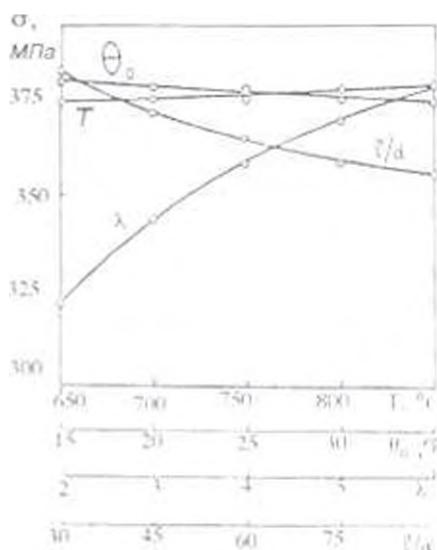


Рис. 3. Зависимость прочности образцов композиции Сu-Мо от основных факторов

Эксперименты, связанные с оптимизацией основных параметров (θ_0 , l/d , λ), проводили на заготовках из медных волокон ($d=0,05$ и $0,10$ мм) и медного порошка марки ПМС-1, армированного хаотически расположенными волокнами из молибдена ($d=0,12$ мм). Характер и степень одновременного влияния параметров на процесс экструзии устанавливали методом факторного планирования экспериментов типа 2^3 с разбиением на блоки [5]. Приведены зависимости прочности экструдированных композиционных материалов от определяющих факторов (рис.3). Как видно, характер кривых для материала из медного волокна и для композиции (Cu-Мо-волокно) почти одинаков. Лимитирующим фактором является коэффициент вытяжки λ . С увеличением λ резко возрастают прочностные свойства, а именно, $\sigma_{\text{к}}$ и ИВ. Максимальных значений они достигают при $\lambda=5...6$. С увеличением l/d (>30) ориентация волокон в направлении экструзии заметно возрастает. Для образцов из волокнистой меди $\sigma_{\text{к}}$ и ИВ остаются почти неизменными для всех соотношений l/d . Это объясняется тем, что при экструзии только металлических волокон их ориентация не происходит из-за сплетения. Следовательно, ориентация возможна только в порошковой матрице при неравномерном распределении волокон и в случае, когда $l > d$. Как видно, экструзия обеспечивает беспористую структуру композиционного материала. Достигается более равномерное распределение волокон в матрице. При этом волокна удлиняются и уменьшаются в диаметре. Все это приводит к повышению прочностных характеристик композиционного материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы. - Киев: Вища школа, 1977, - 312 с.
2. Композиционные материалы. Справочник / Под ред. Д.М. Карпиноса. - Киев: Наукова Думка, 1985 - 592 с.
3. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии. - Ереван: Айастан, 1985 - 232 с.
4. Агбалян С.Г. Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис... д.т.н. - Ереван, 1992, - 33 с.
5. Касьян М.В., Багдасарян Г.Б., Арутюнян Г.А. Методы планирования экспериментов в области резания металлов и математической обработки результатов. - Ереван: Айастан, 1978, - 192 с.

ГИУА

18.03.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 2, 1999, с. 170-172.

УДК 621.9.025.5:698.018.25

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Г.С. ОВСЕПЯН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Աստիճանաված է. որ կարող գործիքների կառուցվածքային-երկրաչափական բնութագրերը կորագավորուցը և կառուցը հնարավորության են ստեղծում բարձրագույն գործիքների շահագործողական ցուցանիշները, այդ թվում՝ աշխատունակությունը: Տաշվարկային եղանակով ստեղծված են պաշտպանի զազային միջավայրում ջերմամշակված բիթեղիկներով կտրիչների հոսանային մասերի իրական չափերը.

Установлено, что оптимизация конструктивно-геометрических параметров режущего инструмента позволяет повысить эксплуатационные характеристики, в том числе и работоспособность инструмента. Расчетным путем определены оптимальные размеры державки резцов для твердосплавных пластин, термообработанных в защитной газовой среде.

Ил. 1. Библиогр.: 3 назв.

It is stated that the design and geometrical parameter optimization of a cutting tool permits to increase the operating characteristics including the serviceability of the tool. Optimal sizes of toolholders are calculated for thermal treatment of hard alloy plates in a shielding gaseous medium.

Ил. 1. Ref. 3.

Известно [1], что качество, в том числе и прочность инструмента оцениваются эксплуатационными характеристиками. Так, напряжения, возникающие в державке силами P_x , P_y и P_z , не должны превышать предела упругости. Для определения минимальных размеров сечения державки, исходя из условия его

достаточной прочности, необходимо приравнять изгибающий момент к максимально допустимому [2], т.е.

$$BH^2 = \frac{6P_z l}{\sigma_n}$$

где l - вылет резца, м (рис.); σ_n - допустимое напряжение на изгиб материала державки, H/m^2 ; B, H - ширина и высота державки резца в опасном сечении, м.

Как отмечалось, в процессе резания на резец действуют силы P_z, P_y, P_x , вызывающие в державке дополнительные напряжения, составляющими которого являются нормальные напряжения от изгибающего момента $M_{изг} = P_z l$ и касательные напряжения от перерезывающей силы. При этом создаются и касательные напряжения от крутящего момента:

$$M_{кр} = P_y l$$

$$M_{экв} = \sqrt{M_{изг}^2 + 0.75M_{кр}^2} = \sqrt{(P_z l)^2 + 0.75(P_y l)^2}$$

где $M_{экв}$ - эквивалентный момент.

Приравнявая моменты, получим

$$\sqrt{(P_z l)^2 + 0.75(P_y l)^2} = \sigma_n \cdot W, \quad W = BH^2 / \sigma_n$$

где W - момент сопротивления державки резца, m^3 .

Примем $l_y / l_z = 0.08$. В державках прямоугольного сечения при $H = 1.6B$ имеем

$$B = 1.33 \sqrt{P_z l / \sigma_n}$$

Установлено, что усилие резания пластин из сплавов марок ТК, термообработанных в защитной газовой среде, при обработке сталей в диапазоне скоростей 50...300 м/мин несколько снижается (от 25 до 15%) по сравнению с пластинами, не подвергнутыми термообработке.

Расчетное усилие (P_z) для твердосплавных пластин, подвергнутых термообработке в защитной газовой среде, составляет $P_{z1} = (0.7...0.9)P_z$. При этом принимаем $P_{z1} = 0.8P_z$.

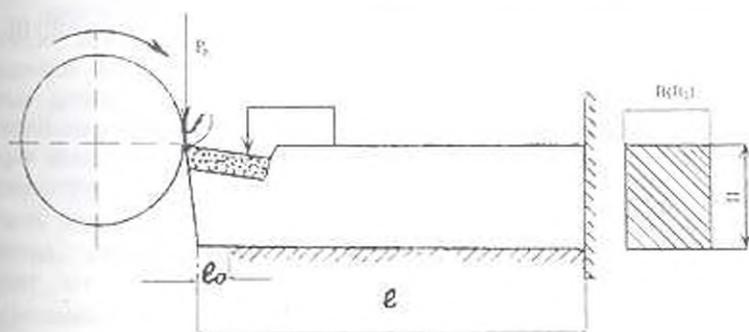


Рис.

На основании проведенных экспериментов установлено, что в твердосплавных неплетачиваемых пластинах, термообработанных в защитной газовой среде ($\text{CO} + \text{H}_2 + \text{N}_2$) с медленным нагревом и охлаждением, уменьшаются внутренние напряжения. Кроме того, на поверхности твердого сплава образуется диффузионный износостойкий слой. Анализ систем сплавов $\text{Ti}-\text{C}-\text{N}$ и $\text{Ti}-\text{W}-\text{C}$ показывает, что лучшим упрочняющим покрытием для твердых сплавов марок ТК является карбонитридное покрытие состава $\text{TiC}_{0,5}\text{N}_{0,5}$, свойства которого сопоставимы с TiC и более предпочтительны, чем TiN . Известно, что карбид титана достаточно устойчив в пределах $\text{TiC}_{0,5} \dots \text{TiC}_{0,97}$ [3]. Следовательно, дефицит углерода (C) можно компенсировать азотом (N). В этой связи наиболее приемлемыми являются карбонитриды состава $\text{TiC}_{0,5}\text{N}_{0,5} \dots \text{TiC}_{0,9}\text{N}_{0,1}$. Этот интервал целесообразен и по технологическим соображениям, а именно, карбонитридный слой создается азотированием рабочей поверхности твердого сплава, т.е. без операции нанесения "покрытия" как таковой. Эксплуатационные свойства карбонитрида более предпочтительны по сравнению со сплавами марок ТК, так как на режущих кромках твердого сплава при резании сталей уменьшается усилие резания. Необходимые размеры державки для термообработанных резцов определяются в виде

$$B_1 = K \sqrt{P_1 / \sigma} = K \sqrt{0,8 P_1 / \sigma} = 0,9 K \sqrt{P_1 / \sigma}, \text{ или } B_1 = 0,98 \sqrt{P_1 / \sigma},$$

где $K = 1,33$.

При таких условиях имеется возможность обеспечить экономию материала для резца размерами (15×25×160) в пределах ~ 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лоладзе Т.Н. Износ режущего инструмента - М. Машгиз, 1958 - 356 с.
2. Хаев Г.А. Прочность режущего инструмента - М., Машиностроение, 1974 - 120 с.
3. Toth L.E. Transition Metal Carbides and Nitrides. - New York, 1971 - 294 p.

ГИУА

30.06.1997

В.А. МАРТИРОСЯН, А.Р. МАЧКАЛЯН, М.Э. САСУНЦЯН

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ РЕАКЦИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХЛОРИДОВ МЕТАЛЛОВ ВОДОРОДОМ

Установлено, что при определении кинетики восстановления хлоридов металлов водородом в зависимости от температуры, концентрации водорода и размера частиц металлов, процесс восстановления хлоридов металлов водородом описывается степенной функцией от времени. Выведена формула для определения удельной скорости реакции восстановления хлоридов металлов водородом. Установлено, что процесс образования новой фазы α -Fe описывается степенной функцией от времени. Выведено кинетическое уравнение удельной скорости реакции в зависимости от концентрации водорода.

Выведена формула для определения удельной скорости реакции сферических ядер. На основе новых подходов исследования, исходя из экспериментальных данных, определены значения удельных скоростей процессов восстановления трихлорида железа водородом. Установлено, что процесс образования новой фазы α -Fe описывается степенной функцией от времени. Выведено кинетическое уравнение удельной скорости реакции в зависимости от концентрации водорода.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 4 назв.

A formula for specific reaction rate determination of spherical nuclei is deduced. Proceeding from experimental data, the specific rate values for trichloride restoration processes by hydrogen based on new research approaches are determined. It is established that a new α -Fe phase formation process is described by the power time function. The specific reaction rate kinetic equation depending on hydrogen concentration is obtained.

Ил. 2. Table 1. Ref. 4.

Процессы восстановления хлоридов металлов осуществляются по механизму топохимических реакций, протекающих на границах раздела твердых фаз.

В последние годы развиваются новые подходы к исследованию кинетики таких топохимических реакций [1-3]. На их основе поставлена задача проведения кинетического анализа экспериментальных данных с учетом величин удельных скоростей реакций. Так как топохимические реакции протекают на поверхности раздела твердых фаз и максимальная скорость этих реакций развивается на поверхности или прилегающих к поверхности частях, поэтому скорость топохимической реакции ($\dot{v} = -dn/dt$, где n - количество вещества, реагирующего в единицу времени) непосредственно зависит от реакционной способности поверхности реагента, определяемой удельной скоростью реакции \dot{v}_0 .

Рассмотрим кинетические закономерности топохимических реакций. Примем, что в момент времени t в интервале $0 \leq t \leq t_0$ образуется

$$\Delta N = \frac{dN}{dt} \Delta t \quad (1)$$

центров кристаллизации (твёрдого продукта). Обозначив скорость реакции для отдельного центра через v , для всех образовавшихся кристаллов в моменту времени t запишем

$$\Delta n = v(t, \tau) \frac{dN(\tau)}{d\tau} \Delta \tau, \quad (2)$$

$$n = \int_0^t v(t, \tau) \frac{dN(\tau)}{d\tau} d\tau \quad (3)$$

Выражение (3) является основным уравнением кинетики гетерохимических реакций. Оно пригодно при малых степенях превращения (т. е. когда отсутствует перекрытие зародышей или оно незначительно). Подынтегральное выражение (3) представляет собой произведение двух функций: скорости реакции отдельного зародыша v и скорости образования кристаллической фазы продукта $dN(\tau)/d\tau$ определяемой экспоненциальным или степенным законами.

Скорость реакции на поверхности S зародыша радиусом r равна

$$v = \frac{dn}{dt} = v_0 S = 2\pi r^2 v_0, \quad (4)$$

количество молей продукта реакции

$$n = \frac{V\gamma}{M} = \frac{2\pi r^3 \gamma}{3M}, \quad (5)$$

где V - объём, γ - плотность; M - молярная масса реагента.

Выразив $v(t, \tau) = \frac{dN(\tau)}{d\tau}$ в виде экспоненциальной или

степенной функции, интегрирование уравнения (3) даёт следующие решения [3,4].

для экспоненциальной функции -

$$\frac{n}{t^2} = \frac{2}{3} \pi \frac{M^2}{\gamma^2} v_0^2 - \frac{1}{V} \left(\frac{v}{t} \right); \quad (6)$$

для степенной функции -

$$\frac{n}{t} = \frac{1}{q} (v). \quad (7)$$

где v - удельная скорость образования зародышей (кристаллов), $q = b + 3$; b - константа, определяемая экспериментальным путём.

Как видно, если скорость образования зародышей (кристаллов) выражается экспоненциальной функцией времени то кинетические зависимости суммарных реакций должны линейризоваться в координатах $n/(t^2 - 1)/t^2$ из (6), если же выражается степенной функцией, то $n/(t - 1)$ из (7).

Из (6) и (7) с учетом условия максимума скорости реакций ($S = \frac{4}{\pi} S_0$, где S - площадь исходной поверхности реагента; S_0 - суммарная площадь оснований кристаллов в момент максимума скорости реакции) можно определить ϑ_{II} :

в случае экспоненциального закона -

$$\vartheta_{II} = \frac{2V(\epsilon l_{max}^3 - n_{max})}{\pi g S_0}, \quad \epsilon = \frac{2}{3} \pi \frac{M^3}{\gamma^3} \vartheta_{II}^3 \quad (8)$$

в случае степенного закона -

$$\vartheta_{II} = \frac{2qn_{max}}{\pi g S_0 l_{max}} \quad (9)$$

где g и S_0 - навеска и удельная поверхность реагента (g представляет собой тангенс угла наклона прямой в координатах $[\lg n] - [\lg t]$).

Для этого необходимо знать кинетику реакции в начальный период (до максимума скорости) и параметры максимума n_{max} , l_{max} . Для зародышей сферической формы ϑ_0 можно определить (в случае степенного роста) также по формуле [3,4]

$$\vartheta_0 = \frac{2\eta_{max}}{\pi g S_0} \quad (10)$$

без дополнительных исследований кинетики реакции.

При расчетах удельной скорости реакций образования зародышей можно использовать уравнение

$$\vartheta = \chi(t_0 + t)^3 \quad (11)$$

где χ - параметр зародышеобразования, определяемый экспериментальным путем; t_0 - время, потребное для образования зародышей (при постоянной скорости их роста).

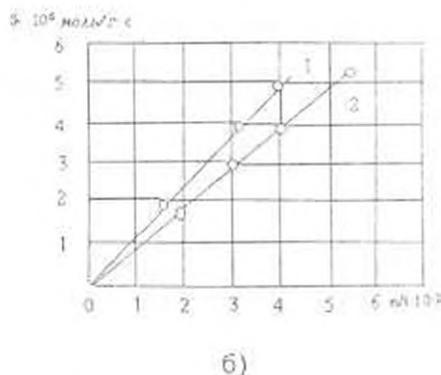
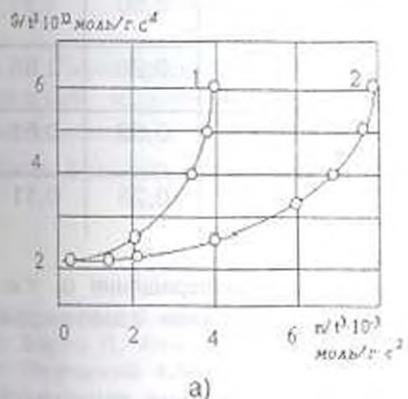


Рис. 1. Зависимости $\vartheta/t^3 = n/t^4$ (6) (а) и $\vartheta = (n/t)$ (7) (б) для реакции восстановления хлорного железа водородом при 1-773К, 2 - 673 К

По (11) графически можно определить χ в координатах " $\chi \cdot \vartheta - 1$ ". Из (10) и (11) получаем

$$\vartheta_0 = 2\chi a^2 / \pi g S_g \quad (12)$$

где a — параметр погрешности, связанный с перекрыванием зародышей (кристаллов), при малых степенях превращения $\alpha \rightarrow 1$.

Таблица

Удельные скорости реакции восстановления хлорного железа водородом, определенные по данным экспериментов

Т, К	Π_{\max} , %	$\vartheta \cdot 10^{-7}$, моль/г с	$\vartheta'_0 = \frac{2\eta \Pi_{\max}}{\pi g S_g^2 \max}$	$\vartheta''_0 = \frac{2\eta \max}{\pi g S_g}$		$\vartheta'''_0 = \frac{2\chi a^2}{\pi g S_g}$	
			$\vartheta' \cdot 10^{-7}$	ϑ	$\vartheta'' \cdot 10^{-7}$	$\chi \cdot 10^{-5}$	$\vartheta''' \cdot 10^{-7}$
573	5	1,10	2,09	0,8	2,3	0,99	2,91
	10	1,91	3,60		3,90	1,81	3,81
	15	2,02	3,60		4,00	1,90	4,01
	20	2,41	4,56		4,80	2,19	4,61
673	5	2,50	4,75	1,0	5,00	2,33	4,90
	10	3,02	5,71		6,00	2,91	6,11
	15	3,11	5,89		6,20	2,76	5,80
	20	3,20	6,08		6,40	3,09	6,12
773	5	3,51	6,65	1,1	7,00	4,09	6,51
	10	4,32	8,17		8,60	4,53	8,62
	15	4,90	9,31		9,80	4,71	9,50
	20	5,01	9,50		10,00	0,48	9,91
$P_{II}^{773} = 100\%$	1,0	6,82	1,29	1,1	1,28	0,50	1,31
$P_{II}^{773} = 75\%$	0,8	5,81	1,11		1,15	0,28	1,05
$P_{II}^{773} = 50\%$	0,5	3,01	0,57		0,52	0,52	0,61
$P_{II}^{773} = 25\%$	0,4	0,50	0,09		0,16	0,28	0,11

Примечание. $0,8 \leq \eta \leq 1,1$ что отвечает малым степеням превращения α , т.е. при отсутствии взаимного перекрывания зародышей (кристаллов).

С целью установления закономерности образования зародышей (кристаллов α -Fe) воспользуемся уравнениями (6) и (7). Проверку их на пригодность проводят графическим построением соответствующих функциональных зависимостей в линеаризующих координатах (рис. 1а и б). По характеру кривых видно, что экспериментальные

данные линеаризуются в координатах уравнения (7) (рис.1б). Следовательно, зародышеобразование (кристаллизация) продукта α -Fe осуществляется по степенному закону.

По уравнениям (9), (10) и (12) применительно к степенному закону определены удельные скорости реакции восстановления хлорного железа водородом (табл.).

Как показывают данные таблицы, значения удельной скорости реакции, определяемые различными методами, удовлетворительно совпадают. Так, при $T = 773 \text{ K}$, $\vartheta' = (6,65...9,5) \cdot 10^{-7}$, $\vartheta'' = (7,0...10,0) \cdot 10^{-7}$, $\vartheta''' = (6,51...9,91) \cdot 10^{-7}$ моль/г с различие составляет 3..5%. Это прежде всего говорит о достоверности данных экспериментов и надежности расчетных формул (9), (10) и (12), при этом процесс образования новой фазы α -Fe описывается степенной функцией от времени.

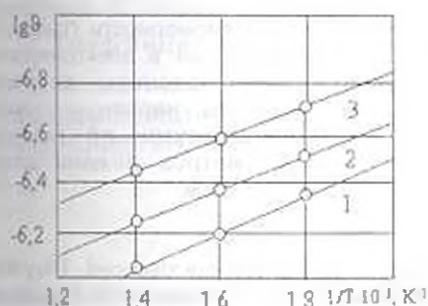


Рис. 2. Температурная зависимость удельной скорости реакции восстановления хлорного железа при давлениях водорода: 1 - 50; 2 - 75; 3 - 100%

Как видно из кинетических зависимостей процессов восстановления хлорного железа (рис.2), для всех концентраций водорода получены прямолинейные зависимости, которые удовлетворительно описываются уравнением Аррениуса. Энергия активации составляет 10,2 кДж/моль. Поскольку соблюдается параллельность прямых, то она зависит от концентрации водорода. Порядок реакции по водороду определен равным 0,8.

Удельную скорость восстановления можно представить в виде:

$$\vartheta_0 = K_0 \exp\left(-\frac{957,39}{RT}\right) P_{\text{H}_2}^{0,8}$$

Таким образом, по полученным значениям удельных скоростей реакций можно определить кинетические параметры процесса восстановления, в том числе наблюдаемую энергию активации E_0 , а также выяснить механизм реакции.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. - М.: Мир, 1972. - 554 с.
- 2 Барре П. Кинетика гетерогенных процессов - М.: Мир, 1976. - 399 с.
- 3 Розовский А.Я. Кинетика топохимических реакций. - М.: Химия, 1974. - 224 с.
- 4 Джейкобс П., Томпкинс Ф. Химия твердого тела. - М., ИЛ, 1961. - 482 с.

А.М. АРАКЕЛЯН, Л.В. ЕГИАЗАРЯН, В.С. САФАРЯН

УЧЕТ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ГРАФИКА НАГРУЗКИ В РАСЧЕТЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Առաջարկվում են բնութագրող անհավասարաչափության գործակիցների գրավիչությունը հաշվարկելու բնութագրող ցուցանիշներ որոշել օգտագործելու են տարրաբերական եռափուլային էլեկտրական ցանցերում հաշվարկային ժամանակահատվածում կներդրված էլեկտրաէներգիայի տրված ծավալի դեպքում էլեկտրաէներգիայի կորուստները հաշվարկելիս: Անհավասարաչափությունը գործակիցները որոշվում են բնութագրական օրերի եռօրյակ, բառ սեփյալ լիվ սրբաանտերերի: Մի լիվ սեփյալային սրբաանտերերի դեպքում տրված են նշված գործակիցների մոտավոր հաշվարկի բնութագրերը:

Выведены формулы расчета коэффициентов неравномерности графиков нагрузок используемых в расчетах потерь электроэнергии в электрических трехфазных сетях промышленной частоты при заданном расходе электроэнергии в расчетный период. Коэффициенты неравномерности определяются строгим расчетом для характерных суток по полным параметрам режима. Для случаев неполных параметров режима даны формулы приближенного расчета упомянутых коэффициентов.

Библиогр.: 1 назв.

The formulas for load graph non-evenness calculation are deduced. They are used for calculating the electricity losses in three-phased networks by the given electricity consumption for the given period. Non-evenness coefficients are defined by a strict calculation for characteristic days with full regime parameters. Formulas are given for rough calculation of the above mentioned coefficients in non-full regimes.

Ref. 1

В распределительных электрических сетях напряжением 0,38...35 кВ основным источником информации являются приборы измерения электроэнергии на головных (питающих) фидерах и выходах трансформаторов, питаемых ими. Это позволяет определить среднюю электрическую мощность (соответствующий ток) за рассматриваемый период (как правило, месяц). Потери электроэнергии, рассчитанные этим током, являются теоретическим минимумом. Действительные потери значительно превышают их из-за неравномерности графиков нагрузок. Для учета этого обстоятельства широко используется идея коэффициента неравномерности графиков нагрузок характерных суток данного периода [1], значения которого распространяются на весь рассматриваемый период. Существенный рост стоимости электроэнергии привел к необходимости повышения точности определения коэффициента неравномерности с учетом резкого изменения режима потребления и состава электропотребителей.

Настоящая работа посвящена получению точных формул расчета коэффициента неравномерности - $K_{нр}$ и его составляющих, а также формул приближенного их расчета. Коэффициент неравномерности равен

$$K_{\text{уп}} = 3nU_{\text{ср}}^2 \frac{\sum_{i=1}^n (I_{A_i}^2 + I_{B_i}^2 + I_{C_i}^2 + FI_{N0_i}^2)}{\left(\sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_i\right)^2}, \quad (1)$$

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{\text{фр}}, \quad U_{\text{фр}} = \frac{1}{3} (U_{A_i} + U_{B_i} + U_{C_i}),$$

где I_{A_i} , I_{B_i} , I_{C_i} , I_{N0_i} - токи в фазах А, В, С и нулевом проводе в i -ом отрезке времени измерения ступени графика нагрузки; P_i и Q_i - суммарная активная и реактивная мощности трех фаз в i -ом отрезке времени; U_{A_i} , U_{B_i} , U_{C_i} - напряжения фаз А, В, С в i -ом отрезке времени; n - число ступеней (отрезков времени) графика нагрузки; F - отношение сопротивления нулевого провода к фазному.

Коэффициент $K_{\text{уп}}$ достаточен для расчета потерь электроэнергии в сети. Однако для анализа причин, приводящих к неравномерности нагрузки, а следовательно к росту потерь электроэнергии, важную роль играет определение составляющих $K_{\text{уп}}$.

$$K_{\text{уп}} = K_1 K_2 K_3, \quad (2)$$

где K_1 , K_2 , K_3 - коэффициенты, учитывающие переменность во времени графика трехфазной симметрично представляемой нагрузки, различия средних значений несимметричной нагрузки при представлении одинаковыми формы графиков нагрузок отдельных фаз, отличия форм графиков нагрузок отдельных фаз от графика трехфазной симметрично представляемой нагрузки.

Формулы расчета K_1 , K_2 , K_3 имеют вид

$$K_1 = nU_{\text{ср}}^2 \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i^2 + Q_i^2}{U_{\text{фр}}^2}}{\left(\sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_i\right)^2}, \quad (3)$$

$$K_2 = 3n^2U_{\text{ср}}^2 \frac{(I_{A\text{ср}}^2 + I_{B\text{ср}}^2 + I_{C\text{ср}}^2 + FI_{N0\text{ср}}^2)}{\left(\sum_{i=1}^n P_i\right)^2 + \left(\sum_{i=1}^n Q_i\right)^2}, \quad (4)$$

$$I_{m\text{ср}} = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{I}_{m_i} \right|, \quad I_{N0\text{ср}} = \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{I}_{N0_i} \right|, \quad (5)$$

где m - индекс фаз А, В, С.

Комплексные значения токов \bar{I}_{m_i} и \bar{I}_{N0_i} определяются формулами

$$\bar{I}_{\text{м}} = \frac{e^{-i\psi} - \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}}{U_{\text{м}} e^{i\theta_{\text{м}}}} \quad (6)$$

$$I_{\text{N}} = \bar{I}_{\text{A}} + \bar{I}_{\text{B}} + \bar{I}_{\text{C}} \quad (7)$$

где $\theta_{\text{м}}$ и $\psi_{\text{м}}$ - углы между действительной осью и векторами $\bar{U}_{\text{м}} = U_{\text{м}} e^{i\theta_{\text{м}}}$ и $\bar{S}_{\text{м}} = e^{i\psi} \sqrt{P_{\text{м}}^2 + Q_{\text{м}}^2}$ на комплексной плоскости;

$$K_1 = \frac{K_{\text{м}}}{K_1 K_2} \quad (8)$$

Получены графики значительного числа нагрузок прибором NEM 1180. Прибор непрерывно измеряет режимные параметры $P_{\text{A}}, P_{\text{B}}, P_{\text{C}}, Q_{\text{A}}, Q_{\text{B}}, Q_{\text{C}}, U_{\text{A}}, U_{\text{B}}, U_{\text{C}}$ и $\cos\varphi_{\text{т}}$, усредняет их за заданный отрезок времени Δt (заданы 10 и 15 минут) и запоминает. Эти данные автоматически заносятся в память компьютера. Расчеты производятся программой, составленной по вышеприведенному алгоритму.

На практике в большинстве случаев нет возможности получения графиков нагрузки по мощностям и напряжениям. Приходится ограничиваться только графиками модулей токов нагрузок. Определение коэффициентов неравномерности по этим графикам вышеприведенными формулами требует принятия допущения

$$U_{\text{A}} = U_{\text{B}} = U_{\text{C}} \text{ и } \varphi_{\text{A}} = \varphi_{\text{B}} = \varphi_{\text{C}}.$$

При этом формулы расчета приобретают характер приближенности. В частности, рассчитываемые коэффициенты получаются несколько меньшими, чем действительные их значения, но имеют достаточную точность для решения практических задач. Формулы приближенного расчета следующие:

$$K'_{\text{м}} = 3n \frac{\sum_{i=1}^n (I_{\text{A}}^2 + I_{\text{B}}^2 + I_{\text{C}}^2 + FI_{\text{N}}^2)}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{\text{A}} + I_{\text{B}} + I_{\text{C}}) \right]^2}, \quad K'_1 = n \frac{\sum_{i=1}^n (I_{\text{A}} + I_{\text{B}} + I_{\text{C}})^2}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{\text{A}} + I_{\text{B}} + I_{\text{C}}) \right]^2}$$

$$K' = 3n \frac{(I_{\text{Acp}}^2 + I_{\text{Bcp}}^2 + I_{\text{Ccp}}^2 + FI_{\text{Ncp}}^2)}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{\text{A}} + I_{\text{B}} + I_{\text{C}}) \right]^2}$$

где

$$I_{\text{мcp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{\text{м}}, \quad I_{\text{Ncp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{\text{N}}, \quad K'_1 = \frac{K'_{\text{м}}}{K'_1 K'_2}$$

Таким образом, в практических расчетах потерь электроэнергии в электрических сетях использование коэффициентов неравномерности обеспечивает достаточную точность результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 176 с.

Ин-т энергетики ГЗАО РА

07.08.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1999, с. 181-186.

УДК 621.3.013

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М.А. КАРАПЕТЯН, В.А. ГРИГОРЯН, Л.О. КАРАХАНИЯН, В.В. ВАРДАНИЯН

ЯВЛЕНИЯ В МАСЛЕ, СОДЕРЖАЩЕМ ПУЗЫРЬКИ ГАЗА И КАПЕЛЬКИ ВОДЫ, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Տաշվարկված են արանաֆորմատորային յուղում առկա գազային բջիջների և ջրի կաթիլների դեֆորմացիոն մեխանիկական ուժերը և էլեկտրական դաշտի լարվածությունները բջիջների և կաթիլների ներսում և յուղում՝ այդ ներառումների նկատմամբ առանձնապես կետում, որտեղ լարվածությունն առավելագույնն է: Տաշվարկները կատարված են արտաքին հստակապես դաշտի դեպքում՝ հաշիլի առկայով բևեռացված և դեֆորմացիոն ներառումների սեփական դաշտերի վախճանությունը դիպոլային ստվարացված, սալիբեր ծավալային կոնցենտրացիաների նկատմամբ:

Осуществлен расчет механических сил, деформирующих газовые пузырьки и капельки воды, содержащиеся в трансформаторном масле, а также расчет напряженностей электрического поля внутри пузырьков и капелек и в масле на границе с этими включениями в точке, где напряженность максимальна. Расчеты осуществлены при внешнем однородном поле с учетом дипольного взаимодействия собственных полей деформированных и поляризованных включений различной объемной концентрации.

Табл. 2. Библиогр.: 2 назв.

Mechanical force calculation deforming gas bubbles and water droplets containing in transformer oil is realized. Calculation of electric field intensity inside the bubbles and water droplets and oil on the border of these inclusions at the point where the intensity is maximum is studied as well. Calculations are realized in the external homogeneous field with dipole interaction of eigen fields for deformed and polarized inclusions of diverse volume concentration.

Tables 2. Ref. 2.

В процессе эксплуатации трансформаторов, масляных выключателей, кабельных муфт и т.д. трансформаторное масло или маслонафтофильный компаунд превращаются в полидисперсные системы с дисперсной фазой в виде пузырьков газа и капелек воды. В перечисленных электротехнических устройствах масло подвергается действию внешнего неоднородного поля, что вызывает перемещение включений масла по (капельки воды) и против (пузырьки газа) направления поля.

Температурное поле в масле неоднородное, что приводит к образованию потоков масла со своими включениями внутри корпуса с разными скоростями. Это значит, что масло и его включения в различных точках пространства внутри корпуса, например трансформатора оказываются под воздействием электрического поля различной напряженности и направления. Между тем, определение точных значений напряженностей внешнего электрического поля в различных участках внутри корпуса практически не представляется возможным.

Из вышеизложенного следует, что изучить количественно реальную картину явлений в масле с инородными включениями в сложном поле существующих электротехнических устройств весьма трудно и неоправданно. Качественное же исследование явлений в полидисперсной системе можно осуществить, полагая внешнее поле однородным. При этом исключается перемещение включений под действием внешнего неоднородного поля, и задача сводится к расчету стационарного электрического поля в неоднородной среде, смоделированной полидисперсной системой.

Исследование электрического поля в жидком диэлектрике с инородными включениями представляет интерес с точки зрения оценки длительной электрической прочности соответствующей изоляции.

При исследовании электрического поля в неоднородной среде, смоделированной полидисперсной системой с эллипсоидальными включениями, в [1] получены выражения

$$E_i = \frac{\epsilon_i E_0}{\epsilon_i + (\epsilon_i - \epsilon_1)(1 - f_i)N_i}, \quad E_{i0} = \frac{\epsilon_i E_0}{\epsilon_i + (\epsilon_i - \epsilon_1)(1 - f_i)N_i},$$

$$E_{i0} = \sum \frac{f_i N_i}{\epsilon_i \epsilon_1 V_i} P_i, \quad E_{i0} = E_0 + E_{i0}, \quad P_i = V_i \epsilon_i \epsilon_1 m_i E_0, \quad (1)$$

$$\epsilon = \epsilon_1(1 + f_i m_i), \quad m_i = \frac{\epsilon_i - \epsilon_1}{\epsilon_i + (\epsilon_i - \epsilon_1)(1 - f_i)N_i}, \quad i = 1, 2,$$

где E_0 , E_i , E_{i0} , E_{i0} , E_{i0} - напряженности внешнего однородного поля; внутри включений i -го сорта; в масле на границе с включением в точке y полюса (или вершины) включения; результирующего поля собственных полей поляризованных включений единицы объема в центре данного включения; поля, поляризующего данное включение; P_i - дипольный момент поляризованного включения i -го сорта; ϵ_i , ϵ_1 - диэлектрические проницаемости включений i -го сорта и масла; V_i , f_i - объем включений i -го сорта и их объемная концентрация в системе; N_i - коэффициент деполяризации включений i -го сорта по направлению E_0 .

Здесь рассчитывается также механическая сила, действующая на масло в точке на границе с включением, у полюса (вершины) последнего. Расчет осуществлен с использованием производной энергии электрического поля [2]:

$$F_{\text{max}} = \left. \frac{dW}{dr} \right|_{r=r_0} = \mp \varepsilon_1 \varepsilon_0 (1 + 2P_1') \frac{E_0}{a} P_1' E_0^2 \quad (2)$$

где $W = \varepsilon_1 \varepsilon_0 (E_0 + R_p)^2 / 2$, $E_0 = 2P_1' / 4\pi \varepsilon_1 \varepsilon_0 r^2$, $P_1' = P_1 / N_1 \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_0$.

Таблица 1

$\pi_0(1), (2)$	t_1				Коэф. депол. N и полуось эллипса a
	0.00	0.01	0.10	0.25	
E_1/E_0	1.230	1.229	1.204	1.162	$N_1 = 1/3,$ " a = 10^{-5} м
$P_1/V_1 \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_0$	-0.696	-0.695	-0.681	-0.593	
E_2/E_0	0.000	-0.002	-0.023	-0.055	
$E_n =$ $=(E_0 + E_n)/E_0$	1.000	0.998	0.977	0.945	
ε	2.300	2.285	2.144	1.959	
$F_{\text{max}}/10^{-3} E_0^2$	-33.3	-33.1	-20.1	-13.5	
E_1/E_0	1.716	1.704	1.602	1.456	$N_1 = 0.6,$ a = $0.5 \times$ $\times 10^{-5}$ м
$P_1/V_1 \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_0$	-0.855	-0.851	-0.813	-0.758	
$F_{\text{max}}/10^{-3} E_0^2$	-148.3	-145.8	-124.3	-95.5	
E_1/E_0	2.836	2.863	3.125	3.664	$N_1 = 1/3,$ a = 10^{-5} м
$P_1/V_1 \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_0$	2.758	2.784	3.039	3.562	
E_2/E_0	0.000	0.083	0.304	0.895	
$E_n =$ $=(E_0 + E_n)/E_0$	1.000	1.028	1.304	1.895	
ε	2.300	2.364	2.998	4.358	
$F_{\text{max}}/10^{-4} E_0^2$	21.95	22.33	26.27	31.34	
E_1/E_0	7.965	8.027	8.633	9.876	$N_1 = 0.1,$ a = $1 \times$ $\times 10^{-5}$ м
ε	2.300	2.479	4.230	7.815	
$P_1/V_1 \varepsilon_1 \varepsilon_0 E_0$	7.738	7.799	8.387	9.594	
$F_{\text{max}}/10^{-4} E_0^2$	51.9	52.7	60.7	78.8	

Здесь W - удельная энергия поля в масле; a - радиус шарообразного или полусось эллипсоидального включения, ориентированного по вектору E_0 ; E_n - напряженность поля диполя в масле на границе с включением.

Можно показать, что знак F_{max} на границе масло-капля воды следует принять положительным, а на границе с пузырьком газа-отрицательным.

Результаты расчета (1) и (2) для случая, когда в масле имеются только газовые пузырьки (верхняя часть табл.1) показывают, что P_1 , E_n и F_{max} направлены против внешнего поля, поэтому поляризующее пузырьки поле $E_n < E_0$, а механическая сила в масле сплющивает пузырьки газа. Приведены также некоторые результаты расчетов при предположении, что пузырьки сплющены и $N_1 = 0,6$. Здесь обращает на себя внимание тот факт, что E внутри сплющенного газового пузырька существенно выше напряженности поля шарообразного пузырька ($N_1 = 1/3$). При этом, естественно, повышается вероятность электрического пробоя пузырьков.

Результаты расчета (1) и (2), когда в масле только шаровидные ($N_2 = 1/3$) капельки воды, приведены в нижней части табл.1. Механическая сила поля отгоняет масло от капли воды, поэтому капля вытягивается и становится вытянутым эллипсоидом вращения. Там же приведены результаты расчетов при предположении, что $N_2 = 0,01$. Сопоставление результатов показывает: с вытягиванием капель воды резко увеличиваются напряженности поля в масле, что может привести к электрическому пробоею масляного промежутка между двумя соседними вдоль поля каплями воды.

Результаты расчета поля в масле, содержащем как пузырьки газа, так и капельки воды (табл.2), осуществлены с использованием выражений, взятых из [1]:

$$\begin{aligned}
 E_1 &= E_0 + f_1 N_1 P_1' - (1 - f_1) N_1 P_1', & E_{11} &= E_0 + f_2 N_2 P_2' + [1 - (1 - f_1) N_1] P_1' \\
 E_2 &= E_0 + f_1 N_1 P_1' - (1 - f_2) N_2 P_2', & E_{12} &= E_0 + f_1 N_1 P_1' + [1 - (1 - f_2) N_2] P_2' \\
 P_1 &= V_1 \epsilon_1 \epsilon_0 m_1 (1 + D_1) E_0, & P_1' &= P_1 / V_1 \epsilon_1 \epsilon_0 E_0 \\
 P_2 &= V_2 \epsilon_2 \epsilon_0 m_2 (1 + D_2) E_0, & P_2' &= P_2 / V_2 \epsilon_2 \epsilon_0 E_0 \\
 D_i &= f_i m_i N_i, & m_i &= \frac{\epsilon_i - \epsilon_0}{\epsilon_0 + (\epsilon_i - \epsilon_0)(1 - f_i) N_i}, \quad i=1,2. \\
 E_n / E_0 &= f_1 N_1 P_1' + f_2 N_2 P_2', & E_n / E_0 &= (E_{11} + E_{12}) / E_0 \\
 \epsilon &= \epsilon_0 [1 + f_1 m_1 (1 + D_1) + f_2 m_2 (1 + D_2)].
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Рассчитаны также механические силы в масле на границах с пузырьками газа и каплями воды

$$F_{1max} = -\epsilon_1 \epsilon_0 (1 - 2P_1') \frac{6}{a} P_1' E_0^2, \quad F_{2max} = \epsilon_2 \epsilon_0 (1 + 2P_2') \frac{6}{a} P_2' E_0^2. \tag{4}$$

В (3), дополнительно к (1) и (2), сделаны обозначения: E_{11} и E_{12} - напряженности поля в масле на границах, соответственно, с газовым пузырьком и капелькой воды у полюса (вершины) включений. Расчеты осуществлены при условии $f_1 = f_{11}$.

Таблица 2

$\pi_n(3), (4)$	$f_1 = f_{11}$				Коэф-циент N и полуось эллипса a
	0.00	0.01	0.10	0.25	
P'_1	-0,695	-0,706	-0,750	-0,853	$N_1 = N_{11} = 1/3, a = 10^{-5} \text{ м}$
P'_2	2,750	2,776	2,967	3,385	
E'_x / E_0	0,000	0,007	0,074	0,211	
E'_y / E_0	1,000	1,007	1,074	1,211	
ϵ	2,300	2,348	2,810	3,750	
E'_z / E_0	1,232	1,242	1,324	1,495	
E'_{11} / E_0	2,833	2,858	3,052	3,468	
$F'_{1max} / 10^5 E_0^2$	-15,2	-35,5	-50,9	-73,5	
$F'_{2max} / 10^5 E_0^2$	3,18	22,2	25,1	32,1	
P'_1	-1,088	-1,088	-1,101	-1,144	
P'_2	7,738	7,729	7,662	7,714	
E'_x	0,000	-0,001	-0,017	-0,050	
E'_y	1,000	0,999	0,983	0,950	
E'_z	1,925	1,916	1,919	1,922	
E'_{11}	7,964	7,871	7,879	7,892	
ϵ	2,30	2,45	3,81	6,08	
$F'_{1max} / 10^5 E_0^2$	-15,63	-15,30	-16,16	-17,95	
$F'_{2max} / 10^5 E_0^2$	51,9	51,8	50,9	51,6	

Заслуживают внимания следующие результаты (нижняя часть табл. 2). Несмотря на наличие в масле газовых пузырьков, $E'_{11} > 0$ и $E'_y > E_{11}$. Однако это привело к уменьшению E в масле ($E'_{11} < E_{11}$, нижняя часть табл. 1), что является следствием уменьшения поляризирующего поля (ср. E'_{11} в нижней части табл. 1, 2). Наличие же капелек воды привело к существенному повышению напряженности поля в пузырьках газа (см. E'_1 в верхней части табл. 1 и 2).

Возросла сила сплющивания газовых пузырьков ($F_{\text{спл}}^{\text{г}}$, табл. 1 и 2) и уменьшена сила вытягивания водяных капель ($F_{\text{спл}}^{\text{в}}$, табл. 1 и 2).

В отличие от верхней части табл. 2, в нижней части принято, что газовые пузырьки сильно сплющены ($N_1 = 0,85$), а капельки воды резко вытянуты ($N_2 = 0,1$). Длины полуосей a эллипсоидов в табл. 2 выбраны ориентировочно, т.к. коэффициенты N эллипсоидов прращения определяются отношением осей a/b , которые в процессе вытягивания изменяются при неизменном объеме шара, т.е.

$$a_{\text{ш}}^3 = a_{\text{сш}}^3 b_{\text{сш}}^3.$$

Из нижней части табл. 2 следует, что сплющивание пузырьков газа усиливает их влияние на распределение поля в исследуемой полидисперсной системе. Несмотря на наличие в системе капелек воды, результирующее поле взаимодействия отрицательное $E_{\text{в}} < 0$, а поляризирующее включения поле слабее внешнего ($E_{\text{в}} < E_{\text{вн}}$). В результате этого напряженность поля в масле E_{12} существенно меньше $E_{\text{вн}}$ (верхняя часть табл. 2). Но при этом не снижается опасность пробоя промежутков масла между соседними капельками воды. Сплющивание газовых пузырьков, однако, обуславливает резкое повышение напряженности поля в газе, что может привести к частичному пробоя этих включений, а со временем и всей системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян М.А. Исследование электрического поля в неоднородной среде. — Ереван: Айастан, 1980. — 216 с.
2. Կարապետյան Մ.Ա., Տակոբջանյան Գ.Գ. Էլեկտրամիջավայրի տեսական հիմունքները II մաս — Եր. Լուս, 1989. — 449 էջ

ГИУА

20.03.1998

Илл. НАН и ГИУ Армении (сер. ГН), т. ЦП, № 2, 1999, с. 186-192.

УДК 621.316.933

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

М.М. КАРАПЕТЯН, В.Г. ВАРТАЗАРЯН

ГРОЗОЗАЩИТА МГЭС НОВЕЙШИМИ ЗАЩИТНЫМИ АППАРАТАМИ

Միտարելված է սովորույթյալ գերադասների ֆոնդի-ի պաշտպանության անհրաժեշտությունը «ՏԷՏԻ» «Կույծակ»-ում պատրաստված և մշակված համաշխարհային ստանդարտներին համապատասխանող նորագույն պաշտպանիչ սարքերով: Այս ներդրումը «Կույծակ»-ում կապանովի ֆոնդի-ի ամպրոպակայանության շարժը զուգանիշները, կորակարգի շահագործման նուստիությունը և զբաղիրեն կեզվագեցի կապանաց ծախսերը:

Рассмотрена необходимость выбора грозозащиты МГЭС с применением соответствующих уровню мирового стандарта новейших защитных аппаратов, разрабатываемых и изготавливаемых АИВТ "Кайцак". Применение этих аппаратов обеспечит высокие показатели грозупорности МГЭС, повысит надежность эксплуатации и значительно уменьшит капитальные затраты.

Ил. 2. Табл. 1. Библиогр., 7 назв.

Necessity for choice of SHEPP-s lightning protection by means of the newest protecting equipment conforming to the high standard of technology developed and manufactured by the Armenian Institute of High-Voltage Engineering (AIHVE) "Kajtsak" is considered. The equipment will provide a high index in SHEPP-s lightning protection, increase operational reliability and substantially reduce capital expenditures.

Ил. 2. Table 1. Ref. 7.

Годовая выработка МГЭС, работающих на бытовом стоке малых рек, существенным образом зависит от эффективности мер по исключению аварийных простоев в периоды половодья. Поскольку половодье часто совпадает с сезоном интенсивной грозовой деятельности, то для энергоэкономической эффективности МГЭС особое значение приобретают вопросы обеспечения надежной грозозащиты.

Для станций с непосредственным выходом генераторного напряжения на воздушные линии (ВЛ) высоковольтной сети наиболее ответственной областью грозозащиты является защита генераторов от набегających с ВЛ волн грозового перенапряжения (ВГП). Как известно амплитуды ВГП ($U_{ВГП}$) в десятки раз превышают импульсную прочность $U_{ИМ}$ главной изоляции вращающихся машин (ВМ) [1], которая согласно [2] нормируется довольно низким уровнем

$$U_{ИМ} = 1.5\sqrt{2}U_{исп}, \quad (1)$$

где $1.5U_{исп}$ - испытательное напряжение главной изоляции ВМ на послеремонтном этапе эксплуатации.

Таким образом, перед системой защиты ВМ от ВГП стоит сложная задача ограничения высоких амплитуд грозовых перенапряжений до значительно более низкого уровня $U_{з}$ (защитный уровень), при котором обеспечивается условие $U_{з} \leq U_{ИМ}$, т.е. осуществляется координация допустимых для изоляции ВМ импульсных напряжений с уровнем ограничения перенапряжений $U_{з}$ схемы грозозащиты.

В действующих до настоящего времени системах грозозащиты ВМ, в частности генераторов, главную роль в координации изоляции играют вентильные разрядники (РВ). Защитное действие РВ определяется в основном вольтамперной характеристикой (в.а.х.) карборундового рабочего резистора (РР), которая обычно аппроксимируется зависимостью

$$U_{РР} = H_{РР} A_{\alpha} I_{РР}^{\alpha}, \quad (2)$$

где $U_{РР}$ и $I_{РР}$ - амплитуды соответственно напряжения на РР и тока через него; $H_{РР}$ - высота колонки РР; α - коэффициент нелиней-

ности материала РР; Λ_n - коэффициент, зависящий от диаметра диска РР единичной высоты.

Как известно, в РВ минимально допустимое значение $H_{гг}$ определяется условием гашения в искровых промежутках (ИП) дуги тока рабочей частоты (сопровождающий ток), протекающего через РР под воздействием восстанавливающегося рабочего напряжения. Из (2) имеем

$$H_{гг} \geq \sqrt{2} U_{н.р} / A_{оп} I_{гг}^{\alpha_r} \quad (3)$$

где $U_{н.р}$ - действующее значение наибольшего рабочего напряжения сети; $I_{гг}$ - амплитуда сопровождающего тока, при которой происходит надежное гашение дуги в ИП при переходе синусоидального тока через ноль; $A_{оп}$ и α_r - значения коэффициентов из (2) в интервале в.а.х. РР, соответствующем уровням рабочих напряжений.

Значения $I_{гг}$ зависят от способа функционирования дуги и не превышают 100 А в ИП с неподвижной дугой и 250 А в ИП с вращающейся дугой.

Обусловленное ограничение (3) минимального значения $H_{гг}$ определяет защитный уровень РВ, характеризуемый так называемым остающимся напряжением $U_{гг}$ при нормированных импульсах тока I_n , например, при $I_n = 5$ кА. Из (2) и (3) с учетом того, что в сетях с изолированной нейтралью $U_{н.р} = 1.1 U_{ном}$, имеем

$$U_{гг} = U_{гг} = H_{гг} A_{оп} I_{гг}^{\alpha_r} = 1.1 \sqrt{2} U_{ном} A_{оп} I_{гг}^{\alpha_r} / A_{оп} I_{гг}^{\alpha_r} \quad (4)$$

где $A_{н}$ и α_r - значения коэффициентов из (2) в интервале в.а.х. РР, соответствующем уровням ВГП.

Для машинных разрядников типа РВМ с вилговым РР ($\alpha_r = 0.3$, $\alpha_r = 0.13$) согласно (4) имеем $U_{гг} = 2.05 \sqrt{2} U_{ном}$. Сравнение этого значения с (1) показывает, что при $I_n = 5$ кА $U_{гг} = U_{гг} > U_{ном}$, т.е. при нормированном токе 5 кА разрядник РВМ не обеспечивает координацию изоляции. Очевидно, чтобы соблюдалось условие $U_{гг} < U_{ном}$, соответствующий импульсный ток через разрядник, называемый током координации, должен быть ограничен некоторым значением $I_k < I_n$. Кратность этого ограничения с некоторым приближением определяется из соотношения

$$I_k / I_n = (U_{гг} / U_{гг})^{\alpha_r} = (U_{ном} / U_{гг})^{\alpha_r} \quad (5)$$

полученного путем соответствующих подстановок и преобразований (2). Для разрядников РВМ имеем $I_k / I_n = 0.11$ или $I_k = 0.55$ кА. В системах грозозащиты ограничение токов молнии I_n до значений I_k осуществляется подходом определенной длины $l_{ог}$, обустроенным по всей длине защитой от прямых ударов молнии и трубчатыми разрядниками РТ. Ограничение подходами всего спектра возможных

амплитуд I_u до столь малых значений I_{cr} часто технически невозможно или экономически невыгодно. Обычно параметры подхода выбираются из расчета ограничения до значений I_u определенного расчетного тока молнии I_{cr} . Тогда при $I_u > I_{cr}$ система грозозащиты не обеспечит координацию, т.е. с частотой пропорциональной вероятности $P(I_u \geq I_{cr}) = e^{-\frac{I_u}{I_{cr}}}$ [3], на изоляцию ВМ могут воздействовать опасные ВГП. Очевидно, чем меньше эта вероятность, тем выше показатель грозоупорности (надежности) системы грозозащиты $\Pi_{гр}$, представляющий собой число лет безаварийной работы ВМ.

Таблица

Схема рис. 1	$\Pi_{гр} / \Pi_{гр}^*$ при испытательном напряжении		
	$U_{исп} = 1.5\sqrt{2}U_n$	$U_{исп} = 1.7\sqrt{2}U_n$	$U_{исп} = 1.9\sqrt{2}U_n$
а	5.5/5.5	10/10	20/20
б	6/7	16/16	37/38
в	9/10	15/очень выс.	43/очень выс.
г	7.2/15	34/44	150/150
д	5.5/3.2	24/140	117/550
$R_{зав} = 56 \text{ Ом}$	6/110	13/очень выс.	175/очень выс.
е			
$R_{зав} = 7.4 \text{ Ом}$	7/430	14/очень выс.	175/очень выс.

$\Pi_{гр}^*$ - при надежном срабатывании всех разрядников подхода

По виду связи генератора с ВЛ малым ГЭС соответствует вариант рис. 1а [4,5]. Именно по этому варианту (табл.) показатель грозоупорности имеет довольно невысокое значение. Поскольку при среднем сроке службы $\Pi_{ср}$ защищаемого оборудования надежность грозозащиты считается удовлетворительной, если имеет место $\Pi_{гр} > \Pi_{ср}$, то значения $\Pi_{гр} = 5..7 \text{ лет}$ при сроке службы генераторов $\Pi_{ср} = 20 \text{ лет}$, очевидно, совершенно не отвечают приведенным выше требованиям к грозозащите МГЭС.

Из (5) видно, что более высоких значений I_u , а следовательно, I_{cr} и $\Pi_{гр}$, можно достичь уменьшением U_n путем улучшения характеристик защитных аппаратов [6,7]. Последнее, согласно (2) и (3), возможно лишь при использовании РР с существенно малыми значениями α .

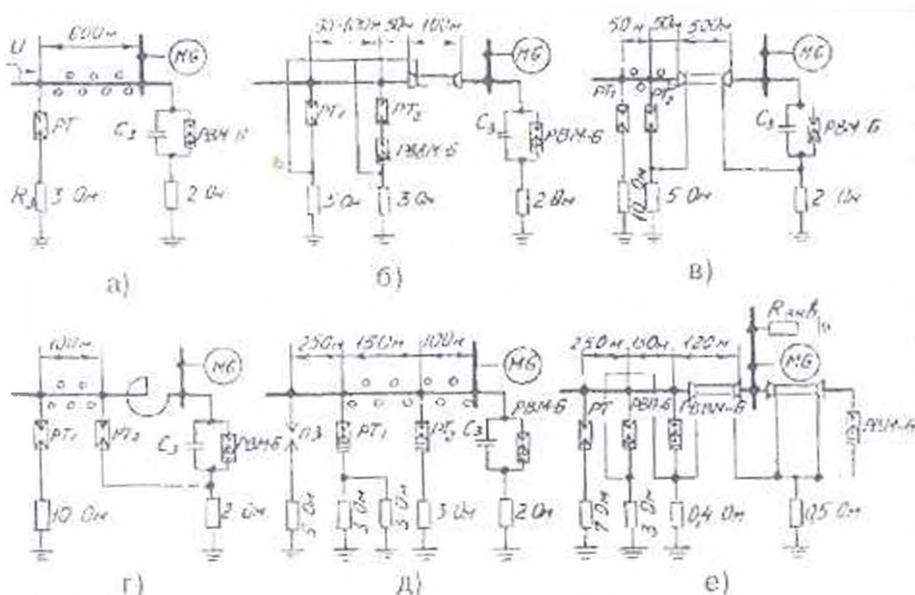


Рис. 1. Типичные схемы грозозащиты вращающихся машин (MG) 6 кВ

Решение вопросов грозозащиты ВМ именно в этом направлении стало возможным с появлением оксидноцинковых нелинейных резисторов (ОЦР) с коэффициентом нелинейности примерно на порядок меньшим, чем у карборундовых (вилитовых) резисторов. Высокая нелинейность РР из ОЦР ($\alpha = 0.04 \dots 0.07$) позволяет исключить из схем защитных аппаратов последовательные ИП, перейдя к выпуску безыскровых ограничителей перенапряжений (ОПН). Как видно из электрической схемы ОПН (рис.2а), РР этого аппарата в течение всего срока службы находится под непосредственным воздействием рабочего фазного напряжения. Стабильность в.а.х. ОЦР в этих условиях требует определенного ограничения проводимости, что обеспечивается выполнением условия

$$U_{доп} \leq U_{доп} \quad (6)$$

где $U_{доп}$ - допустимое на ОПН действующее значение напряжения промышленной частоты.

Для ОЦР типа МНР- 58 имеем

$$U_{доп} = \beta \cdot U_{1,200\text{А}} / \sqrt{2}, \quad (7)$$

где $\beta = 0.487$ - коэффициент пропорциональности при неограниченной длительности приложения к ОПН данного значения $U_{доп}$.

Для ОПН, работающих в сетях с изолированной нейтралью, из (6) и (7) имеем

$$U_{1,200\text{А}} \geq 1.1\sqrt{2}U_{доп} / \beta = 3.184U_{доп}. \quad (8)$$

Подставив (8) в (5), получим, что при использовании ОПН взамен РВМ в схемах рис.1а ток координации равен $I_k = 13\text{А}$, что

значительно хуже, чем при РВМ. Таким образом, несмотря на высокую нелинейность ОЦР, условие (6) заметно ухудшает защитное действие ОПН, делая этот аппарат и качестве защитного средства ВМ совершенно неэффективным.

Ограничивающее возможности ОЦР условие (6) в той или иной мере компенсируется рядом схемных решений, основанных на известном принципе шунтирования части РР искровыми промежутками (рис.2б). В АИВТ "Кайцак" разработана схема искрового ОПН (ОПНИ), полностью исключающая необходимость учета условия (6). Данное техническое решение (рис.2в) предусматривает включение РР в диагональ уравновешенного моста, плечи которого выполнены из высокоомных омических или емкостно-омических сопротивлений Z , причем два противоположных плеча шунтированы ИП. Срабатывание ИП происходит при напряжении на выводах ОПНИ, равном

$$U_{\text{пр}} \geq (1.3 \dots 1.4) U_{\text{н.р.}} \quad (9)$$

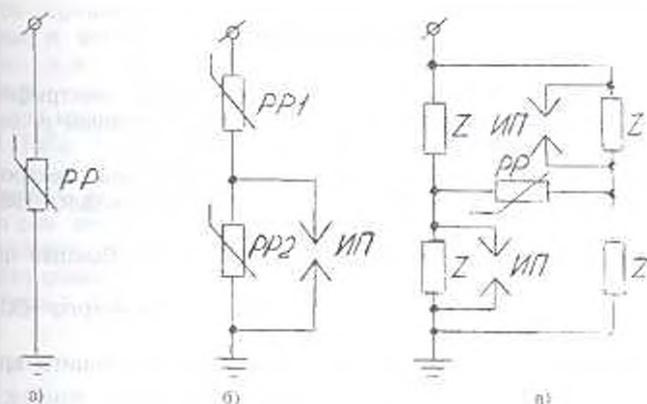


Рис. 2. Принципиальные схемы защитных аппаратов 6-10 кВ на базе оксидноцинковых высоколинейных резисторов (ОЦР)

Таким образом, в нормальных рабочих режимах и при квазистационарных перенапряжениях ИП отстроены от воздействующих напряжений, а РР в силу уравновешенности моста находится под нулевой разностью потенциалов. При перенапряжениях с амплитудами выше $\sqrt{2}U_{\text{н.р.}}$ ИП срабатывают и вводят РР в цепь высокого напряжения. После гашения в ИП дуги сопровождающего тока уравновешенность моста восстанавливается, а РР вновь переходит в исходное бестоковое состояние. При таком принципе работы высота колонки РР определяется не условием (6), а, как и в вентильных разрядниках, условием гашения дуги в ИП, что позволяет максимально использовать высокую нелинейность ОЦР. Например, приняв для ОПНИ в схеме грозозащиты по рис.1а $I_c = 5 \text{ кА}$, $U_{I_c = 5 \text{ кА}} = U_{\text{РМ}} = 1.5 \sqrt{2} U_{\text{ном}}$ и учитывая, что в оксидноцинковом резисторе типа МНР-58 ($\alpha_c = 0.068$, $A_{\text{н.р.}} = 1640$, из (2) найдем высоту колонки РР $H_{\text{ОПНИ}} = 1.5 \sqrt{2} U_{\text{ном}} / A_{\text{н.р.}} I_c'' = 4.56 U_{\text{ном}}$. Подставив это значение $H_{\text{ОПНИ}}$ в (3) и учитывая, что в диапазоне рабочих

напряжений МНР-58 имеет $\alpha_p = 0,03$, $A_{\text{пр}} = 2000$, находим $I_{\text{сн}} = 7A$. Таким образом, мостовая схема ОПНИ при высоком значении $I_{\text{сн}} = 5 \text{ кА}$ обеспечивает весьма малые значения амплитуд сопровождающего тока, что позволяет использовать простые по конструкции ИП с неподвижной дугой и резко сократить их общее количество. Расчет по приведенной в [3] методике показателя грозоупорности схемы грозозащиты (рис.1а) с ОПНИ вместо РВМ показывает, что $\Pi_{\text{н}} \approx 35 \text{ лет}$, т.е. с достаточным запасом обеспечивается условие $\Pi_{\text{н}} > \Pi_{\text{сн}}$.

Таким образом, мостовая схема ОПНИ на базе ОЦР позволяет резко повысить эффективность схем грозозащиты МГЭС, а при использовании в других схемах обеспечить как высокую надежность грозозащиты ВМ так и значительное упрощение параметров подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карапетян М.М. Схемы грозозащиты передвижных электрифицированных агрегатов 6-10 кВ // Переходные и установившиеся режимы в электрических системах Труды ЛПИ - М. Л. 1965 - С. 37-41.
2. Руководящие указания по защите от перенапряжений электротехнических установок переменного тока 3-220 кВ - М. Госэнергоиздат, 1953 - С. 62-66.
3. Костенко М.В. Техника высоких напряжений. - М. - Высшая школа, 1973 - С. 343-389.
4. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР, - М. Энергоатомиздат, 1985 - 640 с.
5. Половой И.Ф. и др. Оценка надежности схем грозозащиты вращающихся машин // Электричество - 1962 - №7 - С. 30-35.
6. Нормы испытания электрооборудования и аппаратов электроустановки потребителей. - М., Энергия, 1982. - 176 с.
7. Rotating Electrical Machines. Part 35. Impulse voltage withstand levels of rotating electrical machines with form-wound stator coils: International Standard IEC 34-15. First edition. - 1990-04 - 15p.

АИВТ "Кайнак"

22.01.1998

С.А. ШАХБАЗЯН, Э.Т. ФИРУНЦ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПОЛНЫЕ ТОКИ И ИХ СИММЕТРИЧНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Տրված են սրված Էլեկտրաշարժիչների առավելագույնի և ֆիլտրային առավելագույնների գառանորան ընտրագրերը միաֆազ և երկֆազ միջգաղաթային կարճ միացումների, ինչպես նաև ոչ լրիվֆազ աշխատանքային սեփականի ժամանակ Փոքրահարկով 1 որ ֆիլտրային առջնադասությունների թանկ գառանորանն ուղեկցվող 1 որ ֆիլտրային ժամանակի որակը և փորձարարություն:

Даются сравнительные характеристики чувствительности простых максимальных и фильтровых токовых защит ЭД при одно- и двухфазных межвитковых к.з., а также при неполнофазных режимах работы. Доказывается, что высокая чувствительность фильтровых защит сопровождается качественным сокращением времени срабатывания.

Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 10 назв.

Comparative sensitivity characteristics for simple peak filter current motor protections in one- and two-phase interturn short circuits as well as in nontotal phase operating conditions are given. It is proved that high filter protection sensitivity is accompanied by quality reduction operation time.

Ил. 3. Table 1. Ref. 10.

Положение релейной защиты электродвигателей (ЭД) в настоящее время совершенно неудовлетворительно. Ущерб, обусловленный выходом из строя ЭД, весьма огромен [1] и определяется не только стоимостью восстановления самих ЭД, но и простоем оборудования, нарушением технологических циклов и пр.

Основным недостатком существующих максимальных токовых защит (МТЗ), использующих полные токи, является низкая чувствительность, не позволяющая им реагировать на такие опасные режимы работы ЭД, как межвитковые замыкания, технологические перегрузки, обрывы фаз, длительная работа при пониженном напряжении и т.д. Так, МТЗ мгновенного действия (отсечки), отстроенные от пусковых токов, являются малоэффективными с точки зрения выявления и своевременного отключения внутренних повреждений ЭД. Защиты же, действующие с выдержкой времени 15...20 с с уставкой (1,2...1,4)I_н в качестве защиты от перегрузки не позволяют использовать перегрузочную способность ЭД, а в качестве защиты от внутренних коротких замыканий (к.з.) действуют недопустимо медленно.

Известно [2-4], что значительно лучшими показателями по чувствительности обладают фильтровые токовые защиты реагирующие не только на величину, но и на фазовые соотношения

подводимых электрических величин, и действующие при к.з., обрывах фазы, межвитковых замыканиях, повреждениях роторных стержней, опрокидываниях ЭД и т.д. Этим и объясняется тот факт, что в ряде электротехнически развитых стран (США, Швеция, Англия) применение фильтровых токовых защит наряду с простыми токовыми защитами обязательно [5].

Ввиду многообразия максимальных токовых фильтровых защит (МТФЗ) ЭД необходимо для сравнения выбрать конкретную схему защиты, имеющую одинаково стабильную по чувствительности к симметричным и несимметричным повреждениям характеристику. Как показали исследования [2], этим требованиям наиболее полно удовлетворяет схема с использованием сдвоенного фильтра токов прямой и обратной последовательностей. Примером защиты такого типа является разработанная в Ереванском политехническом институте в 1980 г. схема защиты [3], прошедшая лабораторные испытания в ЕрПИ и промышленные испытания на ТЭЦ завода "Азоталь" (г. Жданов) и на Разданском цементном заводе.

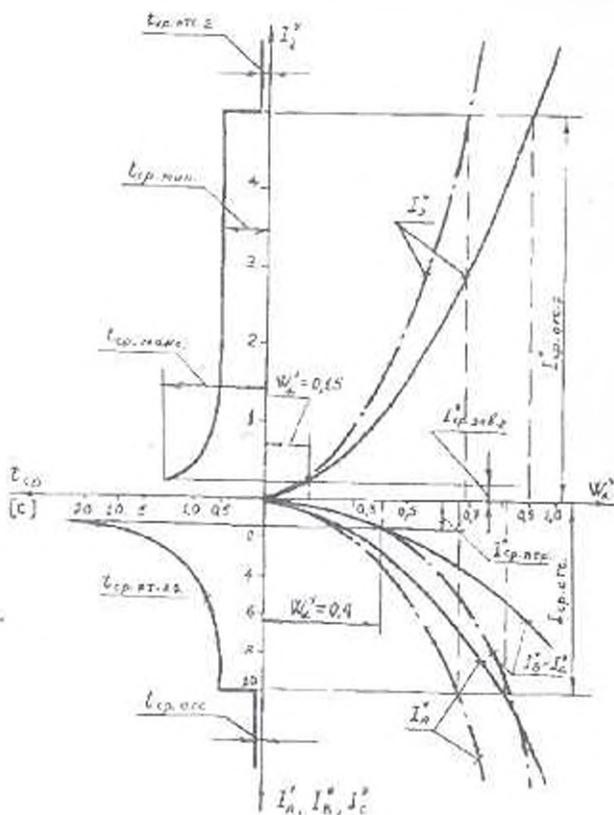


Рис. 1. Сравнительные характеристики чувствительности МТФЗ (сверху от оси абсцисс) и МТЗ (снизу от оси абсцисс) при однофазных межвитковых к.з. на холостом ходу электродвигателя

В существующей литературе сравнение МТФЗ и МТЗ дается лишь при внешних к.з., тогда как большой интерес представляет сравнение этих защит при внутренних повреждениях ЭД. Так, в [6] оценка чувствительности МТЗ производилась при допущении, что сопротивления оставшейся в работе части обмотки и закороченной части пропорциональны числу витков. Кроме того, не учитывалась взаимоиндуктивная связь между частями обмоток поврежденных фаз [7], что объясняется отсутствием инженерной методики расчета симметричных составляющих токов внутренних повреждений ЭД для целей защиты.

В настоящей работе для выявления количественных показателей эффективности работы защит, использующих полные

токи, и фильтровых токовых защит по разработанной в [8] методике были подсчитаны токи внутренних повреждений на серии ЭД типа ДАЗО при одно- и двухфазных межвитковых к.з. в зависимости от количества замкнувшихся витков для двух граничных режимов: холостого хода и заторможенного ЭД. Полученные таким образом зависимости токов были затем сопоставлены с время-токовыми характеристиками соответствующих защит. Графо-аналитическим путем найдено минимальное количество замкнувшихся витков, при которых каждая защита действовала при заданном повреждении.

Для примера приведены сравнительные характеристики чувствительности МТФЗ и МТЗ при одно- и двухфазных межвитковых к.з. на холостом ходу работы ЭД (рис.1, 2).

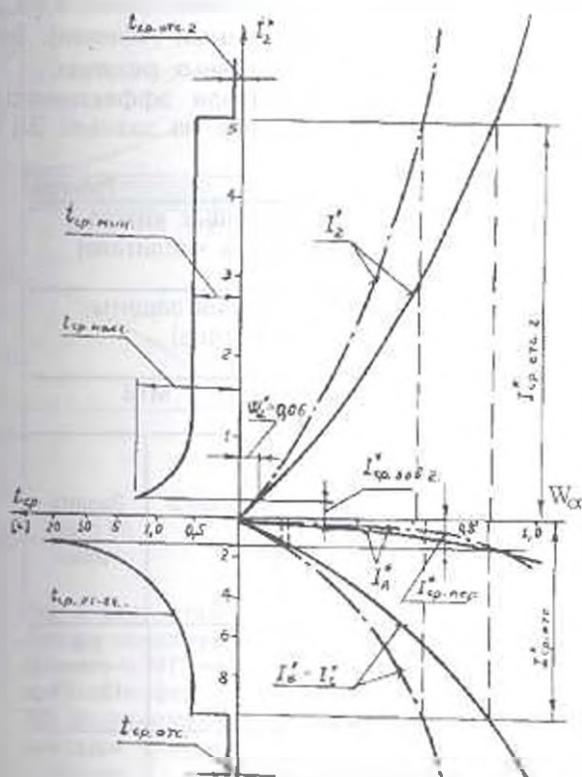


Рис 2. Сравнительные характеристики чувствительности МТФЗ (сверху от оси абсцисс) и МТЗ (снизу от оси абсцисс) при двухфазных межвитковых к.з. на холостом ходу электродвигателя.

на отсечки" и "чувствительного органа обратной последовательности" [3] МТФЗ (сверху от оси абсцисс) и МТЗ, выполненной по двухфазной двухрелейной схеме, и защиты от перегрузки, выполненной одним реле, включенным на ток одной фазы (снизу от оси абсцисс).

Токи срабатывания защит приняты: отсечки МТФЗ по току обратной последовательности с целью отстройки от токов двухфазных к.з. на смежных ЭД $I_{отс.об.2} = K_{отс} I_{отс.1} / 2$, где

Здесь I_2 - ток обратной последовательности в относительных единицах от номинального при одно- и двухфазных межвитковых к.з.: I_A, I_B .

I_1 - полные фазные токи в этих же единицах при названных повреждениях с учетом того, что при однофазных межвитковых к.з. повреждена фаза А, а при двухфазных - фазы В и С; $W_{α} = W'_{α} / W$ - относительное количество поврежденных витков фазы ЭД в долях от полного количества витков.

Слева от оси ординат отложены время-токовые характеристики "орга-

$K_{зап} = (1.5 \dots 2)$ - коэффициент запаса; $I_{пуск}$ - пусковой ток ЭД при кратности $K_n = 5$; "органа отсечки" МТЗ - $I_{отсечки} = K_{зап} I_{пуск}$; защиты от перегрузки МТЗ с реле РТ-80 - $I_{р(пер)} = 1.4 I_{ном}$; "чувствительного органа обратной последовательности" МТФЗ - $I_{сп(обрат)} = K_{зап} \varepsilon I_{ном} = 2 \cdot 0.1 I_{ном} = 0.2 I_{ном}$, где $\varepsilon = (0.05 \dots 0.1)$ - коэффициент естественной асимметрии по току в сети в нормальном режиме работы ЭД.

Для создания более полной картины работы защиты в зависимости от условий подключения ЭД к сети были произведены расчеты токов внутренних к.з. ЭД и графо-аналитические исследования чувствительностей сравниваемых защит для случаев, когда в момент пуска ЭД напряжение на его зажимах равно $0.7U_{ном}$ (сплошными линиями) и $0.95U_{ном}$ (штрихпунктирными линиями). Это позволило охватить токи и при других промежуточных режимах.

Ниже приведены количественные показатели эффективности сравниваемых защит для случая, когда напряжение на зажимах ЭД в момент пуска равно $0.95U_{ном}$ (табл.).

Таблица

Вид повреждения и режим работы ЭД		Процент защищенных витков электродвигателя (в числителе)			
		Время срабатывания защиты (в знаменателе)			
		МТФЗ		МТЗ	
		Орган отсечки	Чувстви- тельный орган обратной последо- ватель- ности	Отсечка	Защита от пере- грузки
Однофазные межвитковые к.з.	Режим холостого хода	$\frac{31}{0}$	$\frac{88}{0.5 \dots 2.5}$	$\frac{33}{0}$	$\frac{64}{15 \dots 20}$
	Пусковой режим	$\frac{30}{0}$	$\frac{87}{0.5 \dots 2.5}$	$\frac{40}{0}$	$\frac{64}{15 \dots 20}$
Двухфазные межвитковые к.з.	Режим холостого хода	$\frac{40}{0}$	$\frac{95}{0.5 \dots 2.5}$	$\frac{30}{0}$	$\frac{85}{15 \dots 20}$
	Пусковой режим	$\frac{36}{0}$	$\frac{95}{0.5 \dots 2.5}$	$\frac{45}{0}$	$\frac{85}{15 \dots 20}$

МТФЗ обладает также значительными преимуществами по сравнению с МТЗ и при неполнофазных режимах работы ЭД [9]. Как видно из зависимостей тока обратной последовательности и полного тока здоровых фаз (рис.3), при обрыве фазы от

относительной мощности на валу ЭД $P' = P/P_{ном}$, P - мощность на валу ЭД; $P_{ном}$ - его номинальная мощность.

Сравнение характеристик показывает, что МТФЗ отключает ЭД при обрыве фазы вне зависимости от величины отдаваемой им мощности, в то время как защита от перегрузки МТЗ реагирует лишь при нагрузке ЭД, превышающей 66% от номинальной мощности.

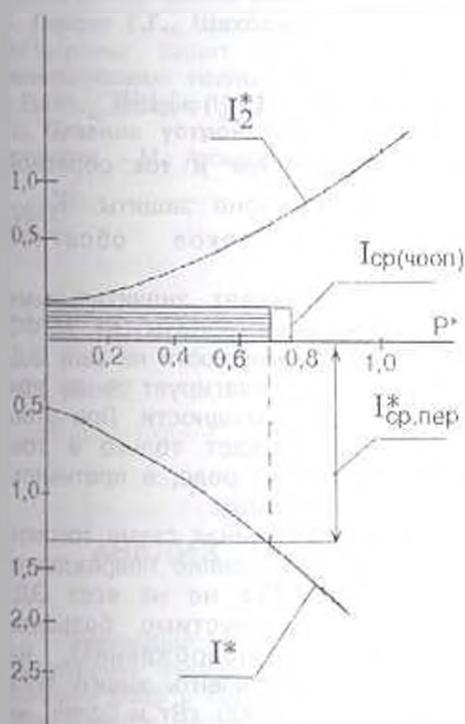


Рис. 3. Сравнительные характеристики функционирования МТФЗ (сверху от оси абсцисс) и МТЗ (снизу от оси абсцисс) при неполнофазных режимах работы ЭД. Штрихованная зона - зона выигрыша чувствительности МТФЗ

Следует отметить, что при эксплуатации ЭД могут иметь место случаи, когда из-за неудовлетворительного состояния контактов, больших переходных сопротивлений мест соединения и т.д. возникает дуга не между отдельными фазами электроустановки, а вдоль какой-либо одной фазы. При этом ток в дуге не является величиной к.з., а определяется величиной нагрузки и не превышает тока нормального режима. Опасность этих замыканий состоит, прежде всего, в большой вероятности возникновения пожаров в месте горения дуги. Поэтому эти режимы подлежат немедленному отключению. В отличие от МТЗ МТФЗ на такие режимы реагирует, т.к. при этом нарушается симметрия линейных токов сети за счет повышения сопротивления дугового столба.

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы:

1. При однофазных межвитковых к.з. порог реагирования "чувствительного органа обратной последовательности" МТФЗ составляет 12...13% и более поврежденных витков. При наличии защиты от перегрузки [10] чувствительность МТЗ составляет 35...36%, если повреждение произошло на фазах без трансформаторов тока, и 20% на фазе с трансформатором тока. Чувствительность "органа отсечки" МТФЗ составляет 69...70% поврежденных витков. Чувствительность же отсечки МТЗ, если повреждение произошло на фазах с трансформаторами тока, составляет 60...67%, а на фазе без трансформатора тока - 85...90%.

2. При двухфазных межвитковых к.з. чувствительность фильтровых защит, составляющая 5% замкнувших витков, в 3 раза

выше, чем чувствительность МТЗ (15%). Благодаря этому МТФЗ защитит 95% витков, а МТЗ - 85%. Но главное преимущество МТФЗ заключается в том, что она действует с выдержкой времени 0,5...2,5 с, а МТЗ - 15...20 с.

Токовая отсечка МТФЗ в мощных промышленных сетях при к.з. на питающем кабеле и выводах ЭД на 15% чувствительнее к двухфазным к.з., чем отсечка МТЗ. Действительно, если коэффициенты чувствительности защит МТФЗ и МТЗ обозначить через $K_{\text{нр}}$ и $K_{\text{нз}}$ при двухфазных к.з. будем иметь

$$K_{\text{нз}} = I_{\text{к}} / (K_{\text{нз}} I_{\text{нзк}}),$$

$$K_{\text{нр}} = K_1 I_{\text{к}} / (K_{\text{нз}} K_2 \cdot 0,5 I_{\text{нзк}}) = \frac{2I_{\text{к}}}{\sqrt{3}} / (K_{\text{нз}} I_{\text{нзк}}) = 1,15 K_{\text{нз}}.$$

Здесь $I_{\text{к}}$ и $I_{\text{нз}}$ - собственно полный ток и ток обратной последовательности при двухфазном к.з. в зоне защиты; K_1 - комплексный коэффициент фильтра токов обратной последовательности.

3. По сравнению с МТЗ, МТФЗ обладает значительными преимуществами и при неполнофазных режимах работы ЭД. МТФЗ реагирует на эти режимы вне зависимости от мощности на валу ЭД, в то время как защита от перегрузки МТЗ реагирует лишь при нагрузке ЭД, превышающей 66% номинальной мощности. При этом срабатывание защиты от перегрузки произойдет только в том случае, если оборванной фазе не подклучено реле, в противном случае она вообще нечувствительна к этим режимам.

4. Учитывая, что даже двухфазная двухрелейная схема токовой отсечки МТЗ практически не реагирует на внутренние повреждения ЭД, а защита от перегрузки (устанавливаемая не на всех ЭД) обладает малой чувствительностью и недопустимо большим временем срабатывания при внутренних повреждениях, на двигателях мощностью до 5000 кВт следует установить защиту типа МТФЗ взамен МТЗ. На двигателях мощностью 5000 кВт и более, на которых согласно ПУЭ устанавливается дифференциальная защита, установка МТФЗ также обязательна в качестве защиты от однофазных межвитковых замыканий и обрывов фаз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Решения Всесоюзного научно-технического совещания по защите электродвигателей переменного тока / Московское правление НТО энергетической промышленности. - М., 1975. - 3 с.
2. Гимоян Г.Г. Фильтровые токовые защиты асинхронных электродвигателей // Электричество - 1972 - № 5. - С. 11-15.
3. А.с. 729729 СССР МКП² Н02Н7/08. Устройство для защиты трехфазного электродвигателя от внешних, внутренних коротких замыканий и аномальных режимов / Г.Г. Гимоян, Ш.А. Ароян, С.А. Шахбазян, К.А. Мирзоян (СССР) - № 2158760/24-07. Заявлено 05.06.75; Опубл. 25.04.80, Бюл. № 15. - 4 с.
4. Шахбазян С.А. Фильтровые токовые защиты электродвигателей по сравнению с защитами, использующими полные токи // Электрические станции. - 1982. - № 11. - С. 61-62.

5. Elmore W. A. Motor protection in book appliend protective relaying charten 7 // Westinghouse Electric Carparation Relay Instrument Division.- 1976. - P. 7-15.
6. Клацель М.Я., Поляков В.И. О чувствительности токовых защит электродвигателей // Электрические станции - 1978 - №1 - С. 66-68.
7. Илатов П.М., Домбровский В.В., Цирлин Ю.Л. Витковые замыкания в петлевых обмотках асинхронных машин // Вестник электропромышленности - 1962. - №7. - С. 36-43.
8. Pytel J. Methode zur Berechnung der Strome bei inneren Kurzschlüssen in Ansynchronmotoren // Wissenschaftliche Zeitschrift der Elektrotechnik. - 1966. - T.7, №2. - S. 80-104.
9. Гимоян Г.Г., Шахбазян С.А., Азатян А.С. Эффективность применения фильтровых защит электродвигателей по сравнению с защитами, использующими полные токи // Межвуз.темат.сб.науч.тр. Сер. Энергетики, ЕрПИ - Ереван, 1976. - Вып.1- С. 12-21.
10. Правила устройства электроустановок. Раздел V. Электросиловые установки. - М.: Атомиздат, 1977. - С. 475-480.

ГИУА

19.04.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1.11, № 2, 1999, с. 199-204.

УДК 681.32

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

В.Г. ЯГДЖЯН

АНАЛИЗ ЛИНЕЙНОЙ СХЕМЫ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СОСТОЯНИЙ

Պնասիրվում է հետազոտել կոստի ձևափոխիչով սեփականության ճիշտային տեղադրության պարբերության որոշման խնդիրը՝ կախված պահած տեղից փյաակի, հետազոտել կոստի և հետազոտել կոստի ձևափոխիչի բազմանդամներին: Երկու մասնավոր դեպքերի համար (օգտիաակն սեփականության ձևափոխիչով և առանց ձևափոխիչի) որոշվում են ներքին փյաակի բազմանդամները՝ տրված պարբերությամբ: Ընդ որում, առանց ձևափոխիչի օգտիաակն սեփականության համար խնդիրը կանխելուս: Ը ճիշտային հաշվարկային արտադրանքների խնդիրը հետ:

Рассматривается задача определения периода циклического сдвига для регистров в зависимости от заданных многочленов внутреннего состояния, обратной связи и модификатора обратной связи. Для двух частных случаев (кольцевого регистра с модификатором и без него) определяются многочлены внутреннего состояния, имеющих заданный период. При этом для кольцевого регистра без модификатора задача совпадает с известной задачей шмллических последовательностей.

Ил. 1. Библиогр.: 1 назв

The problem of cyclic shift period determination for registers having a feedback modifier, depending on given polynomials of inner state, feedback and feedback modifier is considered. The polynomials of inner state, having the given period, are determined for two particular cases (ring register with and without a modifier). For a modifierless ring register the problem is identical to a well known task of cyclic sequences.

1/1. Ref 1.

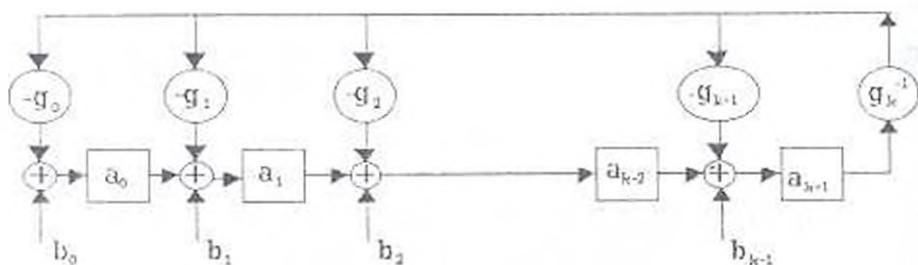
Описывается методика анализа состояний регистра сдвига [1], в целях обратной связи которого может быть применен модификатор (например, инвертор). Приведена структурная схема регистра (рис.), где $g(x) = g_0 + g_1x + \dots + g_kx^k$ - полином обратной связи степени k ; $a(x) = a_0 + a_1x + \dots + a_{k-1}x^{k-1}$ - полином внутреннего состояния регистра степени $k-1$; $b(x) = b_0 + b_1x + \dots + b_{k-1}x^{k-1}$ - полином модификатора обратной связи степени $k-1$. Коэффициенты полиномов взяты из простого поля $GF(p)$.

Периодом m многочлена $a(x)$ называется то количество тактов сдвига регистра, при котором снова устанавливается первоначальное внутреннее состояние, т.е.

$$a(x)x^m + b(x)(x^{m-1} + x^{m-2} + \dots + x + 1) \equiv a(x) \pmod{g(x)}, \text{ откуда}$$

$$(x^m - 1)(a(x)(x-1) + b(x)) \equiv 0 \pmod{g(x)(x-1)}. \quad (1)$$

Очевидно, m есть минимальное значение, при котором выполняется (1).



Рис

Обозначим наибольший общий делитель многочленов $g(x)(x-1)$ и $a(x)(x-1)+b(x)$ через $d(x)$. Тогда $g(x)(x-1) = d(x)f(x)$ и $a(x)(x-1)+b(x) = d(x)c(x)$. Подставляя эти значения в (1) и учитывая, что $(c(x), f(x)) = 1$ (в дальнейшем (r, l) означает наибольший общий делитель r и l), получим

$$(x^m - 1) \equiv 0 \pmod{f(x)}. \quad (2)$$

Разложим $f(x)$ на неприводимые множители $f(x) = f_1^{\alpha_1}(x) \times \dots \times f_n^{\alpha_n}(x)$, где α_i - кратность вхождения $f_i(x)$ в разложении $f(x)$.

Пусть $r = \max\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ и p - такое наименьшее число, при котором выполняется $r \leq p^n$. Тогда справедливо следующее утверждение [1].

$$m = p^n |e_1, e_2, \dots, e_n|, \quad (3)$$

где e_i - показатель $f_i(x)$ и $|e_1, e_2, \dots, e_n|$ - наименьшее общее кратное e_1, e_2, \dots, e_n .

Рассмотрим два частных случая:

$b(x)=0$ и $g(x)=x^k-1$ (известный кольцевой счетчик);

$b(x)=d \neq 0$ и $g(x)=x^k-1$ (при $p=2$ - известный счетчик Джонсона).

Случай 1. Внутреннее состояние кольцевого счетчика описывается многочленом $a(x)$ степени меньше k , обратная связь - $g(x)=x^k-1$, модификатор - $b(x)=0$. Тогда из (1) следует $a(x)(x^m-1) \equiv 0 \pmod{x^k-1}$, откуда имеем $x^m-1 \equiv 0 \pmod{(x^k-1)/(a(x), x^k-1)}$. Так как множество корней $(x^k-1)/(a(x), x^k-1)$ есть подмножество корней x^k-1 , то m равен одному из делителей k . Задача состоит в определении $a(x)$ и их количества, для которых период равен c - одному из делителей k .

Из определения периода следует

$$a(x)(x^c-1) \equiv 0 \pmod{x^k-1} \quad (4)$$

Очевидно, что решая это сравнение относительно $a(x)$, мы найдем множество многочленов не только с периодом c , но и с периодами, равными собственным делителям c , которые обозначим $\{c_i\}$. Исходя из сказанного, для нахождения $a(x)$, имеющих период c , из множества $a(x)$, удовлетворяющих (4), необходимо исключить $a(x)$, удовлетворяющие следующим сравнениям:

$$a(x)(x^{c_i}-1) \equiv 0 \pmod{x^k-1} \quad (5)$$

для всех делителей из $\{c_i\}$.

Сокращая (4) и (5) на (x^c-1) и $(x^{c_i}-1)$ соответственно, получим систему

$$a(x) \equiv 0 \pmod{(x^k-1)/(x^c-1)}, \quad (6)$$

$$a(x) \equiv 0 \pmod{(x^k-1)/(x^{c_i}-1)} \quad (7)$$

для всех делителей из $\{c_i\}$. Откуда следует

$$a(x) = r_c(x)(x^{k-c} + x^{k-2c} + \dots + x^c + x^0),$$

исключая

$$a(x) = r_{c_i}(x)(x^{k-c_i} + x^{k-2c_i} + \dots + x^{c_i} + x^0)$$

для всех делителей из $\{c_i\}$, где $r_c(x)$ - любой многочлен степени меньше c ; $r_{c_i}(x)$ - любой многочлен степени меньше c_i . Количество многочленов периода c обозначим через Q_c . Так как количество многочленов степени меньше c равно p^c , то

$$Q_c = p^c - \sum Q_{c_i}, \quad (8)$$

где $Q_1 = p$, а $a(x)$ состоят из k/c повторяющихся $r_c(x)$, коэффициенты которого, в свою очередь, не состоят из c/c повторяющихся коэффициентов $r_{c_i}(x)$.

Циклом назовем множество внутренних состояний регистра (многочленов $a(x)$), полученных в течение одного периода сдвига. Количество различных циклов периода c будет равно

$$(p^c - \sum Q_{c_i})/c. \quad (9)$$

В дополнение отметим, что коэффициенты $a(x)$ в случае кольцевого счетчика можно выбирать из любого подмножества

элементов $GF(p)$, так как при сдвиге не производятся операции над элементами $GF(p)$. Если мы выбрали подмножество из a элементов, то (8) и (9) преобразуются в вид

$$Q_c = a - \sum Q_{c_i}, \quad (10)$$

где $Q_c = a$, а количество различных циклов периода c составляет

$$(a^c - \sum Q_{c_i})/c. \quad (11)$$

Случай 2. Внутреннее состояние кольцевого счетчика описывается многочленом $a(x)$ степени меньше k , обратная связь $g(x) = x^l - 1$, модификатор $b(x) = d \in GF(p)$. Тогда из (1) следует

$$(x^{qb} - 1)(a(x)(x-1) + d) \equiv 0 \pmod{(x^l - 1)(x-1)}. \quad (12)$$

Представим $k = qc$, где $(c, p) = 1$ и $q = p^r$. В разложении многочлена

$$f(x) = (x^l - 1)^q (x-1) / ((x^l - 1)^q (x-1) + d)$$

$x-1$ имеет наибольшую кратность вхождения, равную $q+1$, остальные неприводимые многочлены, входящие в $f(x)$, имеют кратность q или меньше (так как $a(x)(x-1) + d$ не содержит $x-1$),

а показатели корней $x^l - 1$ есть делители c . Исходя из вышесказанного и (3), имеем $m = p^r q b$, где b - один из делителей c . Задача состоит в определении $a(x)$ и их количества, для которых период равен $m = p^r q b$. Подставляя значения k, m в (12), получим

$$(x^{qb} - 1)^q (a(x)(x-1) + d) \equiv 0 \pmod{(x^{qb} - 1)(x-1)}. \quad (13)$$

Очевидно, что решая это сравнение относительно $a(x)$, мы найдем множество многочленов не только с периодом $p^r q b$, но и с периодами, равными $m = p^r q b_i$ (где b_i - собственные делители b), которое обозначим через $\{b_i\}$. Исходя из сказанного, для нахождения $a(x)$, имеющих период $p^r q b$, из множества $a(x)$, удовлетворяющих (13), необходимо исключить те $a(x)$, которые удовлетворяют сравнениям

$$(x^{q_i b} - 1)^q (a(x)(x-1) + d) \equiv 0 \pmod{(x^{q_i b} - 1)(x-1)} \quad (14)$$

для всех делителей из $\{b_i\}$.

Так как сравнения (13) и (14) имеют один и тот же вид, то найдем решение только для (13) и воспользуемся им для решения остальных (14).

Сокращая обе части (13) на $(x^{qb} - 1)(x-1)$, получим

$$(x^{qb} - 1)^{q-1} (a(x)(x-1) + d) / (x-1) \equiv 0 \pmod{(x^{qb} - 1) / (x^{qb} - 1)}. \quad (15)$$

Так как $((x^{qb} - 1)^{q-1} / (x^{qb} - 1)) = 1$, то из (15) следует

$$a(x)(x-1) + d \equiv 0 \pmod{(x^{qb} - 1) / (x^{qb} - 1)}, \quad (16)$$

откуда имеем

$$a(x)(x-1) + d = r(x)(x^{qb} - 1) / (x^{qb} - 1), \quad (17)$$

где $r(x)$ - любой многочлен степени не больше qb , удовлетворяющий условию

$$r(x)(x^{qb} - 1) / (x^{qb} - 1) - d \equiv 0 \pmod{x-1}. \quad (18)$$

Примем $g(x) = f(x)(x-1) + \ell$, где степень $\ell(x)$ меньше qb . Подставив в (18) значение $g(x)$, имеем $\ell c \equiv db \pmod{p}$. Наконец, подставив значение $g(x)$ в (17) и разделив обе его части на $x-1$, получим

$$a(x) = l(x)(x^{q(c-b)} + x^{q(c-2b)} + \dots + x^{qb} + x^0) + db((x^{q(c-b)} + x^{q(c-2b)} + \dots + x^{qb} + x^0) - 1) / c(x-1).$$

откуда

$$a(x) = l(x)(x^{q(c-b)} + x^{q(c-2b)} + \dots + x^{qb} + x^0) + db/c(x^{qb-1} + x^{qb-2} + \dots + x^0)(x^{q(c-2b)} + 2x^{q(c-3b)} + \dots + c/hx^0).$$

откуда

$$a(x) = l(x)x^{q(c-b)} + l_1(x)x^{q(c-2b)} + l_2(x)x^{q(c-3b)} + \dots + l_{c/b-1}(x)x^0, \quad (19)$$

где $l_j(x) = l'(x) + idb/c(x^{q(b-1)} + x^{q(b-2)} + \dots + x^0)$, или, что то же самое, j -й модифицированный коэффициент многочлена $l(x)$ удовлетворяет условию $l_j \equiv l'_j + idb/c \pmod{p}$, где l'_j - j -й коэффициент многочлена $l(x)$. Так как степень многочлена $l(x)$ меньше qb , то коэффициенты многочлена $a(x)$ фактически состоят из последовательно следующих друг за другом коэффициентов $l(x)$, $l_1(x)$, $l_2(x)$, ..., $l_{c/b-1}(x)$. Как было отмечено выше, из множества найденных $a(x)$ необходимо исключить те $a(x)$, которые одновременно удовлетворяют сравнениям (14).

Таким образом, множество $a(x)$ с периодами qrb имеет вид

$$a(x) = \ell(x)x^{q(c-b)} + \ell_1(x)x^{q(c-2b)} + \ell_2(x)x^{q(c-3b)} + \dots + \ell_{c/b-1}(x)x^0,$$

где $l(x)$ - любой многочлен степени меньше qb , который, в свою очередь имеет вид

$$l(x) \neq k(x)x^{q(b-b)} + k_1(x)x^{q(b-2b)} + k_2(x)x^{q(b-3b)} + \dots + k_{b/b-1}(x)x^0$$

для всех делителей из $\{b_i\}$, где $k(x)$ - любой многочлен степени меньше pb , а $k_i(x) = k(x) + idb_i/c(x^{q(b-1)} + x^{q(b-2)} + \dots + x^0)$.

Обозначим через Q_b количество многочленов $a(x)$, имеющих период $m=qrb$. Тогда

$$Q_b = p^{qb} - \sum Q_{b_i}, \quad (20)$$

где $Q_b = p$.

Таким образом, количество различных циклов периода $m=qrb$ будет равно

$$(p^{qb} - \sum Q_{b_i}) / qrb. \quad (21)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. - М.: Мир, 1976. - 494 с.

ГИУА

01.05.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1999, с. 204-208

УДК 621.311

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

Н.Н. ПЕТРОСЯН, С.Р. АБЕЛЯН

КОМБИНИРОВАННОЕ ЦИФРОВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО РЕЗОНАНСНОГО ИНВЕРТОРА

Գիտարկվում է և նախնայվում կարգադրումով փոխակերպիչների բնական կառավարման հաստատարի մշտական ձևը կապիչում ետքեր: Գիտարկվող կառավարման նախադրանքը թույլ էն տալիս այն սահմաններում կարգավորել փոխակերպիչ կրպին լարման աշխատանքային հաճախության փոփոխման համեմատաբար նեղ սահմաններում: MK51 տիպի մեկրոկոնտրոլլերի վրա սրվում է բնական կառավարման համակարգ և շերվում է վերջինիս ծրագրային ապահովումը:

Рассматриваются вопросы, связанные с разработкой новых СУ комбинированно-регулируемых преобразователей, которые позволяют регулировать выходное напряжение преобразователя в широком диапазоне при сравнительно узком диапазоне изменения тактовой рабочей частоты. Приведена цифровая СУ комбинированно-регулируемого резонансного преобразователя на микроконтроллере типа МК51.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

A new digital control system design is considered. It allows to regulate the output voltage of the converter in a wide range at a comparatively narrow range of changes in operational clock frequency. A digital control system of combined regulated resonance converter on the microcontroller MK51 is presented.

Ил. 2. Ref. 2.

Наиболее перспективным направлением развития современных транзисторных преобразователей является использование резонансных контуров в силовой части схемы [1].

Преимущества резонансных преобразователей дают возможность значительно повысить рабочую частоту преобразования, что, в свою очередь, позволяет получить высокие энергетические и массогабаритные показатели. Однако, как известно, эти преобразователи имеют один существенный недостаток [2] Это связано с тем, что в схеме реактивные элементы выбирают при наименьшей рабочей частоте, что значительно ухудшает удельные показатели резонансных преобразователей.

Существует ряд технических приемов для устранения вышеуказанного недостатка. Одним из них является осуществление и

схеме резонансного преобразователя комбинированного регулирования выходного напряжения с изменением частоты и фазы между тактовыми импульсами двухполумостовых схем, т.е. осуществляется фазо-частотное регулирование (рис.1). Однако при создании систем управления (СУ) таких преобразователей возникает ряд проблем, связанных с выбором схемы управления, а также ее элементов.

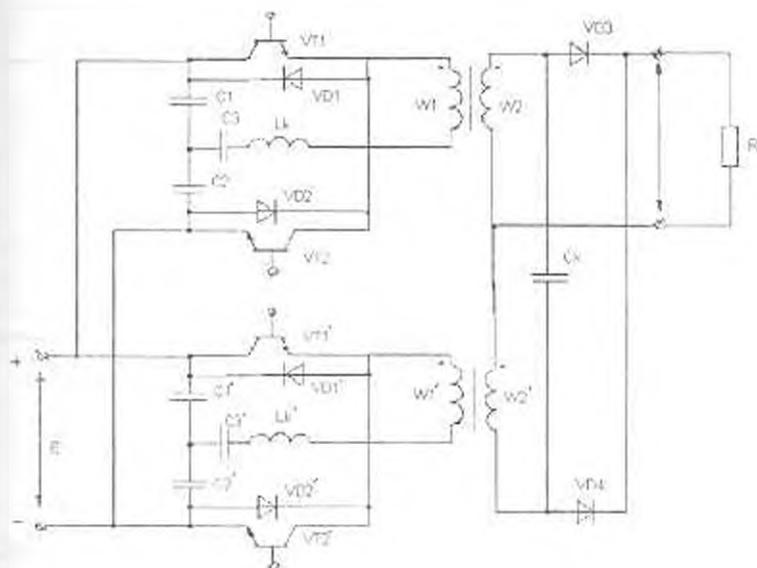


Рис. 1. Силовая схема преобразователя

Настоящая статья посвящена созданию цифровых СУ комбинированно-регулируемых преобразователей, которые позволяют регулировать выходное напряжение преобразователя в широком диапазоне при сравнительно узком диапазоне изменения тактовой рабочей частоты.

Рассмотрим принцип работы ЦСУ (рис.2а).

Напряжение нагрузки с помощью датчика напряжения подается на первый вход сравнивающего устройства СУ1 и СУ2, на вторые входы которых подаются пороговые напряжения $U_{н+}$ и $U_{н-}$. Если напряжение на нагрузке превышает пороговое напряжение $U_{н+}$ то на входе "-" счетчика СЧ3 получают импульсы, на выходе которого получается код числа этих импульсов. Если число импульсов превышает 15, то на вход "+" счетчика СЧ1 поступает импульс, увеличивающий код на входе счетчика СЧ2, на выходе которого формируются импульсы с частотой, равной частоту от деления частоты задающего генератора на данный код. С помощью делителя частоты импульсы с нужной частотой подаются на вход распределителя Р2. С помощью выходных каскадов ВК3 и ВК4 сигналы управления усиливаются и подаются на силовые транзисторы одной полумостовой схемы. Одновременно с выхода СЧ2 импульсы, частота которых определяется выходным кодом СЧ1, подаются на вход счетчика СЧ4 через схему совпадения И3 и на вторые входы схемы совпадения И1 и И2 через делители частоты ДЧ1, ДЧ2.

Сигнал разрешения счетчика СЧ4 образуется на выходе ИЗ, когда на второй вход ИЗ подается соответствующий уровень с триггера Т, который запускается выходным сигналом логического элемента ИЛИ.

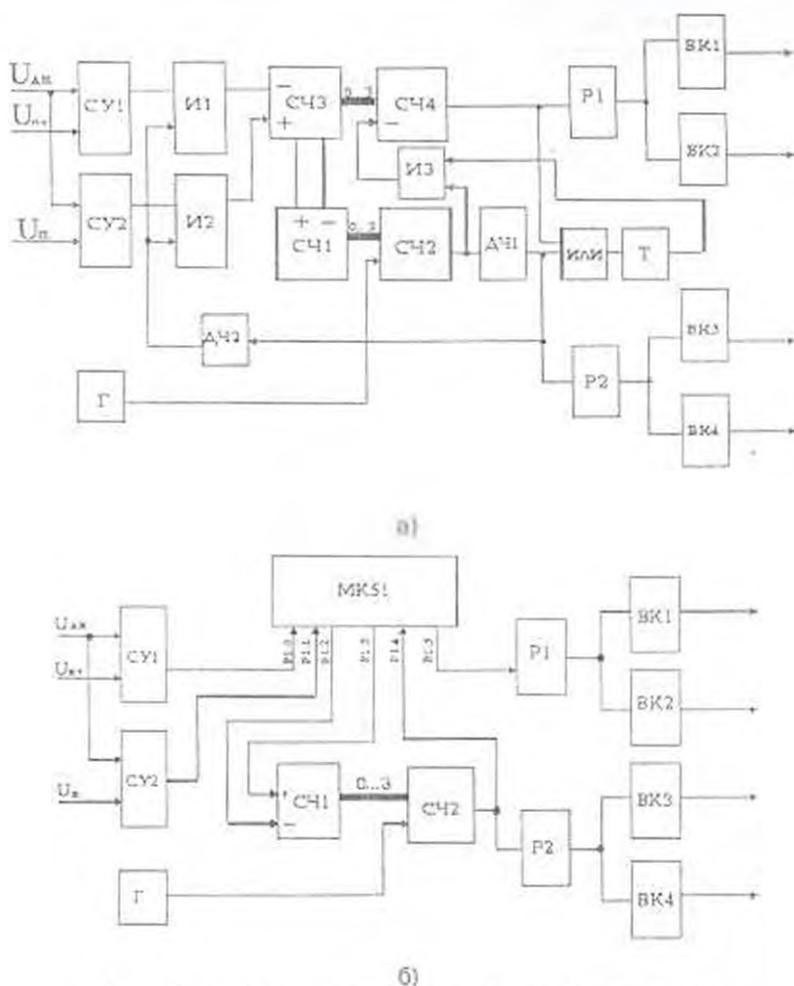


Рис. 2. Блок-схемы цифровых систем управления.

Отметим, что частота выходных импульсов ВК1, ВК2 и ВК3, ВК4 одинаковая, но между ними образуется фазовый сдвиг φ , величина которого регулируется входным кодом счетчика СЧ4.

Так как в данной схеме частота задающего генератора получается очень большой (более 30 МГц), счетчики не могут работать на такой частоте. Для этого используется микроконтроллер. Рассмотрим схему СУ с использованием микроконтроллера (рис.26).

Программное обеспечение микроконтроллера имеет следующий вид:

	.ORG 30H;	
	MOV R1,0;	
CONT:	MOV P1.0;	
WAIT:	JNB P1.4, WAIT;	
	JNB P1.0, CA;	переход, если P1.0=0, проверка первого
	INC R1;	сравнивающего устройства
	CJNE R1, #16, KA;	если R1≠16 ⇒ KA
	MOV R1, #2;	
	SETB P1.3;	
	CLR P1.3;	
	SJMP KA;	
CA:	JNB P1.1, KA;	переход, если P1.0=0, проверка второго
	DEC R1;	сравнивающего устройства
	CJNE R1, #1, KA;	если R1≠16 ⇒ KA
	MOV R1, #16;	
	SETB P1.2;	
	CLR P1.2;	
KA	ACALL SC;	
	SJMP CONT;	
SC:	MOV A, R1;	вычитающий счетчик
LOOP	DJNZ A, LOOP;	
	SETB P1.5;	
	RET	

Сначала порт P1 обнуляется. Микроконтроллер ждет пока бит P1.4=1, затем проверяет сравнивающие устройства CY1 и CY2. Например, если на выходе CY1 уровень "1" (P1.0=1), то к поддерживаемому регистру прибавляется 1. Если содержимое регистра достигает 16, то автоматически регистр принимает значение 2, на входе "+" счетчика СЧ1 получается импульс, и частота на выходе СЧ2 уменьшается. После этого вызывается подпрограмма вычитающего счетчика. На входе распределителя P1 получается импульс, отстающий от импульса на входе распределителя P2 на угол φ.

Как видно, использование микроконтроллера дает возможность уменьшить промежуточные частоты тактовых импульсов, но при этом обеспечивается на выходе нужную тактовую рабочую частоту. Данная схема имеет преимущества над первой, т.к. здесь с помощью изменения программы микроконтроллера можно изменять частоту тактовых импульсов в широком диапазоне, не меняя структуру СУ. Отметим также, что потребляемая мощность данной СУ намного меньше, чем в первой схеме, т.е. энергетические показатели намного выше.

Практические схемы приведенных СУ реализованы на микросхемах серий К155ИЕ7, К155ЛА3, К155ИЕ8, К555ТВ6, К140УД7, К155ЛН1 и микроконтроллере типа МК51.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследование динамических свойств источника вторичного электропитания на базе резонансного инвертора // В.М. Мовсесян, Г.В. Барегамян, Н.Н. Петросян, Г.П. Саркисян // Элементы и тех. средства СУ: Междуз. сб. научн. тр. / ЕрПИ. - Ереван. -1989.-С. 53-60.
2. Лукин А.А., Древенак Р. Фазовое регулирование выходного напряжения резонансного транзисторного преобразователя // Преобразовательные устройства для автоматизированного электропривода и систем питания: Сб. научн. тр. / МЭИ. -1986. -№ 292.-С. 99-105

ГИУА

17.03.1998

Изв. ЦАИ и ГИУ Армении (сер. ТН), т. III, № 2, 1999, с. 208-213

УДК 658.5 62-229:006.065

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

В.А. МХИТАРЯН

ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

Մասնագրանի դինամիկական համակարգերի լուծման համար առաջարկված են տարրիվներ: Աշտուկված տարրիվները, որոնցում օգտագործված է պատահական որոնման մեթոդը, ենարավորություն են ընկերում կառուցել լավարկված հետազոծեր սյուխս դինամիկական համակարգի լուծումներ:

Предлагается метод моделирования динамической системы управления природными ресурсами, основанный на комплексном едином подходе, объединяющем экономические и экологические факторы. Рассматривается принцип оптимальности динамических моделей управления.

Библиогр.: 3 назв.

The method of modeling of the dynamic system of the control of natural resources based on a single complex approach combining economic and ecological factors is proposed. The concept of the optimality of dynamic control models is considered.

Ref. 3

Известно, что при разработке эколого-экономической модели управления лесными ресурсами необходимо одновременно учитывать как экономические, так и экологические факторы, иными словами, такие модели нужно создавать на базе *единого* подхода, основанного на рассмотрении экономики и окружающей природной среды как *единой экономической системы*.

Рассмотрим положения оптимального планирования и оценки природных ресурсов, обуславливающих возможность применения методов математического программирования и теории оптимального управления в проблеме разработки эколого-экономических математических моделей управления лесными ресурсами.

Как и в любой задаче оптимального управления и исследования операций [1,2], главные положения формулируются следующим образом.

1. Эколого-экономическая оценка лесных ресурсов на любом уровне моделирования (глобальном, региональном или локальном) осуществляется в процессе разработки программы управления для изучаемой системы.

2. Предполагается наличие математической модели или комплекса моделей рассматриваемой эколого-экономической системы лесных ресурсов.

3. Расчет траекторий, описывающих изменения эколого-экономических факторов системы лесных ресурсов, выполняется посредством решения оптимизационных задач теории оптимального управления. Речь идет о задачах, к которым сводятся модели управления лесными ресурсами.

4. Задачи решаются на базе программ, реализующих эффективные алгоритмы решения соответствующих задач оптимального управления. В основном, это задачи оптимального управления с фазовыми и смешанными ограничениями, а также задачи теории дифференциальных игр.

5. Результаты решения формализованных задач, к которым сводятся модели эколого-экономических систем, в дальнейшем переводятся на язык экологических, экономических наук и науки о лесных ландшафтах.

6. Адекватность разрабатываемых моделей обуславливает степень доверия к полученным результатам численных расчетов.

1. Задача управления лесными ресурсами. Введем обозначения. Пусть $t \geq 0$ - время и $x_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - площадь леса, занятая i -й породой k -й возрастной группы в момент времени t ; $x_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - объем древесины i -й породы k -й возрастной группы, произрастающей на единице площади в момент времени t ; $\varphi_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - часть площади леса i -й породы k -й возрастной группы, восстанавливаемой искусственно в момент времени t ; $\psi_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - часть площади леса i -й породы k -й возрастной группы, подвергшейся рубке в соответствии с планом в момент времени t ; $\eta_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - часть площади леса i -й породы k -й возрастной группы, подвергшейся рубке стихийно в момент времени t ; $\chi_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - часть площади леса i -й породы k -й возрастной группы, которая вымирает в связи с различными факторами (возраст, загрязнение воздуха, отсутствие орошения, пожары) в момент времени t ; $\xi_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - часть площади леса i -й породы k -й возрастной группы, которая восстанавливается естественно в момент времени t ; $\zeta_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - часть площади леса i -й породы k -й возрастной группы, переходящая под j -ю породу в

момент времени t : $\omega_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - объем воды, выделяемой для орошения площади леса, занятой i -й породой в момент времени t ; $p(t)$ - степень загрязненности воздуха в момент t .

Таким образом, матрицами управляющих переменных служат следующие матрицы-функции:

$$\varphi(t) = (\varphi_i^k(t))_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}, \quad \psi(t) = (\psi_i^k(t))_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}},$$

$$\eta(t) = (\eta_i^k(t))_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}, \quad \mu(t) = (\chi_i^k(t))_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}},$$

$$\xi(t) = (\xi_i^k(t))_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}, \quad \zeta(t) = (\zeta_{ij}^k(t))_{\substack{i,j=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}.$$

Перейдем к дальнейшим обозначениям. Пусть N - численность населения региона; $M = \{1,2,\dots,(\dots,m)\}$ - множество предприятий, потребляющих древесину; $U = \{1,2,\dots,v,\dots,u\}$ - множество лесозаготовительных предприятий; c_{ik} , $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ - стоимость единицы объема i -й породы k -й возрастной группы; $I_\ell(t)$, $\ell=1,2,\dots,m$ - доход ℓ -го потребляющего предприятия в момент времени t ; $r_{\ell v}$, $\ell=1,2,\dots,m$, $v=1,2,\dots,u$ - расстояние от ℓ -го предприятия-потребителя до v -го лесозаготовительного предприятия; $D_\ell(t) = (c_{ik})_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}, I_\ell(t)$, $\ell=1,2,\dots,m$ - потребность ℓ -го предприятия - потребителя в древесине в момент времени t ; $S_v(t) = (c_{ik})_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}, (q_i^k(t)X_i^k(t))_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}, R, (w_i)_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ k=1,2,\dots,K}}$, $v=1,2,\dots,u$ - предложение древесины v -го лесозаготовительного предприятия в момент времени t , где $q_i^k(t)X_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,K$ - объем древесины i -й породы k -й возрастной группы в момент времени t ; R - объем альтернативных источников топлива, поступающих в регион; W_i , $i=1,2,\dots,n$ - объем древесины i -й породы, поступающей в регион.

Введенные переменные полностью характеризуют основные факторы, участвующие в динамике изменения процесса произрастания, потребления и восстановления лесных массивов.

2. Модель динамической системы управления лесными ресурсами. Уравнение, описывающее динамику изменения площади леса, занятой i -й породой k -й возрастной группы, имеет вид

$$X_i^k(t) = X_i^k(t)\varphi_i^k(t) - X_i^k(t)\psi_i^k(t) - \eta_i^k(t) - X_i^k(t)\chi_i^k(t) + \xi_i^k(t)X_i^k(t) + \sum \zeta_{ij}^k(t)X_i^k(t) - \alpha \omega_i^k(t)X_i^k(t) - \beta_i P(t)X_i^k(t) - \gamma NX_i^k(t) + \delta R(t)X_i^k(t) + \lambda_i w_i(t)X_i^k(t).$$

Система балансовых ограничений. Как отмечалось, недостатком рентабельной концепции является несбалансированность моделей с точки зрения спроса и предложения. Во избежание этого недостатка, в модели управления лесными ресурсами можно учесть факторы,

отражающие спрос и предложение, и достичь сбалансированности разрабатываемой системы.

Условие сбалансированности

$$S(t) = D(t), \quad t > 0, \quad (1)$$

где $S(t) = \sum_{i=1}^n S_v(t, (c_{ik}))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K} (q^k(t)X_i^k(t))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}, R(t), (w_i)_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}$,

$D(t) = \sum_{i=1}^n D_i(t, (c_{ik}))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}, I_i(t)$ отражают факторы спроса и

предложения в модели. Поскольку величина $X(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n q^k(t)X_i^k(t)$

представляет собой объем древесины региона в момент времени t , то естественно дополнительно ввести ограничение

$$\max\{S(t), D(t)\} \leq X(t) \text{ для всех } t > 0, \quad (2)$$

которое означает, что ни предложение, ни спрос на древесину не могут превышать суммарного объема древесины, произрастающей в лесах региона в любой момент времени t . Для управляющих переменных вводятся условия: при всех $i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K$ и $t > 0$ имеют место включения

$$\varphi_i^k(t) \in [0, 1], \quad \psi_i^k(t) \in [0, 1], \quad \eta_i^k(t) \in [0, 1], \quad \chi_i^k(t) \in [0, 1],$$

$$\xi_i^k(t) \in [0, 1], \quad \zeta_{ij}^k(t) \in [0, 1].$$

Одновременно коэффициенты пропорциональности $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i, \lambda_i$ принадлежат отрезку $[0, 1]$ при всех $i=1,2,\dots,n$. Тогда задачу управления лесными ресурсами представим в виде

$$\dot{X}_i^k(t) = \sum_{j=1}^n \zeta_{ij}^k(t) X_j^k(t) + \mu_i^k X_i^k(t), \quad t > 0, \quad (3)$$

где

$$\mu_i^k = \varphi_i^k(t) - \psi_i^k(t) - \eta_i^k(t) - \chi_i^k(t) + \xi_i^k(t) - \alpha_i \omega_i(t) - \beta_i P(t) - \gamma_i N + \delta_i R(t) + \lambda_i w_i(t), \quad \sum_{i=1}^n D_i(t, (c_{ik}))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}$$

$$I_i(t) = \sum_{i=1}^n S_v(t, (c_{ik}))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K} (q_i^k(t) X_i^k(t))_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K}, R(t), (w_i)_{i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K} \quad (4)$$

$$\varphi_i^k(t), \psi_i^k(t), \eta_i^k(t), \chi_i^k(t), \xi_i^k(t), \zeta_{ij}^k(t) \text{ из } [0, 1], \quad (5)$$

$$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \delta_i, \lambda_i \text{ из } [0, 1], \quad (6)$$

$$X_{i,0}^k = X_i^k(0), \quad (7)$$

$i=1,2,\dots,n, k=1,2,\dots,K$.

Таким образом, систему (3)-(7) можно предложить в качестве эколого-экономической математической модели динамики управления лесными ресурсами. Она построена на условии сбалансированности между спросом и предложением. В модели полностью учтены переменные, выражающие экономические и экологические требования. Следовательно, модель есть результат единого подхода.

объединяющего эколого-экономические факторы динамической системы ресурсов. В отличие от модели, рассмотренной в [2], наша модель учитывает широкое многообразие переменных, выражающих эколого-экономические требования. Она обеспечивает высокую степень адекватности для динамической модели управления лесными ресурсами, что, в свою очередь, делает ее применимой к более широкому кругу практических задач. На менее важным фактом является и то, что модель учитывает переменные, выражающие наличие условий стихийного погребения лесных ресурсов. Это продиктовано кризисной ситуацией в республике в области снабжения населения топливно-энергетическими ресурсами.

3. Модель оптимального управления лесными ресурсами.

Введем обозначения. Пусть $X_i^k(t)$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ – планируемая (желаемая) площадь, покрытая лесом i -й породы k -й возрастной группы в момент времени t ; d_{ik} , $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ – стоимость восстановления одной единицы площади леса, занятой i -й породой k -й возрастной группы. Тогда при $t > 0$ имеем $V_i^k(t) = V_i^k(t) X_i^k(t) c_{ik}$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ – определяет доход, полученный от рубки леса i -й породы k -й возрастной группы в момент времени t ; $E_{ik}^k(t) = \varphi_{ik}^k(t) X_i^k(t) d_{ik}$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ – определяет величину затрат на восстановление площади леса, ранее занятой деревьями i -й породы k -й возрастной группы в момент времени t ; $E_{ij}^i(t) = \sum_{i \neq j} \zeta_{ij}^i(t) X_i^i(t) d_{ij}$, $i=1,2,\dots,n$, $k=1,2,\dots,K$ – определяет величину затрат на перевод площадей, занятых деревьями j -й породы, $j \neq i$, $j=1,2,\dots,n$, под деревья i -й породы возрастной группы i в момент времени t .

Функционал

$$J = \int_0^T \left[\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^n \left[V_i^k(t) - E_{ik}^k(t) - E_{ij}^i(t) - \beta \sum_{l=1}^K \sum_{m=1}^n |X_i^k(t) - \bar{X}_i^k(t)|^2 \right] \right] dt \quad (8)$$

выражает величину потерь от использования лесных ресурсов в последующим их восстановлением за промежуток времени $[0, T]$.

Слагаемое $\beta \sum_{l=1}^K \sum_{m=1}^n |X_i^k(t) - \bar{X}_i^k(t)|^2$ выражает величину потерь, которые имеют место в случае отклонения величины площади, занятой лесом i -й породы k -й возрастной группы при всех $i=1,2,\dots,n$ и $k=1,2,\dots,K$, от планируемой площади $\bar{X}_i^k(t)$ в момент времени t . Очевидно, что система (3)-(7) вместе с целевой функцией

$$J \rightarrow \max \quad (9)$$

вида (8) представляет собой модель оптимального управления лесными ресурсами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев Н.Н. Современное состояние теории игр // Успехи матем. наук. - 1970. - Т. 25, вып. 2 (152). - С. 84-140.
2. Модели управления природными ресурсами. - М.: Наука, 1981. - 205 с.
3. Arakelyan A.H., Mkhitaryan V.A. A multiobjective planning model for regional economic-environmental-energy interactions during a time of transition // Int. conf. on methods and applications of multicriteria decision making. May. 14-16 - 1997. - de Mons, Belgium. - P. 105-107.

ЛПО Гугарский Лесхоз

07.10.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LI, № 2, 1999, с. 213-218

УДК 622-7

АВТОМАТИЗАЦИЯ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

М.К. БАГДАСАРЯН

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУДЫ ПОСРЕДСТВОМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Նկարագրված մոդելը թույլ է տալիս որոշել համակարգի անցումների բարձրագույն պահը, գնահատել համակարգի վիճակը ժամանակի ցանկացած պահին՝ որևէ մի լինիք էանդիսանալով հանրարարի մշտնական տվյալներով և գործընթացների և առանձին գործառնական հանույթների կենտրոնացման մոդելների ստեղծման համար:

Описана модель, позволяющая определить момент запуска переходов, а также оценить состояние систем в любой момент времени. Данная модель представляет собой основу для построения имитационных моделей функционирования отдельных узлов технологического процесса переработки руды.

Ил. 1. Табл. 2. Библиогр. 3 назв.

The described model allows to define the transition starting moment, as well as to evaluate the condition of systems at any time. It presents the basis for building simulation operation models for separate submachines of technological process in working out the ore.

Ил. 1. Tables 2. Ref.3.

Одной из актуальных задач в процессе переработки руды является разработка методов исследования динамики функционирования отдельных технологических процессов. Трудности, связанные с решением этой задачи, обусловлены целым рядом факторов, к которым следует отнести в первую очередь:

- наличие большого числа взаимодействующих элементов со сложными структурными и функциональными связями между ними;
- жизнедеятельность и функционирование отдельных процессов переработки руды не носят самостоятельного характера и асинхронны.

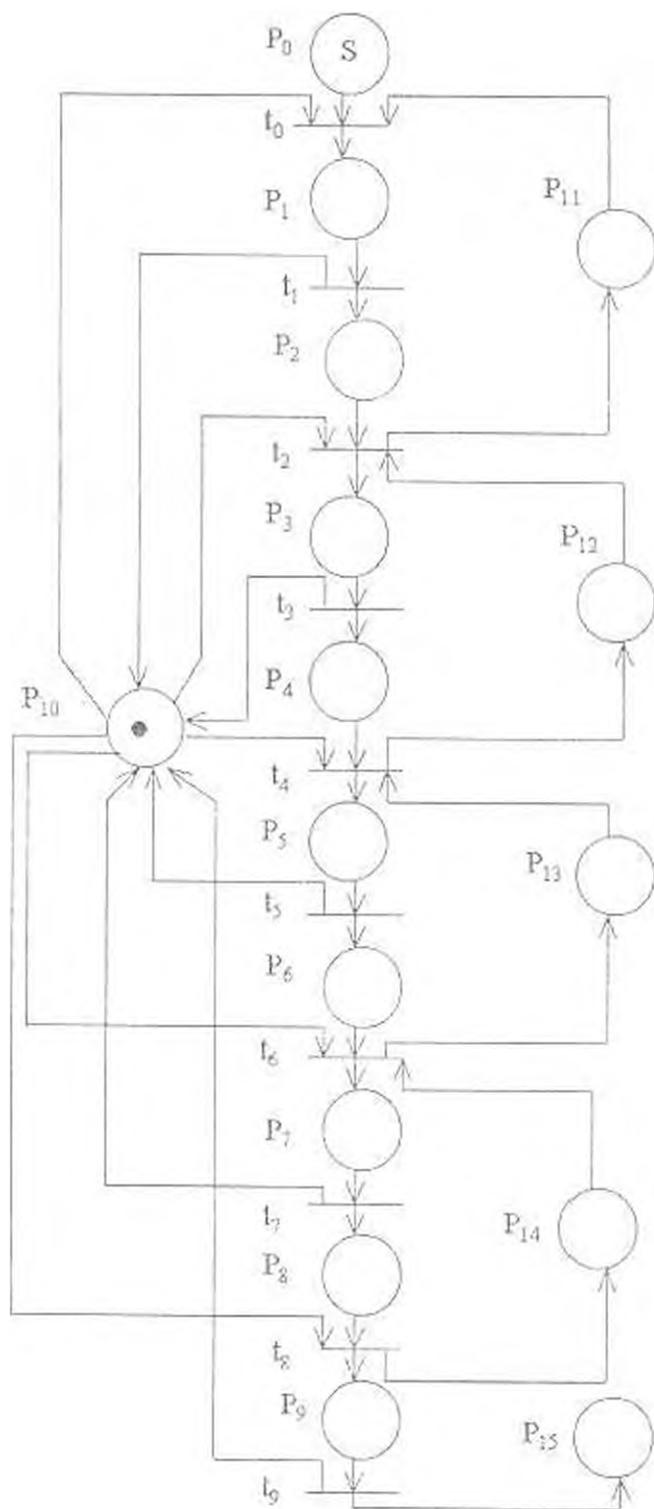


Рис.

Указанные обстоятельства привели к необходимости моделирования отдельных технологических процессов переработки руды. Ввиду своей многокритериальности и сложности рассматриваемая задача не может быть решена в полном объеме при помощи существующих аналитических методов. Данное представление наиболее близко отражают сети Петри, являющиеся общепризнанным средством моделирования управляющих структур систем. Формально сеть Петри описывается в виде набора $N=(P, T, D, M_0)$ [1, 2], где $P=\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ - конечное множество мест или позиций ($n \geq 0$); $T=\{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ - конечное множество переходов ($m \geq 0$); D - конечное множество дуг $D \subseteq P \times T \cup T \times P$; M_0 - начальная маркировка.

Сеть Петри обычно изображается двудольным ориентированным графом с двумя типами вершин: кружки - для мест и черточки - для переходов. Дуги могут быть направлены только от мест к переходам и обратно. Некоторым местам вначале могут быть присвоены точки, называемые маркерами. Динамика вводится с помощью логического механизма, который устанавливает правило срабатывания перехода. Переход возбуждается, если имеется по крайней мере один маркер в каждом входном месте этого перехода. В течение некоторого конечного временного интервала возбужденный переход срабатывает, в результате чего число маркеров на входных местах этого перехода уменьшается на единицу, а на выходных - увеличивается.

Применение стандартных методов сети Петри в большинстве практических случаев - достаточно трудоемкий процесс, не дающий часто желаемых результатов. Кроме того, исследование таких проблем, как последовательность и моменты запусков переходов для обычных сетей Петри, не имеет смысла.

Целью настоящей работы является исследование процесса измельчения и классификации руды после дробления. Для моделирования исследуемого технологического процесса переработки руды использовано расширение классических сетей Петри, которое определяется в виде

$$N_1 = (P, T, D, E, K, M_0),$$

где $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$ - множество задающих состояний маркеров;

$K=\{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ - множество задающих время запусков переходов.

Правило срабатывания перехода в сети N_1 происходит следующим образом: маркер при попадании в позицию p_i ($i=1, \dots, n$) в течение времени e_i находится в пассивном состоянии. По истечении указанного времени маркер переходит в активное состояние, что приводит к запуску соответствующего перехода. С целью описания модели процесс измельчения руды разделен на события, с присвоением соответственно каждому событию некоторого предиката P_j ($j=\overline{0,15}$), и активные действия - переходы t_j ($j=\overline{0,9}$) (табл. 1).

Сеть N_i (рис.) для рассматриваемого случая определяется компонентами: $P=\{p_i\}$, $E=\{e_i\}$, $i=0,\dots,15$, $T=\{t_i\}$, $K=\{k_j\}$, $j=0,\dots,9$: $M_i=(s, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$.

Согласно технологической карте переработки руды [3], оператор в каждый момент времени может переносить только g порции руды, поэтому времена запуска переходов t_1, t_3, t_5, t_7, t_9 а также времена $t_{10}, t_{12}, t_{14}, t_6, t_8$ не должны совпасть.

$$k'_1 \neq k'_2 \neq k'_3 \neq k'_4 \neq k'_5, \quad (1)$$

$$k'_1 \neq k'_2 \neq k'_3 \neq k'_4 \neq k'_5. \quad (2)$$

Из требования неразрывности процесса измельчения [3] следует

$$k'_i \leq k'_i{}^{r+1}, k'_1 \leq k'_1{}^{r+1}, k'_5 \leq k'_5{}^{r+1}, k'_7 \leq k'_7{}^{r+1}, k'_9 \leq k'_9{}^{r+1}. \quad (3)$$

Таблица 1

Номер предиката и перехода	Характеристика
P_0	количество (s) руды, готовой для обработки
P_1	оператор направляет обрабатываемое количество руды к мельнице
P_2	измельчение руды в мельнице
P_3	оператор направляет измельченную руду к классификатору
P_4	классификация руды
P_5	оператор направляет слив классификаторов мельниц в зумпф насосов
P_6	обработка слива в зумпфе
P_7	оператор направляет слив на гидроциклон
P_8	классификация слива в гидроциклонах
P_9	оператор направляет гидроциклон к пульподелителю
P_{10}	в пульподелитель поступил слив гидроциклонов
P_{11}	оператор свободен
P_{12}	мельница свободна
P_{13}	классификатор свободен
P_{14}	зумпф свободен
P_{15}	гидроциклон свободен
t_0	начало направления руды к мельнице
t_1	начало измельчения руды
t_2	начало направления измельченной руды к классификатору
t_3	начало классификации
t_4	начало направления к зумпфу
t_5	начало зумпфа
t_6	начало направления к гидроциклону
t_7	начало гидроциклона
t_8	начало направления руды к пульподелителю
t_9	конец направления измельченной руды в пульподелителе

Условия (1)-(3) обеспечивают правильность работы процесса переработки руды и выполнение требований [3].

Таблица 2

	P ₀	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₁₁	P ₁₂	P ₁₃	P ₁₄	P ₁₅
t ₀	s-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
t ₁	s-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1
t ₂	s-1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
t ₃	s-1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1
t ₄	s-1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
t ₅	s-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1
t ₆	s-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
t ₇	s-1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
t ₈	s-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
t ₉	s-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

Приведены достижимые маркировки M' из маркировки M в результате срабатывания последовательности переходов v=(t₀, t₁, t₂, ..., t_n) (табл. 2):

$$M' = M + f(v)D, \quad (4)$$

где f(v) - вектор отображения Парика [2].

Указанная последовательность запусков переходов соответствует последовательному измельчению партии руды, которая не всегда приемлема. Из табл. 2 видно, что при запуске перехода t₁ получается разметка M₂ (s-1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1), при которой могут быть запущены переход t₂ или t₄. При запуске перехода t₆ производится параллельная обработка r-й и (r+1)-й партий руды. Так, при s=2 последовательность запусков переходов при последовательной обработке (измельчения и классификация) руды будет

$$v = t_0^1 t_1^1 t_2^1 t_3^1 t_4^1 t_5^1 t_6^1 t_7^1 t_8^1 t_9^1 t_{10}^1 t_{11}^1 t_{12}^1 t_{13}^1 t_{14}^1 t_{15}^1$$

при параллельной обработке:

$$v = t_0^1 t_1^1 t_2^1 t_3^1 t_4^1 t_5^1 t_6^1 t_7^1 t_8^1 t_9^1 t_{10}^1 t_{11}^1 t_{12}^1 t_{13}^1 t_{14}^1 t_{15}^1$$

Однако при параллельной обработке (измельчении) необходимо учитывать условия совместной обработки r-й и (r+1)-й партий руды:

$$\begin{cases} k_i^r - k_i^{r+1} \geq \sum_{j=r+2}^{r+2-1} e_{j,r+1} \\ k_i^{r+1} - k_i^r \geq 2 e_{i,r+1} + \sum_{j=r+2}^{r+2-1} e_{j,r+1} \end{cases} \quad (5)$$

где k_i^r - время окончания обработки на процессе Γ r-й партии обрабатываемой руды; k_i^{r+1} - время окончания обработки на процессе Γ (r+1)-й партии обрабатываемой руды.

Технологические времена обработки руды зависят от определенных факторов, в частности, от твердости руды и гранулометрического состава, которые сильно изменяются (2-3 раза

в смену), что, в свою очередь, приводит к изменению производительности переработки руды. Поэтому технологические времена обработки руды на разных операциях задаются с определенными допусками:

$$e_{i, \min} \leq e_i \leq e_{i, \max}$$

Для случая варьируемых параметров e_i :

$$(k_i^{(n)} - k_i^{(1)})_{\min} \leq (k_i^{(n)} - k_i^{(1)}) \leq (k_i^{(n)} - k_i^{(1)})_{\max}$$

Предложенный подход позволяет определить момент запусков переходов, исследовать и оценить состояние сети в любой момент времени, а также условия совместной обработки руды различными приборами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. - М.: Мир, 1984. - 264 с.
- 2 Котов В.Е. Сети Петри - М.: Наука, 1984 - 158 с.
- 3 Технологическая инструкция Каджаранской обогатительной фабрики. - Ереван, 1990 - С. 6-11.

ГИУА

30.01.1998

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. 1.11, № 2, 1999, с. 218-224.

УДК 517.587

**ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И ИНФОРМАТИКА**

С.Е. ПЕТРОСЯН

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СИГНАЛА И ИЗОБРАЖЕНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ПО ПОЛОСЕ СПЕКТРОМ В БАЗИСЕ УОЛША

Հնդրված վերականգնվում են վերջավոր ազդանշանները կամայական բազիսում: Վերջի հաստատարով քազված համար ընդվում են կոստրուկտիվան ալգորիթմներ՝ տեղեկատվության կետերի ընտրության ուսումը Նախանան խնդիր լուծվում է եսակ (1), (2) ֆունկցիոնալաաների համար:

Рассматриваются сигналы с финитным спектром. Показано, что выбор множества информативных точек в задаче экстраполяции в зависимости от характера "протяженности" спектра позволяет получить точное восстановление сигнала с финитным в любом базисе спектром. Для базиса системы Уолша приводятся конструктивные алгоритмы выбора множества информативных точек в задаче экстраполяции. Аналогичная задача решена и для функции изображения $(f(x), f(y))$.

Библиогр. 6 назв.

We prove that the choice of informative points in the extrapolation problem depending on the "extension" character of the spectrum allows to get the exact signal recovery provided that the signals are finite in any base. Constructive algorithms of informative choice points in the extrapolation problem are presented for Walsh system base. An analogous problem is also solved for the function $f(t_1, t_2)$.

Ref.6.

Для одномерного случая теория восстановления сигнала с ограниченным спектром по некоторому подмножеству значений разработана Котельниковым. Оказывается, если отсчеты сигнала $f(k\Delta)$ ($k=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$, Δ - определенный интервал времени) брать не слишком редко, то возможно абсолютно точное восстановление сигнала на приемном конце, когда передаются лишь отсчеты $f(k\Delta)$. Впоследствии был найден ряд методов восстановления одномерного сигнала [1-5]. Однако все отмеченные методы имеют основной недостаток - наличие большого объема вычислений и чувствительность к шумам. В последние годы наряду с базисом Фурье широкое применение находят несинусоидальные базисы, в частности, базис Уолша [6]. Указанные методы, приведенные для одномерных сигналов, применимы при обработке изображений.

В данной работе приведены конструктивные алгоритмы нахождения базисного множества, необходимые для точного восстановления одномерных сигналов, а также двумерных изображений с финитным в базисе Уолша спектром.

1. Восстановление функции от одной переменной с ограниченным в некотором ортогональном базисе спектром. Пусть задан некоторый ортогональный базис

$$\varphi_0(t), \dots, \varphi_{N-1}(t), t \in Z^N, Z^N = \{0, 1, \dots, N-1\}, |Z^N| = N,$$

n -ю функцию которого обозначим через $\varphi_n(t)$. Для произвольной функции $f(t) \in R^N$ рассмотрим коэффициенты

$$\tilde{f}_n = \sum_{t \in Z^N} f(t) \varphi_n(t), \quad 0 \leq n \leq N-1.$$

Отображение $f \rightarrow \tilde{f}$ называется преобразованием в базисе φ на множестве Z^N . Зафиксируем подмножество $\Omega \subset Z^N$, $|\Omega| = N'$, $N' < N$ и рассмотрим следующее множество функций: $B_{\Omega} = \{f(t);$

$f(t) = \sum_{n \in \Omega} \tilde{f}_n \varphi_n(t)\}$. Исследуем вопрос восстановления функций $f \in B_{\Omega}$ через их значения в N' точках.

Определение. Множество $T_n = \{t_i\}_{i=0}^{N'-1}$, $0 \leq t_i < N-1$ назовем множеством базисных или информативных точек, если $\exists \alpha(t_i, t_j)$

так что $\forall t_i \in Z^N \setminus T_n, f(t_i) = \sum_{j=0}^{N'-1} \alpha(t_i, t_j) f(t_j)$.

Теперь покажем, что функцию $f(t) \in B_{\Omega}$ можно восстановить, имея только N' ее значений. Для этого рассмотрим матрицу $(\varphi_{i,n})$ порядка $N \times N'$. Так как функции $\varphi_{i,n}$, $n=0, 1, \dots, N-1$ линейно независимы, то ранг матрицы порядка $N \times N'$ равен N' . Следовательно, можно выбрать N' линейно независимых строк с номерами из некоторого множества $T_{n'}$.

Записав условие $f \in B_{\Omega}$ в этих точках, получим систему из N' уравнений и N неизвестных:

$$f(t) = \sum_{n \in \Omega} \hat{f}_n \varphi_i(n), \quad t \in T_{n'}$$

Из этой системы уравнений определим коэффициенты \hat{f}_n , $n \in \Omega$. $\hat{f}_n = \sum_{t \in T_{n'}} f(t) c_{n,t}$, где $(c_{n,t})$ - матрица, обратная $(\varphi_{i,n})$, $n \in \Omega$, $t \in T_{n'}$. В результате получаем представление функции $f(t)$ в произвольной точке $t \in Z^N \setminus T_{n'}$:

$$f(t) = \sum_{n \in \Omega} \hat{f}_n \varphi_i(n) = \sum_{n \in \Omega} \sum_{t' \in T_{n'}} f(t') c_{n,t'} \varphi_i(n),$$

$$f(t) = \sum_{t' \in T_{n'}} f(t') \sum_{n \in \Omega} c_{n,t'} \varphi_i(n), \quad t \in Z^N \setminus T_{n'}, \quad \text{где} \quad \sum_{n \in \Omega} c_{n,t'} \varphi_i(n) = \alpha(t, t').$$

2. Метод выбора базисных точек для восстановления функций от одной переменной с финитным в базисе Уолша спектром. Система функций Уолша $\{w_{\alpha}^{(N)}\}_{\alpha=0}^{N-1}$ является базисом для R^N , так как состоит из N ортогональных функций. Система функций Уолша является полной. Для произвольной функции $f(t) \in R^N$ рассмотрим коэффициенты Уолша

$$\hat{f}_n = \sum_{t=0}^{N-1} f(t) w_n(t); \quad N=2^k; \quad 0 \leq n \leq 2^k - 1.$$

Отображение $f \rightarrow \hat{f}$ назовем преобразованием Уолша на множестве $Z^N = \{0, 1, \dots, N-1\}$, $t \in Z^N$. Зафиксируем подмножество Ω из Z^N такое, что $\Omega \subset Z^N$; $|\Omega| = N'$; $N' < N$. Для этого рассмотрим следующее множество: $B_{\Omega} = \{f(t); f(t) = \sum_{n \in \Omega} \hat{f}_n w_n(t)\}$.

Функцию $f(t) \in B_{\Omega}$ можно восстановить, имея только N' ее значений в базисных точках, поскольку функции Уолша являются ортогональными и система $\{w_{\alpha}^{(N)}\}_{\alpha=0}^{N-1}$ является базисом в R^N .

✓ Утверждение. $\forall N$ и $N' = N-1$ при помощи $\forall N-1$ точек можно восстановить функцию $f \in B_{\Omega}$.

Для $N' < N-1$ предлагается выбрать базисные точки следующим рекуррентным методом. Рассмотрим $N=2$ и $N'=1$. Тогда, если зафиксирована первая строка, то выбираем первый столбец, если зафиксирована вторая строка, выбираем второй столбец. Аналогично, если зафиксирована первая строка, то выбираем второй столбец и если зафиксирована вторая строка, выбираем первый столбец.

Предположим, что в матрице $w_{n,m}^{(k-1)}$ можно выбрать базисные точки, то есть по произвольным N' строкам можно выбрать соответствующие столбцы. Из определения функций Уолша имеем

$$(w_{n,m}^k) = \begin{bmatrix} w_{n,m}^{(k-1)} \otimes [++] \\ w_{n,m}^{(k-1)} \otimes [+-] \end{bmatrix}$$

Если зафиксированные N' строк таковы, что $0 \leq i_1, \dots, i_{N'} \leq N/2-1$, то выбираем эти N' столбцов либо из столбцов с номерами $0, 2, 4, \dots, N-2$, либо из столбцов с номерами $1, 3, 5, \dots, N-1$. Это возможно, так как на пересечении строк $0, 1, 2, \dots, N/2-1$ и столбцов $0, 2, 4, \dots, N-2$ находится матрица $(w_{n,m}^{(k-1)})$. Точно так же на пересечении строк $0, 1, 2, \dots, N/2-1$ и столбцов $1, 3, 5, \dots, N-1$ находится матрица $(w_{n,m}^{(k-1)})$. Аналогично доказывается возможность выбора базисных точек в случае, если зафиксированные N' строк таковы, что $N/2 \leq i_1, \dots, i_{N'} < N-1$.

Если зафиксированные N' строк таковы, что $0 \leq i_1, \dots, i_p \leq N/2-1$ и $N/2 \leq i_{p+1}, \dots, i_{N'} < N-1$, то первыми выбираем p столбцов из столбцов с номерами $0, 2, 4, \dots, N-2$, как было указано выше. Затем выбираем $(N'-p)$ столбцов из столбцов с номерами $1, 3, 5, \dots, N-1$ так, чтобы $(N/2+1)$ -й строке соответствовал столбец с номером, равным номеру столбца, соответствующего $(N/2-1)$ -й строке $+ 1$, $i=0, 1, \dots, N/2-1$.

Покажем, что выбранные таким образом столбцы линейно независимы. Для этого приравняем нулю их линейную комбинацию и покажем, что коэффициенты также равны нулю.

$$\begin{cases} \alpha_1 w_{i_1, j_1} + \dots + \alpha_N w_{i_N, j_N} = 0, \\ \dots \\ \alpha_1 w_{i_1, j_1} + \dots + \alpha_N w_{i_N, j_N} = 0, \\ \dots \\ \alpha_1 w_{i_1, j_1} + \dots + \alpha_N w_{i_N, j_N} = 0, \\ (\alpha_1 + \alpha_2) w_{i_1, j_1} + (\alpha_1 + \alpha_2) w_{i_1, j_2} + \dots + (\alpha_{N-1} + \alpha_N) w_{i_{N-1}, j_{N-1}} = 0, \\ \dots \\ (\alpha_1 + \alpha_2) w_{i_1, j_1} + (\alpha_3 + \alpha_4) w_{i_3, j_3} + \dots + (\alpha_{N-1} + \alpha_N) w_{i_{N-1}, j_{N-1}} = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} (\alpha_1 - \alpha_2)w_{1,1} + (\alpha_2 - \alpha_3)w_{1,2} + \dots + (\alpha_{N-1} - \alpha_N)w_{1,N-1} = 0, \\ \dots \\ (\alpha_1 - \alpha_2)w_{N-1,1} + (\alpha_2 - \alpha_3)w_{N-1,2} + \dots + (\alpha_{N-1} - \alpha_N)w_{N-1,N-1} = 0. \end{cases}$$

Из первых p уравнений имеем $\alpha_1 + \alpha_2 = 0, \dots, \alpha_{N-1} + \alpha_N = 0$. Из остальных $(N-p)$ уравнений имеем $\alpha_1 - \alpha_2 = 0, \dots, \alpha_{N-1} - \alpha_N = 0$. Следовательно, $\alpha_1 = 0, \dots, \alpha_N = 0$, т.е. доказана справедливость построенного рекуррентного метода выбора информативных точек в базисе Уолша. Подсчитаем количество действий для нахождения базисных точек. При выборе базисных точек всего выполняем порядка $2N$ действий.

Таким образом, получим следующую теорему: для функций $f \in B_p$ существует множество базисных точек.

3. Восстановление функции от двух переменных с ограниченным в некотором ортогональном базисе спектром. Пусть задан некоторый ортогональный базис $\varphi_0(1), \dots, \varphi_{N-1}(1)$, $Z^2 = \{0, 1, \dots, N-1\}$, $|Z^2| = N$.

Обозначим через $\varphi_n(1)$ n -ю функцию этого ортогонального базиса. Для произвольной функции $f(t_1, t_2) \in R^{Z^2}$ рассмотрим коэффициенты

$$\begin{aligned} \Gamma_{nm} &= \sum_{t_1=0}^{N-1} \varphi_n(t_1) \sum_{t_2=0}^{N-1} f(t_1, t_2) \varphi_m(t_2), \quad N = 2^L, \\ 0 \leq n &\leq 2^L - 1, \quad 0 \leq m \leq 2^L - 1. \end{aligned}$$

Отображение $f \rightarrow \Gamma$ называется преобразованием в базисе φ на множестве $Z^2 \times Z^2$. Зафиксируем подмножество $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2$, $\Omega_1 \subset Z^2 \times Z^2$, $\Omega_2 \subset Z^2 \times Z^2$, $|\Omega_1| = N'$, $N' < N$, $|\Omega_2| = N''$, $N'' < N$.

Рассмотрим следующее множество функций:

$$B_{\Omega} = \{f(t_1, t_2) \in R^{\Omega} : f(t_1, t_2) = \sum_{n \in \Omega_1} \varphi_n(t_1) \sum_{m \in \Omega_2} \Gamma_{nm} \varphi_m(t_2) = \sum_{n \in \Omega} \varphi_n(t_1) \Gamma_n(t_2)\}.$$

Исследуем вопрос восстановления функций $f \in B_{\Omega}$ через их значения в $N' \times N''$ точках. Теперь покажем, что функцию $f(t_1, t_2) \in B_{\Omega}$ можно восстановить, имея только $N' \times N''$ ее значений. Рассмотрим матрицу (φ_{nm}) порядка $N'' \times N'$. Так как функции φ_m , $m = 0, 1, \dots, N'' - 1$ линейно независимы, то ранг матрицы порядка $N'' \times N'$ равен N'' . Следовательно, можно выбрать N'' линейно независимых столбцов с номерами из некоторого множества T_2 .

$$\hat{f}_n(t_2) = \sum_{m \in \Omega_2} \hat{f}_{n,m} \varphi_m(t_2), \quad t_2 \in T_{h_2}.$$

Из этой системы уравнений определим $\hat{f}_{n,m}, m \in \Omega_2$:

$$\hat{f}_{n,m} = \sum_{t_1 \in T_{h_1}} \hat{f}_n(t_1, t_2, c_{t_1, m}),$$

где $(c_{t_1, m})$ - матрица, обратная матрице $(\varphi_{n, m_2}), m \in \Omega_2, t_1 \in T_{h_1}$.

Таким образом, получаем представление функции \hat{f}_n в произвольной точке $t_2 \in Z^N \setminus T_{h_2}$:

$$\hat{f}_n(t_2) = \sum_{m \in \Omega_2} \hat{f}_{n,m} \varphi_m(t_2) = \sum_{m \in \Omega_2} \sum_{t_1 \in T_{h_1}} \hat{f}_n(t_1, t_2, c_{t_1, m}) \varphi_m(t_2).$$

$$\hat{f}_n(t_2) = \sum_{t_1 \in T_{h_1}} \hat{f}_n(t_1) \sum_{m \in \Omega_2} c_{t_1, m} \varphi_m(t_2), \quad t_2 \in N \setminus T_{h_2}.$$

Рассмотрим теперь матрицу $(\varphi_{n, m})$. Так как функции $\varphi_{n, m}, m=0, 1, \dots, N'-1$ линейно независимы, то ранг матрицы порядка $N \times N'$ равен N' . Следовательно, можно выбрать N' линейно независимых строк с номерами из некоторого множества $T_{n'}$:

$$f(t_1, t_2) = \sum_{n \in T_{n'}} \varphi_n(t_1, t_2), \quad t_1 \in T_{h_1}.$$

Из этой системы уравнений определим коэффициенты $\hat{f}_n(t_2), n \in \Omega_1$:

$$\hat{f}_n(t_2) = \sum_{t_1 \in T_{h_1}} c_{n, t_1} f(t_1, t_2),$$

где (c_{n, t_1}) - матрица, обратная матрице $(\varphi_{n, t_1}), n \in \Omega_1, t_1 \in T_{h_1}$.

В результате получаем представление функции $f(t_1, t_2) \in B_{\Omega}$ в произвольной точке $(t_1, t_2) \in Z^N \times Z^N \setminus T_{h_1} \times T_{h_2}$:

$$\begin{aligned} f(t_1, t_2) &= \sum_{n \in \Omega_1} \varphi_n(t_1, t_2) = \sum_{n \in \Omega_1} \sum_{t_1 \in T_{h_1}} \hat{f}_n(t_2) \sum_{m \in \Omega_2} c_{t_1, m} \varphi_m(t_2) = \\ &= \sum_{n \in \Omega_1} \sum_{t_1 \in T_{h_1}} \sum_{m \in \Omega_2} c_{n, t_1} f(t_1, t_2) \sum_{m \in \Omega_2} c_{t_1, m} \varphi_m(t_2), \quad (t_1, t_2) \in N \times N \setminus T_{h_1} \times T_{h_2}. \end{aligned}$$

Таким образом, функцию $f(t_1, t_2) \in B_{\Omega}$ можно восстановить, имея только $N' \times N''$ ее значений в точках множества $T_{h_1} \times T_{h_2}$, которые назовем базисными.

4. Метод выбора базисных точек для восстановления функций от двух переменных с финитным в базисе Уолша спектром Система функций Уолша $\{w_{n, m}^{(1)}\}_{n, m=0}^{N-1}$ является базисом для R^N , так как состоит из N ортогональных функций. Для произвольной функции $f(t_1, t_2) \in R^{N \times N}$ рассмотрим коэффициенты Уолша

$$\hat{f}_{n,m} = \sum_{l=0}^{N-1} w_n(l) \sum_{t=0}^{N-1} f(t, l) w_m(t), \quad N=2^L, \quad 0 \leq n \leq 2^L - 1, \quad 0 \leq m \leq 2^L - 1$$

Отображение $f \rightarrow \hat{f}$ назовем преобразованием Уолша на множестве $Z^N = \{0, \dots, N-1\}$, $t \in Z^N$. Зафиксируем подмножество $\Omega = \Omega_1 \times \Omega_2$, $\Omega_1 \subset Z^N \times Z^N$, $\Omega_2 \subset Z^{N'}$, $|\Omega_1| = N' \cdot N' < N$,

$$|\Omega_2| = N''; \quad N'' < N.$$

Для этого рассмотрим следующее множество:

$$B_\Omega = \{f(t, l, i); f(t, l, i) = \sum_{n \in \Omega_1} w_n(t) \sum_{m \in \Omega_2} \hat{f}_{n,m} w_m(l) = \sum_{n \in \Omega_1} w_n(t) \hat{f}_i(t, l)\}$$

Функцию $f(t, l, i) \in B_\Omega$ можно восстановить, имея только $N' \times N''$ ее значений в базисных точках. Базисные точки выбираются по номерам столбцов матрицы (W_{m_i}) , $m_i = 0, \dots, N'' - 1$, $i \in T_1$ и строк матрицы (W_{n_i}) , $n_i = 0, \dots, N' - 1$, $i \in T_2$ или, что то же самое, ввиду симметричности матрицы Уолша, по номерам столбцов матрицы (W_{n_i}) , $n_i = 0, \dots, N' - 1$, $i \in T_1$ (см. п. 2). Таким образом, справедлива следующая теорема: для функций $f(t, l, i) \in B_\Omega$ существует множество базисных точек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Stepan D.S. et Al. Prolate Spheroidal Wave Functions. Fourier Analysis, and Uncertainty Principle // Bell Syst. Tech. J. - 1961. - V.40, №1. - P. 43-84.
2. Papoulis A. A New Algorithm in Spectral Analysis and Band-Limited Extrapolation // IEEE Trans. Circuits Syst. - 1975. - V.CAS - 25. - P. 735-742.
3. Sabri M.S. and Steenart W. An Approach to Band-Limited Signal Extrapolation, the Extrapolation Matrix // IEEE Trans. Circuits Syst. - 1978. - V. CAS-25. - P. 74-78.
4. Cadzow J.A. Improved Spectral Estimation from Incomplete Sampled Data Observations // Presented at the RADC Spectrum Estimation Workshop, Rome, NY May 24-26, 1978. Also see Trans., Acoust., Speech, Signal Processing - Feb 1979 - V.ASSP-27. - P. 4-12.
5. Jain A.K. and Ranganath S. Extrapolation Algorithms for Discrete Signals with Application in Spectral Estimation // IEEE Trans. On Acoust., Speech, Signal Processing - 1981 - ASSP-29 - P. 830-845.
6. Голубов Б.И., Ефимов А.В., Скворцов В.А. Ряды и преобразования Уолша. - М. Наука, 1987. - 344 с.

ИГУ

03.09.1997

Р.А. СИМОНЯН

ПРЕЦИЗИОННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МОЩНОСТИ ИК ДИАПАЗОНА

Մոտիվ 1, քննարկելու սարքի կառուցվածքային ոլորտում, որն ապահովում է բնօրինակ ԻԿ-աղբյուրի ճառագայթման ներդրման և կրակին եռապատկերման կրակի փոխը դժվարությունները ընդհանուր նույն սարքի տեխնիկական սկզբունքայինը և օգտագործման որակները:

Предложено устройство для прецизионного измерения падающей мощности ИК-диапазона. Приводится структурная схема устройства, обеспечивающего высоколинейную зависимость между частотой выходных импульсов и величиной мощности падающего излучения. Представлены технические данные устройства и области применения.

Ил.1 Библиогр. 4 назв.

A high-accuracy device is described for measurement of IR radiation power. The structural diagram of the device which provides high linearity between the incident IR power and output pulse frequency is given. Technical characteristics and application areas of the device are specified in the paper.

Ил. 1, Ref 4

Как известно [1,2], существуют высокочувствительные устройства для приема падающей мощности ИК-диапазона на основе канального транзистора с р-п-переходом. При этом применяется принцип построения приемного устройства в режиме накопления заряда (РНЗ) в самом элементе, что позволяет существенно повысить чувствительность фотоприемника и расширить динамический диапазон [3].

В настоящей работе используется фотоприемное устройство, в котором заряды, генерированные ИК-излучением, нейтрализуют заряд на р-п-переходе канального транзистора, полученный электрическими импульсами.

Структурная схема устройства (рис.) состоит из 1 - канального фототранзистора с р-п - переходом, имеющего окно в корпусе для падающей мощности, R- нагрузки в цепи стока канального транзистора, 1 - усилителя переменного тока, 2 - детектора экстремального значения, 3 - дифференциального усилителя, 4 - источника опорного напряжения постоянного тока, 5 - преобразователя напряжение - частота, 6 - формирователя отрицательных импульсов, 7 - диода с малой утечкой.

Устройство работает следующим образом: измеряемое излучение через окно корпуса падает на р-п-переход канального фототранзистора Т (КФТ). При этом р-п-переход разделяет генерируемые излучением неравновесные носители, образуя в цепи затвора фототок, который уменьшает отрицательное смещение за счет отрицательных импульсов с выхода формирователя импульсов 6. Это вызывает изменение тока через канал и уменьшает напряжение на стоке фототранзистора по экспоненциальному закону. При

поступлении следующего импульса напряжение на стоке принимает исходное значение. Таким образом, на стоке фототранзистора имеется пилообразное напряжение, обладающее экспоненциально падающими и почти мгновенно нарастающими участками, которое после усиления подается к входу детектора экстремального значения 2. Выходное значение которого пропорционально амплитудному значению пилообразного напряжения и подается к одному входу дифференциального усилителя 3. Ко второму входу усилителя 3 подключен выход источника опорного напряжения 4. Выход дифференциального усилителя соединен со входом преобразователя напряжение-частота. Выходное напряжение через формирователь отрицательных импульсов стабильной амплитудой и длительности подается к затвору КФТ. Для устранения утечки зарядов через выход формирователя затвор КФТ соединен с выходом блока 6 через диод Д, имеющий малое значение токов утечки.

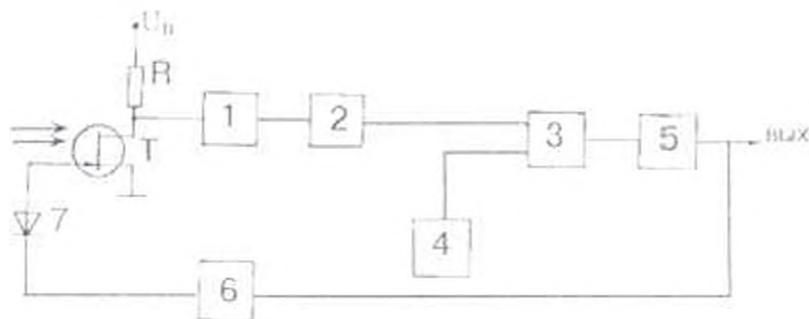


Рис.

Весь цикл работы устройства можно разделить на два полупериода - полупериод заряда емкости перехода затвор - исток отрицательными короткими импульсами, когда диод Д открыт и отрицательный потенциал затвора восстанавливается, и полупериод измерения, когда диод Д закрыт (затвор фактически отсоединен с выхода формирователя 6), происходит разряд фототоком падающего излучения зарядов емкости р-п-перехода затвор - исток. Фактически структурная схема стабилизирует выходное напряжение детектора экстремального значения на уровне выходного напряжения источника опорного напряжения 4 за счет изменения частоты следования импульсов. Пренебрегая малыми токами утечки в переходе затвор-исток КФТ и диода Д, определим зависимость частоты следования импульсов от мощности падающего излучения ИК - диапазона при стабильном уровне напряжения на выходе детектора экстремального значения 2. При падении излучения на р-п - переход генерируется фототок [4]

$$I_f = \frac{e(1-R)\eta I^0}{h\nu} \quad (1)$$

где R - коэффициент отражения мощности от поверхности, η - квантовая эффективность, $\eta = 0,8, 0,9$; h - постоянная Планка; ν и I^0 - частота и мощность падающего излучения, e - заряд электрона.

При заряде разряженной емкости перехода затвор - исток от напряжения U_2 до U_1 необходимое количество зарядов в импульсе представлено в виде

$$\Delta q = C(U_1 - U_2), \quad (2)$$

где C - емкость перехода затвор-исток.

Средняя величина тока заряда р-п - перехода равна

$$I_1 = fC(U_1 - U_2), \quad (3)$$

где f - частота следования импульсов, заряжающих переход затвор-исток.

В стационарном режиме работы, когда на входах дифференциального усилителя 4 напряжения примерно одинаковы, фототок и ток заряда емкости перехода затвор-исток равны ($I_1 = I_{\phi}$), т.е.

$$\frac{e(1-R)\eta P}{h\nu} = fC(U_1 - U_2), \quad (4)$$

откуда

$$f = \frac{e(1-R)\eta P}{h\nu C(U_1 - U_2)}. \quad (5)$$

Таким образом, для зависимости частоты от мощности падающего излучения имеем

$$f = kP, \quad (6)$$

где

$$k = \frac{e(1-R)\eta}{h\nu C(U_1 - U_2)}. \quad (7)$$

Так как входящие в (7) величины постоянны (R, η, e, h, ν, C), а разность ($U_1 - U_2$) поддерживается строго постоянной, получается линейная зависимость между частотой на выходе преобразователя напряжение-частота и мощностью падающего излучения.

Как уже отмечено, токи утечки р-п-переходов фототранзистора Т и диода Д пренебрегались при выводе формулы (6). Для устранения влияния этих токов на точность измерения, в особенности, при измерении малых уровней мощности ИК-излучения, диод и транзистор установлены в термостат с точностью термостатирования $\pm 0,1^\circ\text{C}$. В разработанном устройстве в качестве усилителя 1 применялся однокаскадный усилитель, собранный на операционном усилителе К574УД1А. Для детектора экстремального значения была разработана специальная схема, в которой сочетаются быстроедействие и высокая точность при выделении значения напряжения пилообразной формы. Дифференциальный усилитель 3 реализован на одном операционном усилителе К140УД6, источник опорного напряжения 4 регулируемый, собран по схеме параметрического стабилизатора на термокомпенсированном стабилитроне КС191Ф.

Преобразователь напряжение-частота реализован по схеме управляемого генератора прямоугольных импульсов на основе микросхемы КР1108ПП1, обеспечивающей высокую линейность преобразования с широким диапазоном выходных частот.

Формирователь импульсов 6 реализован на микросхеме интегрального таймера КР1006ВИ1 с преобразователем полярности на биполярных транзисторах высокой частоты.

Для измерения частоты с выхода преобразователя напряжение-частота применялся частотомер с кварцевой калибровкой и четырехразрядной индикацией измеряемого параметра. В качестве диода Д применялся р-п-переход полевого транзистора КП303Е с током утечки затвора менее 0,1 мкА, в качестве канального фототранзистора - транзистор 2Т903 А, имеющий ток утечки затвора порядка 0,1 мкА. Для доступа падающей мощности к р-п-переходу в корпусе сделано специальное окно. С целью измерения параметров фотоприемного устройства и исследования временной и температурной стабильности в качестве источника ИК излучения применены как вольфрамовая лампа, так и излучающий диод АЛ107. Для питания лампы применялся высокостабильный источник тока (коэффициент стабилизации тока 0,01%). Для повышения стабильности излучающей мощности корпус диода термостатирован ($\Delta T < 0,1^\circ\text{C}$).

Основные параметры измеряемого устройства, нижний предел измеряемой мощности 10^{-10} Вт; длина волны измеряемого излучения $\sim 0,95$ мкм; длительность периода заряда ≤ 1 мкс; длительность экспоненциального участка до 100 мкс.

Благодаря высокой точности и чувствительности измеритель может применяться как для ИК-астрономии и калибровки источников ИК-энергии, так и для изготовления точных и высокочувствительных дистанционных измерителей температур, в особенности, для измерения и контроля технологических процессов (рост высокотемпературных кристаллов, термической обработки материалов).

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирзабекян Э.Г., Абрамян Ю.А., Симонян Р.А., Арамян Н.С. Приемники ИК-излучения с аномально высокой чувствительностью. ДАН АрмССР. - 1981. - Т 72. - С. 28.
2. Симонян Р.Г., Арамян Н.С. Исследование фотоэлектрических свойств канального приемника ИК-излучения // Радиотехника и электроника. - 1984. - Т. 29. № 4. - С. 810-812.
3. Веклер Г.П. Пути создания фотополупроводниковых устройств передачи изображения на основе использования режима накопления заряда // Электроника. - 1967 - № 9. - С. 19-23.
4. Ван дер Зил А. Шумы при измерениях. - М. Мир, 1979. - 154 с.

Ин-т радиофизики и
электроники НАН РА

19.06.1997

О.В. БАГДАСАРЯН, О.А. ГОМЦЯН, Д.М. МЕГАВОРЯН

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МДКР С АДАПТИВНОЙ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИЕЙ

Առաջարկվում է արհեստական զգայա սնդուրանով կառույն բաժանմանով բնորոշ օպտիկական համակարգը կոմպյուտրաչափել ստորկ ծառը են տրվում ստանդարտ կոմպյուտրական ապրանքների զգայա սնդուրանը կազմելի և բաժանող արհեստի կոմպյուտրանով կառույն բաժանմանով օպտիկական համակարգի կոմպյուտրաչափել ստանդարտ Մեթոդը ներկայումս են սողկալարանի կոմպյուտրան արհեստները:

Предложена модель волоконно-оптической системы МДКР с адаптивной дельта-модуляцией. Даны математические модели стационарного речевого сигнала, кодера дельта модуляции (ДМ) и оптической системы МДКР с кодированием спектра светодиода. Представлены предварительные результаты моделирования.

Ил. 2. Библиогр. 5 назв.

The computer model of fiber-optic CDMA system with adaptive delta-modulation is presented. Models of stationary speech signal, coder and encoder of delta-modulation and fiber-optic CDMA system with coding of LED spectrum are presented. Preliminary numerical results of modeling are also shown.

Fig. 2. Ref. 5.

Введение. Как известно, разделение абонентов в системах связи с кодовым разделением каналов основано на использовании широкополосных сигналов (ШПС), полоса которых значительно превышает полосу частот, необходимую для обычной передачи сообщений. Выбирая определенный ансамбль ШПС с "хорошими" взаимными и автокорреляционными свойствами, можно обеспечить в процессе корреляционной обработки разделение абонентов. Подобные системы могут быть успешно применены в оптических сетях с фиксированным, непрерывным, прерывистым трафиком (передача речи, данных, TV/HDTV и т.д.), в сетях, основанных на ATM и/или STM передаче, а также в сетях с интеграцией множества служб (ISDN).

Ввиду независимости тактовых скоростей кодированного и некодированного сигналов системы спектрального многопользовательского доступа с кодовым разделением (МДКР) позволяют обслужить большее количество пользователей по сравнению с системами с прямым кодированием псевдослучайной последовательностью информационных символов во временной области [1,2]. В подобных системах предел тактовой частоты ограничен дисперсионными характеристиками волокна, а емкость вполне достаточна для применения в городских оптических сетях. Одним из наиболее удобных видов аналого-цифрового преобразования речевых сигналов для использования в оптических системах МДКР является дельта-модуляция. Основными его преимуществами являются устойчивость к

сбоям символов; не требуется разделения на приемной стороне импульсной последовательности на кодовые слова; простые схемные решения и т.д.

В данной работе произведено моделирование системы связи с оптическим спектральным МДКР и адаптивной дельта-модуляцией. В качестве кодов применены циклические сдвиги m -последовательности длиной 127.

1. *Модель стационарного речевого сигнала и кодека дельта-модуляции* Для стационарных нормальных случайных процессов существуют весьма экономичные моделирующие алгоритмы. В основу этих алгоритмов положено линейное преобразование стационарной последовательности $x[n]$ независимых нормальных случайных чисел (дискретный белый шум) в последовательность $s[n]$, коррелированную по заданному закону. При этом оператор линейного преобразования записывается либо в виде скользящего суммирования с некоторым весом C_k [3,4]

$$s[n] = \sum_{k=1}^N C_k x[n-k], \quad (1)$$

либо в виде рекуррентного уравнения

$$s[n] = \sum_{k=1}^L a_k x[n-k] - \sum_{k=1}^M b_k s[n-k].$$

Начальные условия в (2) можно выбрать нулевыми. При этом имеет место некоторый переходный процесс, в результате которого начальный участок моделируемого процесса будет искаженным. Однако после его окончания последовательность $s[n]$ становится стационарной.

Как известно [4], модель речевого сигнала представляет собой стационарный случайный процесс с нормированной корреляционной функцией, определяемой выражением

$$R(\tau) = \sigma^2 \exp(-\omega_c |\tau|) \cos \omega_m \tau \quad (3)$$

Из этих двух моделей наиболее экономичной является модель, основанная на рекуррентно-разностных уравнениях, т.к. при этом используются данные об уже рассчитанных значениях процесса $s[n]$ в нескольких предыдущих тактах.

В модель предсказателя для случая адаптивной ДМ входят преобразователь шага и одиарный или двойной интегратор. Цифровая модель идеального одиарного интегратора может быть записана в виде простого разностного уравнения

$$y(n) = y(n-1) + \varepsilon \text{sign}\{u(n) - y(n-1)\}, \quad (4)$$

где ε - постоянный шаг квантования; $\text{sign}\{u(n) - y(n-1)\}$ - знак разности между входным аналоговым $u(n)$ и аппроксимирующим $y(n)$ напряжением в гочках опробования.

При использовании адаптации в (4) вместо постоянного шага квантования запишется преобразователь шага $H = (\varepsilon + \varepsilon)$, где ε - параметр преобразователя шага.

2. *Модель кодера и декодера системы оптического МДКР* Предположим, в оптической сети в общем случае имеем N пар пользователей. Для простоты допустим, что имеем непрерывный трафик, параметры передачи зависят главным образом от наличия

сигналов от других пользователей, т.е. тепловые и другие шумы пренебрежимо малы. Сигнал на выходе n -го оптического кодера определяется в виде [5]

$$s_n(t) = s_n b_n(t) F[DP_n], \quad (5)$$

где s_n - оптическая интенсивность; $b_n(t) = \sum_{i=1}^m b_{ni} P_i(t - \tau_i)$ - бинарная информационная последовательность, $F[DP_n]$ - преобразование Фурье от n -го ортогонального кода; b_{ni} - n -я информационная последовательность, принимающая значения 0 или 1 с равными вероятностями; $P_i(t)$ - прямоугольный импульс длительностью T .

Сигнал на входе каждого приемника является суммой сигналов всех пользователей:

$$r(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t - \tau_i) = \sum_{i=1}^N b_{ni}(t - \tau_i) F[DP_n]. \quad (6)$$

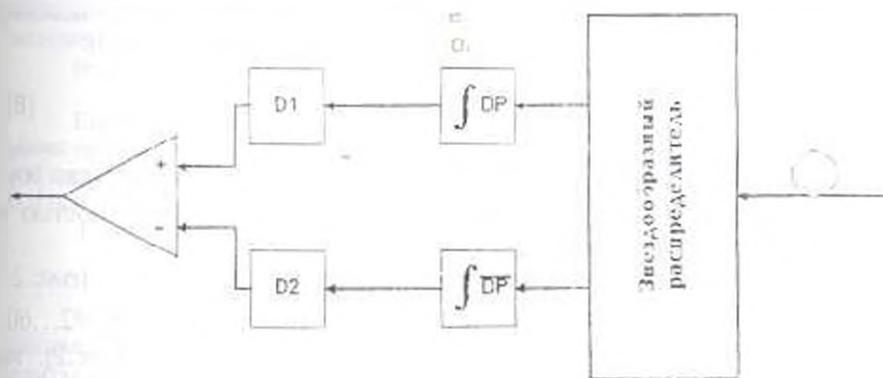


Рис. 1 Структурная схема приемника n -го пользователя полуконной оптической системы МДКР. D_1 , D_2 - первый и второй фотодетекторы

На приемном конце сигнал разделяется на две составляющие (рис.1). Производится расчет двух корреляционных интегралов для кодовой последовательности нужного абонента и последовательности, инверсной к первоначальной, с последующим их прямым фотодетектированием и вычитанием. Разделение абонентов основано на следующем свойстве m -последовательности [1]: $Z_{X\bar{X}} - Z_{\bar{X}X} = 0$, где $Z_{X\bar{X}}$ - функции кросс-корреляции, а \bar{X} - последовательность, инверсная к X . Учитывая сказанное, выход коррелятора первого пользователя за время T может быть записан в виде

$$Z_{r_1} = \int_0^T r(t) F[DP_1] - \int_0^T r(t) F[\overline{DP_1}] \quad (7)$$

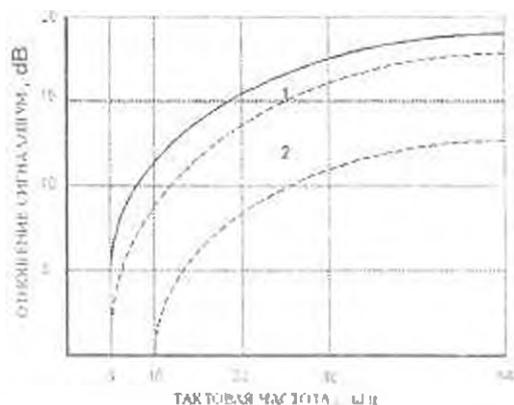


Рис. 2. Зависимость оси от тактовой частоты дельта-кодека при различных значениях числа активных абонентов системы МДКР

3 *Результаты и их обсуждение.* Основным показателем во время исследований принималось отношение сигнал/шум, вычисление которого производилось согласно следующему выражению [3]:

$$P_s / P_n = 10 \log \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_n} \right) \quad (8)$$

где σ_s - дисперсия исходной модели речевого сигнала; σ_n - дисперсия ошибки между демодулированной последовательностью и исходной моделью речевого сигнала.

Для случая $N=1$ рассчитана зависимость P_s / P_n (рис.2). Предварительные расчеты показывают, что для случаев $N=2...60$, $61...100$ кривые лежат в областях 1 и 2 соответственно (рис.2). Из сказанного можно сделать вывод, что подобная система может обслужить большое количество пользователей (~ 60) без значительного ухудшения качества передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kavehrad M., Zaccarin D. Optical Code Division Multiplexed Systems Based on Spectral Encoding of Noncoherent Sources // Journ. of Lightwave Technology. - 1995 - V.13, №3. - P. 534-545.
2. Nguyen L., Dennis T., Aazhang B., Young J. Experimental Demonstration of Bipolar Codes for Optical Spectral Amplitude CDMA Communication // Journ. of Lightwave Technology. - 1997. - V.15, № 9. - P.1647-1659.
3. Венедиктов М.Д., Гомцял О.А. Дельта-модуляция, Разработка устройств и моделирование // Всесоюз. заочный электротехнический ин-т связи - М., 1984 - 86 с.
4. Быков В.В. Цифровое моделирование в статической радиотехнике - М: Советское радио, 1971. - 326 с.
5. Salehi J.A., Brackett C.A. Code Division Multiple-Access Techniques in Optical Fiber Networks. Part 2: Systems Performance Analysis // IEEE Transaction on Communication - 1989. - V.37, N.8 - P. 834-842.

Г.А. АБОВЯН, А.Г. АБОВЯН

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ КРУГЛЫХ ПЛИТ, ОПЕРТЫХ НА ТОЧЕЧНЫЕ ОПОРЫ

Քննարկվում են դեռափն հենարաններին հենված կլոր սալերի դինամիկական բնութագրերի փորձարարական հետազոտման սեյսմոլիզան և սառչրված սարքավորումների վերլուծությունը: Մեխանիկան օպտատիոնների ցանցին կլոր սալերի համար ստացված են հաճախությունները, օպտատիոն ձևերը և դեկրեմենտները: Տարեբանում են դինամիկական բնութագրերի, տեսական և փորձարարական տրեքերները:

Приводятся методика и анализ результатов экспериментальных исследований динамических характеристик круглых плит, опертых на четырех точечных опорах. Для первых трех тонов собственных колебаний получены частоты, формы и декременты колебаний. Дается сравнение теоретических и экспериментальных значений динамических характеристик плит.

Ил. 3. Табл. 2. Библиогр., 4 назв.

Experimental technique and results of dynamic characteristics analysis for round plates resting on four pointed supports are presented. Vibration frequencies, trusses and decrements are obtained for the first three tones of natural vibrations. A comparison of theoretical and experimental values for dynamic plate characteristics is given.

Ил. 3. Tables 2. Ref. 4.

Колебания круглых плит с различными краевыми условиями рассмотрены в работах [1-3]. В [3] исследованы колебания круглой плиты со свободным краем, опертой на четырех опорах при заданном вертикальном движении этих опор.

Целью настоящей работы является проверка достоверности полученных результатов этих решений и уточнение отдельных вопросов, не подлежащих теоретической интерпретации.

Исследования проводились на моделях круглых плит диаметром 1200 мм, изготовленных из стальных листов толщиной 8 мм. Всего было испытано 6 типоразмеров плит с шарнирными и защемленными опорами (рис.1), отличающихся друг от друга координатами расположения точечных опор и наличием различных форм отверстий. Типы плит обозначены буквой "П" и цифровыми номерами. Так, сплошные плиты с координатами расположения опор, равными 580, 450 и 300 мм, обозначены П-1, П-2 и П-3; плиты с квадратным, прямоугольным и круглым отверстиями - П-4, П-5 и П-6 соответственно. В дальнейшем к этим обозначениям добавляются индексы "ш" при шарнирных опорах и "з" при защемленных опорах. Шарнирное описание моделей плит осуществлялось с помощью полушаровых опорных частей, установленных на оголовках опорных стоек, а жесткое защемление - с помощью толстых шайб, установленных также на стойках снизу и сверху плит с последующим натяжением болтов (рис.2).

Для испытания модели плит была спроектирована и изготовлена специальная экспериментальная установка (рис.2).

состоящая из испытательного стола, приспособлений для передачи статических и динамических нагрузок на плиту, электромагнитного вибратора с пультом управления, измерительных приборов и записывающей аппаратуры. Все плиты были испытаны под воздействием статических и динамических нагрузок

Статические испытания проводились для определения жесткостных характеристик плит. При этом статическая нагрузка $F = 250 \text{ Н}$ прикладывалась в центре испытуемых плит через трос-платформу (рис 2).

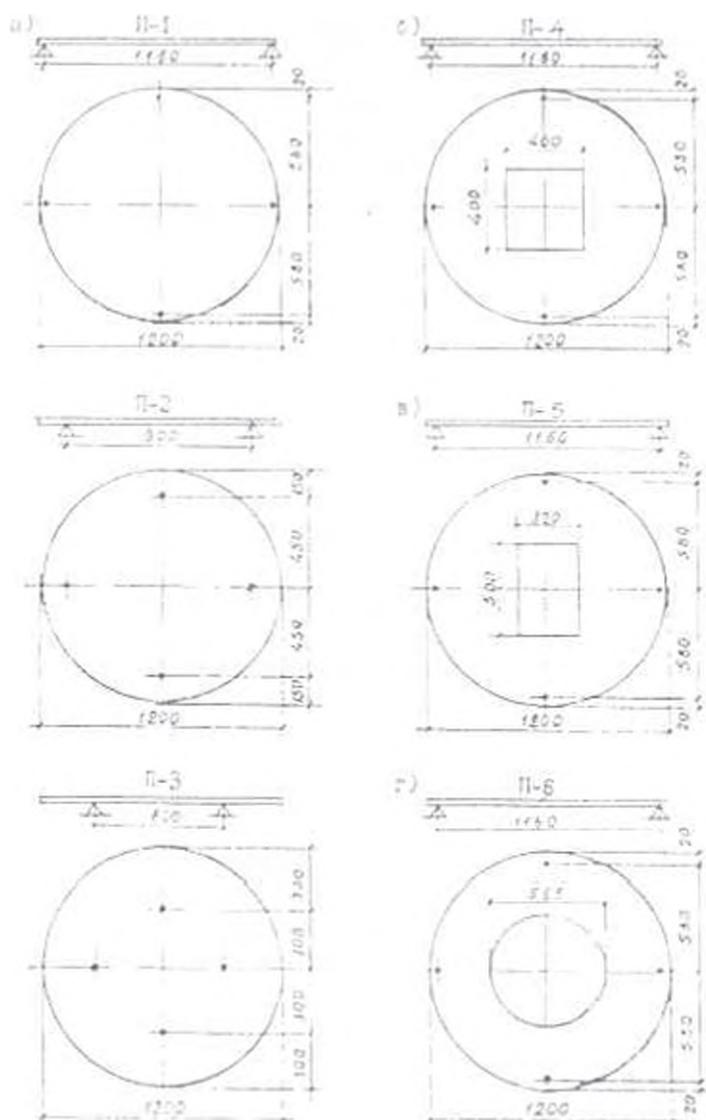


Рис.1. Модели плит

Динамические испытания включали свободные и вынужденные колебания. Свободные колебания плит также возбуждались с помощью трос-платформы оттягиванием плиты с последующим внезапным обрезанием нити платформы. При свободных колебаниях определялись динамические характеристики первой формы собственных колебаний плит. Вынужденные колебания в моделях плит возбуждались электромагнитным вибратором, установленным в центре плиты. При вынужденных колебаниях плавным изменением частоты тока питания вибратора моделей плит сообщался требуемый режим колебания, включая резонансный.

При статических испытаниях прогибы плит измерялись индикатором часового типа, установленным в центре испытательного стола.

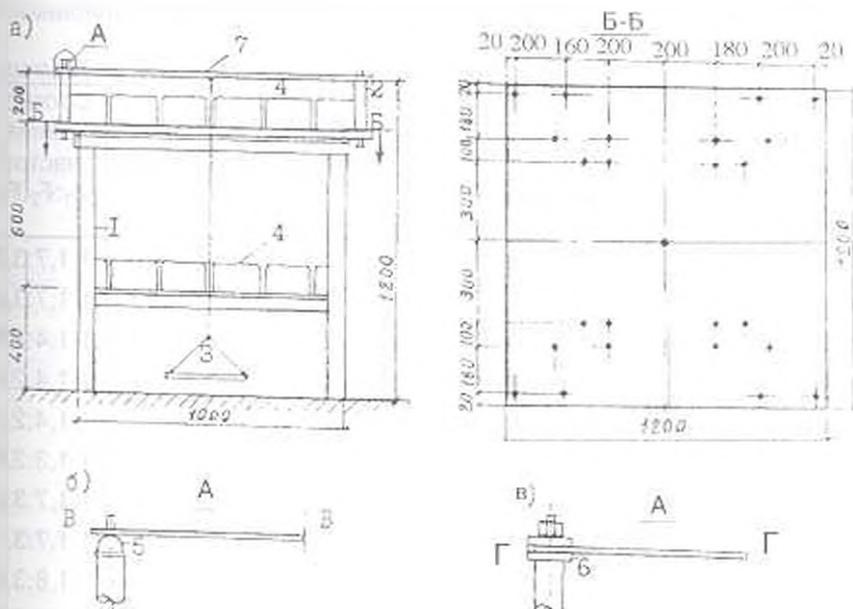


Рис.2 Установка для испытаний плит 1 - испытательный стол; 2 - опорная стойка; 3 - платформа; 4 - чугунные чушки; 5 - полушаровая опора; 6 - шайба; 7 - модель испытуемой плиты

Вертикальные перемещения плит при свободных и вынужденных колебаниях измерялись портативными вибродатчиками марки СВ-10ц, установленными в точках плит (рис. 3). Регистрация колебаний плит при динамических испытаниях проводилась многоканальной дистанционной аппаратурой с записью на фотобумагу осциллографа марки НО-441. Значения частот и ординат форм собственных колебаний плит были определены обработкой осциллограмм перемещений точек испытуемых плит. Декременты колебаний плит определялись по записям затухающих колебаний и резонансным кривым.

Приведены экспериментальные значения прогибов и частот колебаний плит (табл.1). Как видно, заземление опор плит привело

к увеличению их жесткости (уменьшению прогибов) в среднем на 20%. В соответствии с увеличением жесткости плит увеличиваются частоты их колебаний. При этом значения частот первых форм собственных колебаний плит, полученные при свободных и вынужденных резонансных колебаниях, хорошо сходятся, что свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Из приведенных в табл. 1 данных видно также, что наличие отверстия в плитах привело к увеличению их прогибов в среднем на 50%. При этом значения частот собственных колебаний плит изменялись незначительно. Это объясняется тем, что наличие отверстия в плите приводит к уменьшению как жесткости плиты, так и ее массы.

В последнем столбце табл. 1 приведены соотношения экспериментальных значений частот собственных колебаний плит, которые могут быть использованы при расчете круглых плит на сейсмическое воздействие с учетом первых трех форм колебаний.

Таблица 1

Модели плит	Прогиб, мм	Частота свободного колебания, Гц	Частоты по формам колебаний, Гц			Соотношение частот $F_1:F_2:F_3$
			I форма	II форма	III форма	
П-1ш	0,40	27,0	27,5	48,0	87,5	1:1,7:3,2
П-1з	0,32	31,2	30,0	51,5	90,0	1:1,7:3,0
П-2ш	0,18	55,5	54,0	75,0	151,0	1:1,4:2,8
П-2з	0,15	61,0	58,4	78,8	154,0	1:1,4:2,6
П-3ш	0,10	49,5	45,0	63,0	121,0	1:1,4:2,7
П-3з	0,08	54,0	51,0	68,3	127,0	1:1,3:2,5
П-4ш	0,58	27,3	27,0	46,5	86,5	1:1,7:3,2
П-4з	0,46	31,0	30,0	50,5	90,0	1:1,7:3,0
П-5ш	0,62	30,2	28,5	51,0	91,0	1:1,8:3,2
П-5з	0,50	32,5	31,5	54,0	92,5	1:1,7:2,9
П-6ш	0,65	30,5	28,0	50,0	89,0	1:1,8:3,2
П-6з	0,53	34,0	31,0	53,0	93,5	1:1,7:3,0

С целью проверки результатов теоретических решений, по данным [3], для испытуемых сплошных плит П-1ш, П-2ш, П-3ш с шарнирными точечными опорами были определены значения частот для первого тона. Сравнение этих частот с соответствующими им экспериментальными значениями (табл.2) показывает, что они отличаются друг от друга в среднем всего на 3,5%. Это подтверждает достоверность решения задачи колебания таточно опертых круглых плит [3].

Для построения форм колебаний плит измерялись вертикальные их перемещения в 65 точках (рис.3). По полученным осциллограммам перемещений этих точек были определены их

относительные вертикальные перемещения и построены первые три формы собственных колебаний плит.

Таблица 2

Модели плит	Значения частот основного тона колебаний, $\Gamma_{ц}$	
	теоретические	экспериментальные
П - 1ш	27,1	27,5
П - 2ш	57,6	54,0
П - 3ш	44,6	45,5

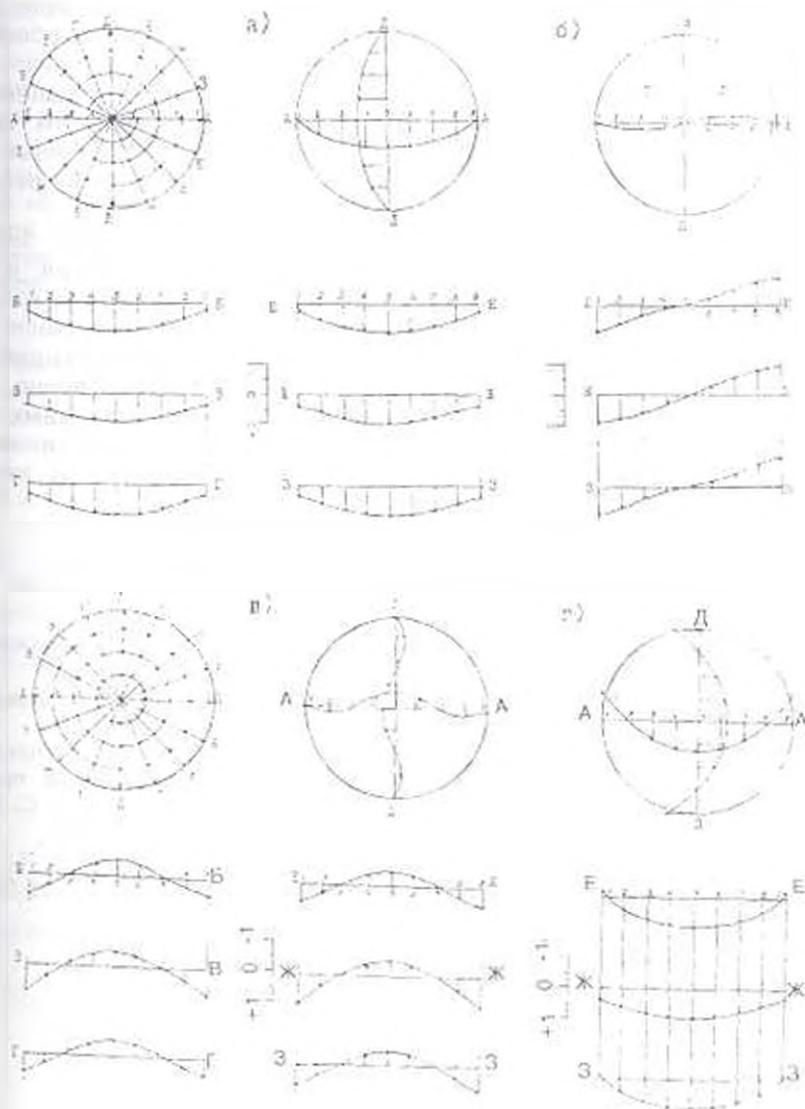


Рис. 3 Формы колебаний сплошных плит а, б, в - I, II, III формы колебаний плиты П-1; г - I форма колебаний плиты П-2

В качестве примера представлены первые три формы колебания плиты П-1ш и первая форма колебания плиты П-2ш (рис.3). Как видно, упругие линии относительных прогибов по диаметрам А-А и Д-Д, проходящие через точечные опоры плит, соответствуют I, II и III формам колебаний круглой плиты, закрепленной по внешнему контуру [4]. Формы колебаний по диаметрам, проходящим через свободные края плиты Б-Б, В-В и Г-Г, также выражают первые три формы колебаний, но с большими радиусами кривизны упругих линий прогибов, что вызвано перемещениями свободных краев плит. При рассмотрении форм колебаний плит в целом (рис. 3) можно заметить, что I форма колебания имеет вид полотого купола, опертого на четырех точках, а II и III формы колебания - более сложную форму оболочки с положительными и отрицательными кривизнами.

Декременты колебаний плит были определены по осциллограммам затухающих колебаний и резонансным кривым, построенным для первых трех форм колебаний. Полученные этими двумя способами значения декрементов колебаний оказались достаточно близкими.

Результаты испытаний плит показали, что значения декрементов колебаний зависят от условия опирания и форм колебания плит. Так, например, для первых трех форм колебаний значения декрементов затухания при шарнирном опирании плиты П-1ш получились равными 0,072, 0,047 и 0,038, а при защемленных опорах плиты П-1з - 0,065, 0,043 и 0,036 соответственно. Эти и аналогичные результаты, полученные для остальных плит, показывают, что с увеличением степени жесткости опор и повышением порядка форм колебания плит декременты затухания уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонткевич В.С. Собственные колебания пластинок и оболочек. - Киев: Наукова думка, 1964 - 288 с.
2. Корнев Б.Г. Некоторые задачи теории упругости и теплопроводности, решаемые в бесселевых функциях. - М. Наука, 1960. - 458 с.
3. Амбарцумян В.А., Абовян А.Г. Колебания круглой плиты при кинематическом возбуждении точечных опор // Инженерные проблемы строительной механики Межвуз. сб. науч. тр. / ЕрПИ. - 1990. - С. 80-84.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний. - М. Наука, 1968 - 559 с.

А.М. САРГСЯН

О ПОВЕДЕНИИ СВЯЗАННОГО ЭЛЕКТРОУПРУГОГО ПОЛЯ В ОДНОМ КЛАССЕ ЗАДАЧ ПРОДОЛЬНОГО СДВИГА ДЛЯ КУСОЧНО-ОДНОРОДНОГО ТЕЛА

Լինեարական էլեկտրաէլաստիկության գծային տեսության շահմաններում ինտեգրալով Է. Միլերի և Բ. Միլերի պայմաններում գտնվող կոորդատ կոորդատ համակարգում ստացված լինում է մարմնի եզրային պայմանների դասրում: Բացարդորով սեպի վրա գտնուող մեծիկային կորի շրջակայքում կոորդատները ուղղանկյունի ընդհանրացմանը վերաբերող լինումները:

В рамках линейной теории электроупругости исследовано напряженное состояние находящегося в условиях продольного сдвига кусочно-однородного клина при различных граничных условиях. Получены решения для асимптотического поведения характеристик связанных полей в окрестности края поверхности контакта составного клина.

Ил. 2. Библиогр.: 13 назв.

On the limits of linear theory of electroelasticity a stressed state of a piece-homogeneous wedge, which is in the condition of a longitudinal shear with various boundary conditions is considered. The solutions for asymptotic behavior of connected field characteristics in the vicinity of the contact surface edge in a composite wedge are obtained.

Ил. 2. Ref. 13.

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию особенностей электромеханических полей в однородных пьезоэлектрических средах, имеющих трещины или угловые точки [1-3]

В предлагаемой работе исследуется влияние связанности электрических и механических полей на поведение упругих напряжений и напряженности электрического поля в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного призматического тела, находящегося в условиях продольного сдвига. Составное призматическое тело с поперечным сечением в виде кусочно-однородного клина (рис.1) изготовлено из пьезоматериалов класса 4 мм, 6 мм и т.д. с различными электроупругими свойствами [4]. Главная ось

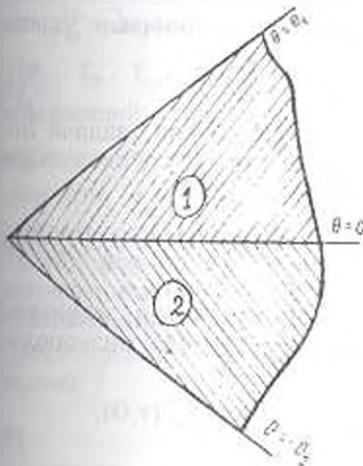


Рис. 1

симметрии пьезоматериала (ось z) перпендикулярна поперечному сечению составного тела и проходит через вершину клина. Так как в состоянии продольного сдвига на каждой грани составного призматического тела задается только по одному механическому и электрическому граничному условию, то возможно всего десять различных электромеханических граничных условий, которые вместе с системой уравнений

$$\Delta u_j = 0, \Delta \Phi_j = 0 \quad (j=1,2), \quad (1)$$

описывающей электроупругое равновесие [4], составляют десять граничных задач электроупругости для такого тела. В (1) $u_j(r, \theta)$ - упругое перемещение в направлении оси z ; $\Phi_j(r, \theta)$ - потенциал электростатического поля; Δ - двумерный оператор Лапласа в полярных координатах.

Отнесем к первой группе три крайние задачи, в которых электрические граничные условия заданы в виде потенциала

$$\Phi_1(r, \theta_1) = \psi_1(r), \quad \Phi_2(r, -\theta_2) = \psi_2(r), \quad (2)$$

а механические граничные условия следующие:

1) на гранях призматического тела заданы упругие перемещения:

$$u_1(r, \theta_1) = f_1(r), \quad u_2(r, -\theta_2) = f_2(r); \quad (3)$$

2) на гранях призматического тела заданы упругие напряжения

$$\tau_{\theta z}^{(1)}(r, \theta_1) = \varphi_1(r), \quad \tau_{\theta z}^{(2)}(r, -\theta_2) = \varphi_2(r); \quad (4)$$

3) на одной грани задано упругое перемещение, а на другой - упругое напряжение:

$$u_1(r, \theta_1) = f_1(r), \quad \tau_{\theta z}^{(2)}(r, -\theta_2) = \varphi_2(r). \quad (5)$$

Обозначим эти задачи через I-1, I-2, I-3 соответственно.

Ко второй группе отнесем те три задачи, в которых электрические граничные условия заданы в виде индукции:

$$D_n^{(1)}(r, \theta_1) = 0, \quad D_n^{(2)}(r, -\theta_2) = 0, \quad (6)$$

а механические условия те же, что и в первой группе (задачи II-1, II-2, II-3)

В третьей группе задач электрические граничные условия следующие:

$$\Phi_1(r, \theta_1) = \varphi_1(r), \quad D_n^{(2)}(r, -\theta_2) = 0, \quad (7)$$

а механические условия те же, что и в первой группе (задачи III-1, III-2, III-3). К этой группе отнесем еще одну задачу со следующими электромеханическими условиями (задача III-4):

$$u_1(r, \theta_1) = f_1(r), \quad D_n^{(1)}(r, \theta_1) = 0, \quad \tau_{\theta z}^{(2)}(r, -\theta_2) = \varphi_2(r), \quad (8)$$

$$\Phi_2(r, -\theta_2) = \psi_2(r).$$

Во всех перечисленных задачах принимается идеальный электромеханический контакт на поверхности раздела разнородных сред $\theta = 0$:

$$u_1(r, 0) = u_2(r, 0), \quad \Phi_1(r, 0) = \Phi_2(r, 0), \quad \tau_{\theta z}^{(1)}(r, 0) = \tau_{\theta z}^{(2)}(r, 0), \quad (9)$$

$$D_n^{(1)}(r, 0) = D_n^{(2)}(r, 0).$$

Необходимость изучения эффектов взаимодействия механических и электрических полей продиктована тем, что в современной технике широко применяются функциональные элементы, изготовленные из высокоэффективных пьезоматериалов [5]. Однако методы расчета таких элементов в одномерной постановке весьма приближенны, а предложенный в [6] численно-аналитический метод расчета в двумерной постановке, применительно к пьезоэлектрическим трансформаторам, не может обеспечить необходимую точность из-за невыделенности асимптотических поведений решений вблизи края поверхности контакта секции возбуждения и генераторной секции.

Краевые задачи первой группы решены методом интегрального преобразования Мелина в [7-8]. В [9] получено асимптотическое решение задачи III-4. Показано, что связанность механических и электрических полей оказывает сильное влияние на поведение упругих напряжений и напряженности электрического поля в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного тела.

В данной работе с помощью местного решения исследованы задачи второй и третьей групп. Получены решения для асимптотического поведения упругих напряжений и напряженности электрического поля в окрестности угловой точки составного клина и сопоставлены некоторые результаты с уже известными.

Методом разделения переменных для решения уравнений (1) получим

$$u(r, \theta) = r^\lambda (A_1 \cos \lambda \theta + B_1 \sin \lambda \theta), \quad (10)$$

$$\Phi_1(r, \theta) = r^\lambda (K_1 \cos \lambda \theta + D_1 \sin \lambda \theta).$$

где λ - произвольный параметр, A_1, B_1, K_1, D_1 - неизвестные постоянные.

Используя уравнения состояния

$$\tau_{ij}^{(j)} = c_{ij}^{(j)} \gamma_{ik}^{(j)} - e_{ij}^{(j)} E_k^{(j)}, \quad \tau_{ij}^{(j)} = c_{ij}^{(j)} \gamma_{ik}^{(j)} - \varepsilon_{ij}^{(j)} E_k^{(j)} \quad (j=1,2),$$

$$D_i^{(j)} = e_{ij}^{(j)} \gamma_{ik}^{(j)} + \varepsilon_{ij}^{(j)} E_k^{(j)}, \quad D_i^{(j)} = e_{ij}^{(j)} \gamma_{ik}^{(j)} + \varepsilon_{ij}^{(j)} E_k^{(j)} \quad (11)$$

$$\gamma_{ij}^{(j)} = \partial u_j / \partial x_i, \quad \gamma_{ij}^{(j)} = \partial u_j / \partial x_i, \quad E_i^{(j)} = -\partial \Phi_j / \partial x_i, \quad E_i^{(j)} = -\partial \Phi_j / \partial x_i$$

(где $\tau_{ij}, \tau_{ij}, \gamma_{ij}, \gamma_{ij}$ - компоненты упругих напряжений и деформаций; D_i, D_i, E_i, E_i - компоненты векторов электрической индукции и напряженности электрического поля; c_{ij} - модуль упругости, e_{ij} - пьезомодуль; ε - диэлектрическая проницаемость) и удовлетворяя гранично-контактным условиям (3)-(6), (9) и (3)-(5), (7), (9), для определения неизвестных постоянных в каждой задаче получаем систему линейных уравнений. Из условия существования нетривиальных решений этих систем вытекают следующие уравнения относительно λ (индекс при Δ означает группу и номер данной задачи):

$$\Delta_{I,1} = (S_1 - y_1 S_1)(S_1 - y_2 S_1) = 0, \quad (12)$$

$$\Delta_{II,2} = (S_1 - y_1 S_1)(S_1 + y_2 S_1) = 0, \quad (13)$$

$$\Delta_{III,3} = (C_1 - y_1 C_1)(C_1 - y_2 C_1) = 0, \quad (14)$$

где $S_{\pm} = \sin \lambda(\theta_1 \pm \theta_2)$, $C_{\pm} = \cos \lambda(\theta_1 \pm \theta_2)$, $a_{\pm} = a \pm 1$, $\varepsilon_{\pm} = \varepsilon \pm 1$,
 $e_{\pm} = e \pm 1$, $a_{\pm} = e_{\pm}^{(1)} e_{\pm}^{(2)} / a_{\pm} \varepsilon_{\pm}$, $a = e_{\pm}^{(1)} / e_{\pm}^{(2)}$, $\varepsilon = \varepsilon_{\pm} / \varepsilon_{\pm}$, $e = e_{\pm}^{(1)} / e_{\pm}^{(2)}$,
 y_1 и y_2 - корни квадратного уравнения

$$(a \varepsilon_+ + a_0 e^2) y^2 + (a_1 \varepsilon_- + a_0 \varepsilon_+ - 2a_0 e_+ e_-) y + (a_1 \varepsilon_- + a_0 e_-^2) = 0; \quad (15)$$

$$\Delta_{I_1} = (a_1 S_+ - a_1 S_-)(\delta_1 S_+ - \delta_1 S_-) + \beta_{12}(C_+ - C_-)^2 = 0,$$

$$\Delta_{II_1} = (\varepsilon_+ S_+ - \varepsilon_+ S_-)(\bar{\delta}_1 S_+ - \bar{\delta}_1 S_-) + \beta_{11}(C_+ - C_-)^2 = 0, \quad (16)$$

где $\delta = a(1 + a_0)/(a\varepsilon + a_0 e^2)$, $\bar{\delta} = \varepsilon(1 + a_0)/(a\varepsilon + a_0 e^2)$, $\delta_{\pm} = \delta \pm 1$,

$$\beta_{11} = a_0(e - a)^2 / (1 + a_0), \quad \beta_{12} = a_0(e - \varepsilon)^2 / (1 + a_0), \quad \bar{\delta}_{\pm} = \bar{\delta} \pm 1;$$

$$\Delta_{I_2} = (\zeta_+ S_+ + \zeta_+ S_-)(C_+ + C_-) + \beta_{13}(v_+ S_+ + v_+ S_-)(C_+ - C_-) = 0, \quad (17)$$

$$\Delta_{II_2} = (\bar{\zeta}_+ S_+ + \bar{\zeta}_+ S_-)(C_+ + C_-) + \beta_{14}(\bar{v}_+ S_+ + \bar{v}_+ S_-)(C_+ - C_-) = 0, \quad (18)$$

где $\zeta = 1/\delta$, $v = a_0 a \varepsilon + a_0 e^2 / (a^2 + a_0 e(2a - e))$, $\beta_{13} = a \zeta / v$,

$$\bar{\zeta} = 1/\bar{\delta}, \quad \bar{v} = \varepsilon(a\varepsilon + a_0 e^2) / (\varepsilon^2 + a_0 e(2\varepsilon - e)), \quad \beta_{14} = \varepsilon \bar{\zeta} / \bar{v}.$$

$$\Delta_{III_1} = (a_1 S_+ - a_1 S_-)(\bar{\mu} C_+ - \bar{\mu} C_-) + \beta_{15}(e_+ S_+ + e_+ S_-)(C_+ - C_-) = 0, \quad (19)$$

$$\Delta_{III_2} = (\varepsilon_+ S_+ - \varepsilon_+ S_-)(\mu C_+ - \mu C_-) + \beta_{16}(e_- S_+ - e_- S_-)(C_+ - C_-) = 0, \quad (20)$$

где $\mu = (a + a_0 e) / (1 + a_0)$, $\bar{\mu} = (\varepsilon + a_0 e) / (1 + a_0)$, $\beta_{15} = a_0(e - \varepsilon) / (1 + a_0)$,

$$\beta_{16} = a_0(e - a) / (1 + a_0), \quad \mu_{\pm} = \mu \pm 1, \quad \bar{\mu}_{\pm} = \bar{\mu} \pm 1.$$

Для сравнения здесь приведены также соответствующие уравнения задач первой группы [7-8]. При конкретных значениях параметров θ_1 , a , ε , e и a_0 уравнения (12)-(20) имеют бесконечное множество физически допустимых корней λ_n ($n = 1, 2, 3, \dots$), которые могут быть пронумерованы по порядку возрастания действительных частей ($0 < \text{Re} \lambda_1 < \text{Re} \lambda_2 < \dots$) [10].

Упругое перемещение и потенциал электростатического поля в окрестности края поверхности контакта представляются в виде суммы

$$u(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{n-1} (A_{nn} \cos \lambda_n \theta + B_{nn} \sin \lambda_n \theta), \quad (21)$$

$$\Phi(r, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} r^{n-1} (K_{nn} \cos \lambda_n \theta + D_{nn} \sin \lambda_n \theta).$$

(где суммирование распространяется на все положительные корни уравнений (12) - (20)).

На основании (11) и (21) заключаем, что в окрестности края поверхности контакта характеристики электроупругого поля (упругие напряжения и компоненты вектора электрической индукции) обрываются в нуль при $\text{Re} \lambda_n > 1$ (малонапряженное состояние) и в бесконечность при $\text{Re} \lambda_n < 1$ (концентрационное состояние). В случае $\text{Re} \lambda_n = 1$ характеристики электроупругого поля в окрестности угловой точки конечны и вообще отличны от нуля (предельное состояние). Следовательно, исследование поведения электромеханического поля у края поверхности контакта кусочно-

однородного тела приводится к отысканию корней с наименьшей действительной частью уравнений (12)-(20) в зависимости от параметров θ_1 , α , ε , e и a_0 .

Прежде всего отметим, что при отсутствии пьезоэффекта ($\varepsilon_{ij}^p = 0$) рассмотренные выше связанные задачи электроупругости распадутся на две независимые задачи - упругую и электростатическую; при этом каждое уравнение из (12)-(20) принимает вид $\Delta_{y_n} \Delta_z = 0$, где $\Delta_{y_n} = 0$ определяет поведение упругих напряжений в соответствующей механической задаче, а $\Delta_z = 0$ - поведение компонентов вектора электрической индукции в электростатической задаче [10, 11].

Полагая в уравнениях (12)-(20) $\alpha = \varepsilon = e = 1$ (случай однородного тела), легко показать, что во всех задачах действительная часть первого корня λ_1 не зависит от материальных констант пьезоэлектрической среды и совпадает с таковой для случая изотропного линейно-упругого тела. Между тем, в [12] при рассмотрении этого же вопроса для задачи III-4 был получен неверный результат, приведший к противоположному заключению. Правильный результат для этого частного случая был получен вкратце в [3]. Из (12)-(20) следует также, что уравнение (13) получается из (12) заменой y_1 на $-y_1$, а уравнения (16), (18) и (20) - из (15), (17) и (19) соответственно заменой α на ε .

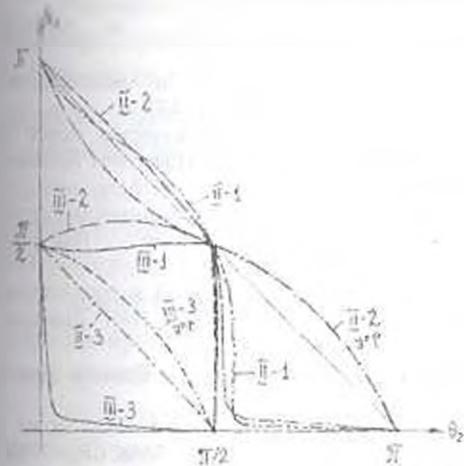


Рис. 2

С целью выявления основных закономерностей возникновения малонапряженного состояния или сильной концентрации характеристик электроупругого поля в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного призматического тела, изготовленного из пьезоматериалов ЦТС-4 и CdS [13], на ЭВМ определены первые корни уравнений (13), (14), (16), (18)-(20) в зависимости от углов растворов однородных клиньев θ_1 и

θ_2 . Из условия $\text{Re} \lambda_1 = 1$ на плоскости θ_1, θ_2 построены предельные кривые (рис. 2), разделяющие области малонапряженности ($\text{Re} \lambda_1 > 1$) и концентрационного состояния ($\text{Re} \lambda_1 < 1$). Точки области малонапряженности и начало координат лежат на одной стороне соответствующей предельной кривой [10]. Для сравнения приведены также предельные кривые электроупругих напряжений для уравнений (13) и (14) в случае отсутствия пьезоэффекта (кривые II-2упр и III-3упр) (рис. 2). Из приведенных кривых следует, что связанность

электрических и механических полей оказывает существенное влияние на размеры области малонапряженности и сильной концентрации и дает возможность регулирования поведения характеристик электроупругого поля в окрестности края поверхности контакта составного тела в нужном направлении.

Таким образом, получены решения для асимптотического поведения характеристик связанных полей в окрестности угловой точки (21), которые могут быть использованы при построении более точных аналитических и численных решений. Область возможных применений результатов данной работы и предшествующих исследований достаточно обширна [4-7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Половинкина И.Б., Улитко А.Ф. К теории равновесия пьезоэлектрических тел с трещинами // Тепловые напряжения в элементах конструкции. - Киев: Наукова думка, 1978. - Вып. 18. - С. 10-17.
2. Shindo Y., Ozawa E. and Novacki J.P. Singular stress and electric fields of a cracked piezoelectric slip // Intern. J. Appl. Electromagnetics in Materials. - 1990. - Vol. 1. - No. 1. - P. 77-87.
3. Белубекян М.В., Галлчян П.В. Определение особенности связанного электроупругого поля в угловой точке пьезоэлектрического тела в виде двугранного угла при продольном сдвиге // Механика твердого тела. - 1994. - № 3. - С. 102-108.
4. Партон В.З., Кудрявцев Б.А. Электромагнитупругость пьезоэлектрических и электропроводных тел. - М.: Наука, 1988. - 472 с.
5. Лавриненко В.В. Пьезоэлектрические трансформаторы. - М.: Энергия, 1975. - 112 с.
6. Кулиев Ю.Н. и др. Основы колебаний однослойных и многослойных пьезокерамических трансформаторов. - Баку: ЭЛМ, 1982. - 472 с.
7. Саргсян А.М., Хачикян А.С. Влияние связанности физических полей на поведение их характеристик в кусочно-однородном теле // Изв. НАН Армении. Сер. ТН. - 1995. - Т. 48. - № 3. - С. 15-23.
8. Саргсян А.М. О влиянии связанности электрических и механических полей на поведение их характеристик в кусочно-однородном теле // Изв. НАН Армении. Механика. - 1997. - № 3-4. - С. 80-85.
9. Саргсян А.М., Хачикян А.С. Об особенностях напряжений в двух задачах электроупругости для кусочно-однородного тела // Изв. НАН Армении. Механика. - 1999. - № 1. - С. 40-45.
10. Чобанян К.С. Напряжения в составных упругих телах. - Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1987. - 338 с.
11. Саргсян А.М., Хачикян А.С. Поведение некоторых физических полей в окрестности контакта кусочно-однородного тела // Докл. АН АрмССР. - 1988. - № 4. - С. 161-165.
12. Белубекян М.В., Галлчян П.В. Об особенностях электроупругого поля в окрестности угловой точки при антиплоской задаче // Инженерно-физические проблемы новой техники: Теа. докл. - М., 1992. - С. 60-61.
13. Акустические кристаллы / Под ред. М.П. Шаскольской. - М.: Наука, 1982. - 632 с.

ՀՏՂ 624.01

ՇԻՆԱՐԱՐԱԿԱՆ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ

Ռ.Ս. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա.Կ. ԶԱՐԱՄՅԱՆ, Շ.Ա. ՊԵՏՐՈՍ
Կ.Տ. ԶԱՐԱՄՅԱՆ

**ՇԵՆՔԵՐԻ ՔԱՐԵ ՍԱԼԵՐՈՎ ԵՐԵՄՊԱՏՎԱԾ
ԵՐԿԱԹՐԵՏՈՆԵ ԱՐՏԱՔԻՆ ՊԱՏԵՐԻ ԶԵՐՄԱԽՈՆԱՎԱՅԻՆ
ԼԱՐՎԱԾԱԳ-ԵՖՈՐՄԱՅԻՆ ՎԻՃԱԿԸ**

Քերված են շենքերի՝ քարե ապիքով կրեպատված պլուսթին երկաթբետոն, պատեղի և զինափոխված լարվածադեֆորմացիոն վիճակի հետազոտությունների արդյունքները:

Представлены результаты исследований термовлажностного напряженно-деформированного состояния облицовочных железобетонных наружных стен зданий.

Ил. 2. Библиогр.: 4 назв.

Test results of thermo-humid stressed deformation state for stone facing the reinforced concrete exterior building walls are presented.

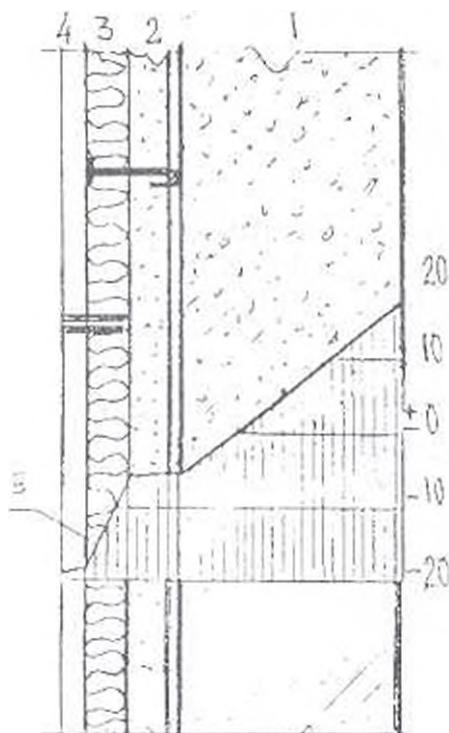
Ил. 2. Ref. 4.

Հայաստանի կլիմայական պայմանները (ցուրտ ձմեռային եւ շոգ ամառային) կառուցագետներին, ջերմաֆիզիկներին ու ճարտարագետներին կանգնեցրել են բարդ ու խիստ կարեւոր տեխնիկատնտեսական խնդրի առջեւ, որի լուծման գիտատեխնիկական շրջանակները բավականին լայնածավալ են եւ միմյուսից են մի շարք ջերմաֆիզիկական, կլիմայական եւ կառուցագիտական մտահղացումներ, որոնց փոխկապվածությունները ճշտորեն պարզաբանելու շնորհիվ է միայն հնարավոր ստեղծել շենքերի պատող կոնստրուկցիաների ջեղմաարդյունավետ լուծումներ:

Հայտնի են շենքերի արտաքին պատերի բազմաթիվ ջերմաարդյունավետ կառուցվածքային լուծումներ, որոնցից մի քանիսը այսօր արտոնագրված են որպես գյուտեր համապատասխան հեղինակային վկայականներով [1, 2, 3]:

Հողվածը նվիրված է շահագործման մեջ գտնվող արտաքին պատերից ջերմային կորուստների նվազեցման եւ այդ պատերի երկարակեցության քարձրացման կարեւոր խնդրի լուծմանը:

Առաջարկվում է պատի նոր տեխնիկական լուծում, որի էությունը հետեւյալն է. շահագործվող շենքի արտաքին պատի մակերեսային ամրակցվում են քարե սալից եւ ջերմամեկուսիչ շերտից պատրաստված «սենդվիչներ», որոնց ելուստները թաղվում են ամրանավորված ցեմենտավազային շաղախի միջանկյալ շերտի մեջ: Ընդ որում, շաղախի շերտի ամրանի ցանցն էլ իր հերթին մեխվում է շահագործվող պատին (նկ. 1):



Նկ. 1. Լրացուցիչ ջերմամեկուսիչ շերտով պատած արտաքին պատի ջերմաստիճանների փոփոխման էպյուրը ըստ հաստության:

1 - շահագործվող շենքի երկաթբետոնե պատ, 2 - միջանկյալ ցեմենտաավազային շաղախի շերտ, 3 - լրացուցիչ ջերմամեկուսիչ շերտ, 4 - տուֆի երեսպատման շերտ, 5 - ջերմաստիճանների փոփոխման էպյուր

Ըստ նախագծման նոր նորմերի, շահագործվող շենքի արտաքին պատերի ջերմափոխանցման դիմադրությունը մեծացնող վերջը նշված կառուցվածքային եւ տեխնոլոգիական առաջադրված ջերմաֆիզիկական հաշվարկը հանգում է պատին ամրակցվող ջերմամեկուսիչ 3 շերտի δ_3 հաստության ընտրմանն ըստ նորմերի նորովի ձեւավորված հետեւյալ արտահայտության

$$\delta_3 = \left[k \frac{l_1 - l_{\text{տ}}}{\alpha_{\text{տ}} \Delta t} - \left(\frac{\alpha_{\text{տ}} - \alpha_{\text{տ}}}{\alpha_{\text{տ}} \alpha_{\text{տ}}} \right) - \left(\frac{\delta_1}{\alpha_1} + \frac{\delta_2}{\alpha_2} + \frac{\delta_3}{\alpha_3} \right) \right], \quad (1)$$

l_1 - ն եւ $l_{\text{տ}}$ - ն համապատասխանաբար ներսի ու դրսի օդի նորմատիվ ջերմաստիճաններն են (թիվ 1 բանաձեւի անդամների անվանումները կարող են նույնպիսի շատ մեծ տեղ զբաղեցնել, այդ իսկ պատճառով բերված են նշված պարամետրերի հակիրճ անունները), α_1 - ն եւ $\alpha_{\text{տ}}$ - ն համապատասխանաբար պատի ներսի եւ դրսի մակերեսային ջերմատվության գործակիցներն են, Δt - ն ներսի օդի եւ պատող կառուցվածքի ներքին մակերեսային ջերմաստիճանների նորմավորվող տարբերությունն է, δ_1 -ը, δ_2 -ը, δ_3 -ը, δ_1 -ը համապատասխանաբար պատի 1, շաղախի 2, ջերմամեկուսիչ 3 ու երեսպատման 4 շերտի հաստություններն են; λ_1 -ը, λ_2 -ը, λ_3 -ը, λ_4 -ը համապատասխանաբար թեթեւ երկաթբետոնե պատի, ցեմենտ-ավազային շաղախի, ջերմամեկուսիչի եւ տուֆի երեսպատման շերտի

ընթացումը համարվում է շրջանաձև, որի շառավիղը R - ն պատի տնտեսապես ընտրված հաստության շրջանաձևի շառավիղի հավասար է շառավիղի միջնագծային նորմերի, բնակելի տների տվյալ տիպի արտաքին պատերի շրջանաձևի շառավիղի հավասարումը անհրաժեշտ է մեծացնել առնվազն 2.8 անգամ ($K=2.8$):

Բերված կոնստրուկտիվ եւ շրջանաձևի կազմակերպման պարամետրերի թվային արժեքները բանաձևի մեջ տեղադրելուց հետո կստանանք պենոպլաստե լրացուցիչ շրջանաձևի շառավիղի հաստությունը $\delta_3 = 0,06$ մ:

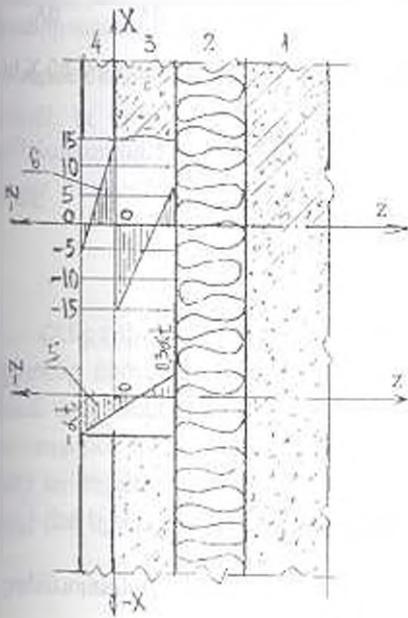
Շահագործվող շենքերի արտաքին պատերի դրսի կողմից 0,06 մ հաստությամբ լրացուցիչ շրջանաձևի շառավիղի (եւ այլ կոնստրուկտիվ շրջանաձևի) ավելացումը հանգեցնում է վերջիններիս շրջանաձևի կորուստների զգալի նվազեցմանը:

Տվյալ Q կորուստների կրճատման քանակական գնահատականը կարելի է տալ հետևյալ հայտնի արտահայտության օգնությամբ

$$Q = \frac{t_{\text{in}} - t_{\text{out}}}{\delta_3} \lambda_3 \quad (2)$$

որտեղ t_{in} - ն շենքի ջերմության ժամանակահատվածում արտաքին ճիւղի միջին ջերմաստիճանն է:

Դետեյաբար, պատի մեկ քառ. մ մակերեսից մեկ ժամվա ընթացքում ջերմության կորուստի խնայողությունը $Q = 15$ կՎտ (կամ 0,015 կՎտ), իսկ շենքի տարեկան ջերմության ժամանակահատվածի ընթացքում $24 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 0,015 = 46,8$ կՎտ: Իսկ մոտավորապես 30 միլիոն քառ. մ ընդհանուր արտաքին մակերես ունեցող Հայաստանի բնակելի ֆոնդի տների պատերից շրջանաձև կորուստների նվազեցումը կհավասարվի 1400 միլիոն կՎտ:



Նկ. 2. Սիջանկյալ շրջանաձևի շենքով պատի երեսպատման եւ դրսի երկաթբետոնե շենքերի նորմալ ջերմային լարումների եւ հարաբերական դեֆորմացիաների էպյուրները:

- 1 - ներսի երկաթբետոնե շենք, 2 - ջերմամեկուսիչ շենք, 3 - դրսի երկաթբետոնե շենք, 4 - երեսպատման շենք, 5 - հարաբերական դեֆորմացիաների էպյուր, 6 - նորմալ ջերմային լարում-ների էպյուր

Շահագործվող շենքերի արտաքին պատերը լրացուցիչ ջերմամեկուսիչ շերտով պատելու շնորհիվ առաջացած ջերմաարդյունավետությունը կարելի է գնահատել նկ. 2-ում բերված ջերմաստիճանների բաշխման կորի օգնությամբ: Կորից երևում է, որ պատի ներսի մակերեսույթի ջերմաստիճանը բարձրացել է և հասել է 16 °C, այսինքն, պատի ջերմավոխանցման դիմադրությունը, լրացուցիչ ջերմամեկուսիչ շերտի շնորհիվ, մեծացել է մոտավորապես 3 անգամ:

Շենքերի ջերմամեկուսիչ երկաթբետոնե և քարե երեսպատման շերտերով արտաքին պատերի երկարակեցության մեծացման հաշվարկային մեթոդի կատարելագործման համար անհրաժեշտ է դիտարկել 3 և 4 շերտերի (նկ. 2) լարվածադեֆորմացիոն վիճակը $T = \varphi(x, z)$ ջերմային և $\omega = f(x, z)$ խոնավային դաշտերի ազդեցության ներքո:

$$\begin{aligned} \sigma_{\alpha T} &= E_{\alpha} \left(\frac{du_T}{dx} - z \frac{d^2 W_T}{dx^2} - \alpha_{\alpha} T \right), \\ \sigma_{\beta \omega} &= E_{\beta} \left(\frac{du_{\omega}}{dx} - z \frac{d^2 W_{\omega}}{dx^2} - \beta_{\beta} \omega \right), \\ \sigma_{\alpha T} &= E_{\alpha} \left(\frac{du_T}{dx} - z \frac{d^2 W_T}{dx^2} - \beta_{\alpha} T \right), \\ \sigma_{\beta \omega} &= E_{\beta} \left(\frac{du_{\omega}}{dx} - z \frac{d^2 W_{\omega}}{dx^2} - \beta_{\beta} \omega \right) \end{aligned} \quad (3)$$

որտեղ E_{α} - և E_{β} - ն երեսպատման և բետոնի շերտերի առաձգականության սողուլներն են, α_{α} - և β_{α} - ն երեսպատման և բետոնի շերտերի զծային ընդարձակման և կծկման դեֆորմացիաներին են, $\frac{du_T}{dx}$ -ը, $\frac{du_{\omega}}{dx}$ -ը, $\frac{d^2 W_T}{dx^2}$ -ը, $\frac{d^2 W_{\omega}}{dx^2}$ -ը ջերմային և խոնավային հարաբերական դեֆորմացիաներն են X և Z առանցքների ուղղությամբ:

$$\begin{aligned} \frac{du_T}{dx} &= \alpha_{\alpha} E_{\alpha} \frac{Df_{\alpha T} + CF_{\alpha T}}{D_1} + \alpha_{\beta} E_{\beta} \frac{Df_{\beta T} + CF_{\beta T}}{D_1}, \\ \frac{du_{\omega}}{dx} &= \beta_{\beta} E_{\beta} \frac{Df_{\beta \omega} + CF_{\beta \omega}}{D_1} + \beta_{\alpha} E_{\alpha} \frac{Df_{\alpha \omega} + CF_{\alpha \omega}}{D_1}, \\ \frac{d^2 W_T}{dx^2} &= -\alpha_{\alpha} E_{\alpha} \frac{Cf_{\alpha T} + \beta F_{\alpha T}}{D_1} + \alpha_{\beta} E_{\beta} \frac{Cf_{\beta T} + \beta F_{\beta T}}{D_1}, \\ \frac{d^2 W_{\omega}}{dx^2} &= -\beta_{\beta} E_{\beta} \frac{Cf_{\beta \omega} + \beta F_{\beta \omega}}{D_1} + \beta_{\alpha} E_{\alpha} \frac{Cf_{\alpha \omega} + \beta F_{\alpha \omega}}{D_1} \end{aligned} \quad (4)$$

Թիվ (4) արտահայտություններում արված են հետևյալ նշանալուծները.

$$B = E_0 h_0 + E_b h_b, \quad C = 0.5(E_0 h_0^2 - E_b h_b^2),$$

$$D = \frac{1}{3}(E_0 h_0^3 + E_b h_b^3), \quad D_1 = BD - C^2. \quad (5)$$

$$f_{n1} = \int_{-h_n}^0 T dz, \quad f_{n0} = \int_{-h_n}^0 \omega dz, \quad f_{b1} = \int_0^{h_b} T dz, \quad f_{b0} = \int_0^{h_b} \omega dz. \quad (6)$$

$$F_{nT} = \int_{-h_n}^0 z T dz, \quad F_{n\omega} = \int_{-h_n}^0 z \omega dz, \quad F_{bT} = \int_0^{h_b} z T dz, \quad F_{b\omega} = \int_0^{h_b} z \omega dz;$$

Հենքերի արտաքին պատերի երեսպատման եւ երկաթբետոնե շերտերի համան մակերեսում ջերմային եւ խոնավային դաշտերի աղդեցության տակ առաջացող լարվածադեֆորմացիոն վիճակի օրինաչափությունների փոփոխությունները կախված շերտերի երկրաչափական եւ ֆիզիկամեխանիկական բնութագրերից, կարելի է արտահայտել հետեւյալ տեսական բանաձեւերի օգնությամբ [4].

$$\tau_1 = \frac{(\alpha_b - \alpha_n) T \sqrt{\beta}}{\sqrt{E_b h_b + E_0 h_0}} \frac{\operatorname{sh} \gamma x}{\operatorname{ch} \gamma l} \sqrt{E_b h_b E_0 h_0} \quad (7)$$

$$\tau_2 = \frac{(\beta_b - \beta_n) \omega \sqrt{\beta}}{\sqrt{E_b h_b + E_0 h_0}} \frac{\operatorname{sh} \gamma x}{\operatorname{ch} \gamma l} \sqrt{E_b h_b E_0 h_0}$$

որտեղ α_n - ն, α_b - ն, β_n - ն, β_b - ն երեսպատման եւ բետոնե շերտերի գծային, ջերմային եւ կծկման գործակիցներն են, E_n - ն, E_b - ն երեսպատման եւ բետոնե շերտերի առածգականության մոդուլներն են (մգ.ս), h_n - ն, h_b - ն, l - ն բետոնի եւ երեսպատման շերտերի հաստություններն ու երկարություններ են (սմ), β - ն բետոնի եւ երեսպատման համան շերտի դեֆորմացիաները բնութագրող համեմատականության գործակից է, γ - ն պարամետր է, որն ունի հետեւյալ տեսքը

$$\gamma = \sqrt{\beta \frac{BD - E_b E_0 h_b h_n (h_b + h_n)^2}{DE_b E_0 h_b h_n}} \quad (8)$$

Հենքերի երեսպատված շերտերով արտաքին պատերի երկարակեցությունը մեծացնելու ուպատակով իրականացված հետազոտությունների հիման վրա հանգում ենք այն կարելի է երկարացությանը, որ ինչքան փոքր հաստություն եւ երկարություն ունենան երեսպատման շերտերը եւ ինչքան ցածր արժեքներ ունենան նրանց առածգականության մոդուլները, այնքան ավելի մեծ կլինի նրանց երկարակեցությունը:

- 1 А.с. 897985 СССР, МКл^д E04B1/78. Теплоизоляционная панель / М.Г. Карагезян, К.О. Карамян, А.Е. Гевондян (СССР). - № 2898954/29-33; Заявлено 25.03.80, Оpubл. 15.01.82, Бюл. № 2. - 3 с.
2. А.с. 520435 МКл^д E04B1/78. Горизонтальный стык наружных стеновых панелей с защитными экранами / К.О. Карамян и др. (СССР). - № 2028241/29-33; Заявлено 27.05.74, Оpubл. 15.03.76., Бюл. № 7. - 3 с.
- 3 А.с. 1270250 СССР, SU 1270250 A1E04B1/76. Теплоизоляционная панель / К.О. Карамян, М.З. Симонов и др. (СССР). - № 3554575/29-33; Заявлено 25.03.80, Оpubл. 15.11.86, Бюл. № 42. - 3 с.
4. Карамян К.О. Температурно-влажностные деформации и напряжения ограждающих конструкций зданий . - Ереван: Айастан, 1976. - 306 с

ԵրԱՏԻ

21.10.1997

Изд. НАН и ГНУ Армения (сер. ТН), т. LI, № 2, 1999, с. 250-254

УДК 624.131

ГИДРАВЛИКА

В.С. САРКИСЯН, С.В. САРКИСЯН

ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ УРОВНЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ОТКАЧКЕ ВОДЫ ИЗ ОДИНОЧНЫХ СКВАЖИН

Դիտարկվում է ստորերկրյա ջրերի ճնշումային-ուճնշումային շարժումը, երբ քրտնային քրտնաբերվում է առանձին կորանակըրթիկից՝ հաստատուն էլքրոմ: Առաջվում են լուծումներ որոշ երկարափորայրյան են ապիս կանխաբարշտվելու քրի կորիզակի իջկումը (կամ ելքի վաղիվադրյունը) ժամանակի ցանկությունը պահին, ինչպես նաև ճնշումային ուճնշումային սահմանի կողոյիևանները: Լուծումներից օգտվելը հնչուացներու նշատուկով կառուրվում է գրաֆիկ:

Рассматриваются вопросы напорно-безнапорного движения при откачке подземных вод (ПВ) с постоянным расходом или постоянным понижением уровня. Получены аналитические решения, позволяющие оппеделить изменение уровня ПВ (или расход воды) в любой точке водоносного пласта, а также положение границы раздела.

Ил. 2. Библиогр.: 2 назв.

Head-headless pressure movement problems in underwater pumping with fixed discharge or fixed decline of water level are considered. Analytical solutions allowing to specify phreatic level change (or water discharge) at any water-bearing stratum point as well as interface position are obtained.

1 - 2. Ref 2.

Как известно, в орошаемых и осушаемых землях большое распространение имеют двухслойные строения грунтов. Причем верхний слой в основном малопроницаемый (суглинисто-супесчаные, глинистые грунты), а нижний - относительно сильнопроницаемый (песчаные грунты).

Для поддержания уровня грунтовых вод на некоторой оптимальной глубине (для орошаемых земель это глубина, исключая вторичное засоление земель, а для осушаемых - глубина, позволяющая произвести определенные сельскохозяйственные работы) в зависимости от природных условий устраиваются горизонтальный, вертикальный или комбинированный дренажи, а в некоторых случаях - одновременно горизонтальный и вертикальный, или горизонтальный и комбинированный дренажи [2]. Вертикальный и комбинированный дренажи, как правило, целесообразно сооружать в неоднородных слоистых грунтах, когда имеется подпитка подземных вод из нижележащих, более проницаемых напорных горизонтов в верхние пласты (безнапорные или с меньшим напором). Разумным сочетанием различных видов дренажей можно обеспечить более или менее равномерное понижение уровня грунтовых вод, т.е. создать благоприятные условия для высоких урожаев.

Регулирование режима подземных вод приводит к изменению напряженно-деформированного состояния грунтов. При понижении уровня подземных вод происходит уплотнение грунтов в осушаемой части, что приводит к их оседанию. Если на данном участке имеются здания и сооружения, а также инженерные коммуникации, в том числе и различные мелиоративные системы, то возникает опасность их разрушения из-за возникающих неравномерных осадков.

Во избежание этих негативных явлений необходимо наряду с проектированием различных дренажей производить прогнозные расчеты по определению напряженно-деформированного состояния грунтов и найти возможные деформации сооружений при понижении уровня грунтовых вод на ту или иную высоту. Однако в настоящее время такие расчеты проектными организациями не производятся из-за сложности и недостаточной изученности этого вопроса.

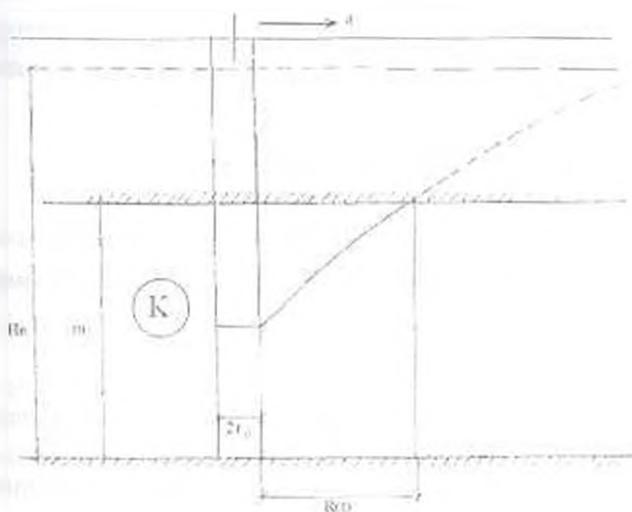


Рис. 1. Схема к расчету осадков с учетом напорно-безнапорного режима

В связи с интенсивной сосредоточенной эксплуатацией подземных вод во многих местах наблюдается резкое снижение уровня воды у водозаборных скважин. Для отбора заданного расхода воды возникает необходимость откачки с большими понижениями уровня подземных вод в скважинах. Иногда эти понижения превышают напоры воды над кровлей пласта. В таких случаях у водозаборных скважин в зоне радиусом $r \leq R$ возникает безнапорное движение подземных вод, а в зоне $r > R$ это движение носит по-прежнему напорный характер.

Решим задачу о притоке подземных вод к скважинам (рис. 1) с учетом образования у водозаборов безнапорной зоны радиусом $r = R(t)$, а в зоне $r > R(t)$ фильтрация носит напорный характер.

В начальный период эксплуатации скважин $t \leq t_0$, когда понижение уровня подземных вод в водозаборах составляет $S_0 < H_0 - m$ (H_0 - первоначальный напор, m - мощность напорного пласта), в любой момент времени t и в любой точке водоносного пласта с координатой r оно определяется по формуле [1]

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \left[-Ei \left(-\frac{r^2}{4a_2 t} \right) + \xi \right], \quad (1)$$

$$-Ei(-x) = \int_0^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du,$$

где Q - дебит скважины, $T = km$ - проводимость пласта, k - коэффициент фильтрации; a_2 - коэффициент пьезопроводности; $\xi(H_0 - m, t/r)$ - безразмерное сопротивление, обусловленное несовершенством скважины по степени и характеру вскрытия пласта и определяемое по таблицам и графикам [1].

Принимая в (1) $r = r_0$, $S = S_0 = H_0 - m$, найдем продолжительность первой стадии фильтрации ($t = t_0$), после которой вокруг скважины начнет образовываться зона безнапорного движения. В результате получим:

$$t_0 = \frac{r_0^2}{4a_2} \left\{ \text{Arc} \left[-Ei \left(-\frac{4\pi km S_0}{Q} \right) - \xi \right] \right\}^{-1}, \quad (2)$$

где S_0 - понижение уровня подземных вод в скважине.

При $r_0 / 4a_2 t < 0,1$ с точностью до 5% вместо (2) имеем

$$t_0 = \frac{r_0^2}{4a_2} \exp \left[\frac{4\pi km (H_0 - m)}{Q} \right], \quad r_0^2 = r_0^2 e^{-\xi}, \quad (3)$$

Для $t > t_0$ когда в пласте имеет место как безнапорное, так и напорное движение, решение задачи о притоке подземных вод к одиночной скважине сводится к интегрированию следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial^2 S_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial S_i}{\partial r} = \frac{1}{a_i} \frac{\partial S_i}{\partial t}, \quad i=1,2. \quad (4)$$

где S_{ij} - понижение урpnия подземных вод соответственно в зонах $r_0 < r \leq R(t)$ (безнапорная зона) и $R(t) < r < \infty$ (напорная зона); $a_{1,2}$ - коэффициент диффузии в этих зонах; r и t - координата и время.

При этом должны соблюдаться следующие краевые условия, принятые для осесимметричной задачи Стефана:

$$S_2(\infty, t) = S_1(r, 0) = 0. \quad (5)$$

$$2\pi r k m \left. \frac{\partial S_1}{\partial r} \right|_{r=R(t)} = -Q. \quad (6)$$

$$S_1(R, t) = S_2(R, t) = Hc - m. \quad (7)$$

$$\frac{\partial S_1(R, t)}{\partial t} = \frac{\partial S_2(R, t)}{\partial t}. \quad (8)$$

Если принять в (6) $r_0 \rightarrow 0$, то решение системы (4) при условии (5) - (7) можно выразить уравнениями

$$S_1 = A_1 \left[-Ei \left(-\frac{r^2}{4a_1 t} \right) \right] + B_1, \quad (9)$$

$$S_2 = A_2 \left[-Ei \left(-\frac{r^2}{4a_2 t} \right) \right] + B_2. \quad (10)$$

Коэффициенты интегрирования $A_{1,2}$ и $B_{1,2}$ и координата $R(t)$ находятся из условий (5)-(8).

Вводя (9) - (10) в (5) - (7), получим

$$A_1 = \frac{Q}{4\pi k m}, \quad (11)$$

$$B_1 = Hc - m + \frac{Q}{4\pi k m} \exp \left(\frac{R^2}{4a_1 t} \right) E \left(-\frac{R^2}{4a_1 t} \right), \quad (12)$$

$$A_2 = \frac{Hc - m}{-Ei(-R^2/4a_2 t)}, \quad B_2 = 0. \quad (13)$$

Обычно $r_0^2/4a_1 t < 0.05$, поэтому с точностью до 5% можно в (8) принять $\exp(r_0^2/4a_1 t) = 1$ и $A_1 = Q/4\pi k m$.

Подставляя (11) - (13) в (9) - (10), получим

$$S_1 = Hc - m + \frac{Q}{4\pi k m} \left[-Ei \left(-\frac{r^2}{4a_1 t} \right) + \exp(\alpha a_1) Ei(-\alpha a_1) \right], \quad (14)$$

$$S_2 = m \frac{Ei(-r^2/4a_2 t)}{Ei(-\alpha)} \quad (15)$$

$$a_0 = \frac{a_1}{a_1}, \quad \alpha = \frac{R^2}{4a_1 t} \quad (16)$$

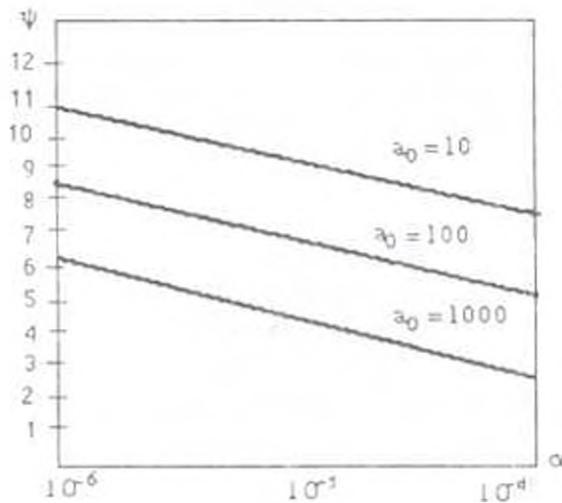


Рис. 2 График функции $\psi = f(\alpha, a_0)$

Принимая в (14) $t = t_{\text{н}}$, определим понижение уровня в скважине $S_1 = S$.

Радиус зоны безнапорного движения находим из условия (8)

$$\alpha(a_0 - 1) + \ln|\psi - \psi_0 - \alpha| = \ln \psi \quad (17)$$

где

$$\psi = \frac{Q}{4\pi\lambda m(\text{He} - m)} \quad (18)$$

Параметр α из (17) находится путем подбора. Для удобства расчета строится график расчета функции $\psi = f(\alpha, a_0)$. Задавая значения α и a_0 , по (14) находим параметр ψ и строим график $\psi = f(\alpha, a_0)$. Учитывая что параметры ψ и a_0 известны, из графика легко определить величину α , после чего радиус безнапорной зоны (рис.2)

$$R = 2\sqrt{\alpha a_0 t} \quad (19)$$

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород / Н.Н. Веригин, С.В. Васильев, В.С. Саркисян, Б.Ш. Шержуков. - М. Недра. 1977. - 271 с.
- 2 Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем / С.В. Васильев, Н.Н. Веригин, Б.А. Глейзер и др. - М. Колос. 1970. - 440 с.

Э.П. АЦИЯНЦ

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА В ТРУБОПРОВОДЕ МХЧЯНСКОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Кարգանոս ընթացի 1 ստուգելագոյնն հնչող աղին մեծության վերջանական հասցիորին ճանաչված էր Մխչանի պոմպակայանի ինտրոմիտալարում պոմպերի շարժիչների էլեկտրոմոտորների համարժեցակի սմեառման դեպքում:

Приводится методика аналитического расчета величины максимального давления, возникающего в трубопроводе Мхчянской насосной станции при внезапном отключении электропитания двигателей насосов.

Ил. 1. Табл. 1. Библиогр. 6 назв.

Analytical design methods of maximum pressure quantity arising in Mkrichyan pumping station pipeline in case of sudden pump engine power supply switching-off are considered.

Ил. 1. Табл. 1. Ref. 6.

Как известно, Мхчянская насосная станция эксплуатируется с 1969 г. За годы эксплуатации напорный трубопровод этой станции в результате коррозии металла подвергся существенному износу, что уменьшило степень надежности его эксплуатации. В последние годы насосная станция эксплуатируется без гасителей гидравлического удара. В связи с этим актуальным является расчет величин давления, возникающих в трубопроводе при внезапном отключении электропитания двигателей насосов.

Трубопровод Мхчянской насосной станции (рис.) имеет два арочных перехода (через железную и автомобильную дороги), что несколько усложняет расчет переходных процессов.

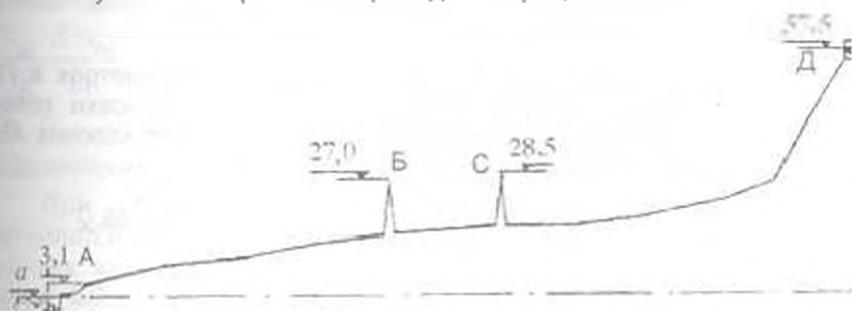


Рис.

В настоящее время разработаны различные аналитические и численные методы расчета гидравлического удара в трубопроводах насосных станций [1-3]. Численные методы позволяют решать задачи в тех случаях, когда их нельзя решить аналитически. Если же

имеется возможность аналитического решения, то отказываться от него не следует.

В настоящей статье приводится методика аналитического определения изменения давлений в трубопроводе Мхчанской насосной станции при потере привода насосов.

Общая длина магистрального трубопровода составляет 5450 м, высота подъема воды - 57,5 м. При подаче воды в трубопровод гремя насосами марки 24НДс рабочий напор насоса составляет $H_1 = 76$ м, расход воды, подаваемой насосом, - $Q_1 = 1.9$ м³/с. Вода к насосам подается самозаливом с отрицательной высотой всаса, равной 3 м. При потере привода насосами переходной процесс в трубопроводе начинается с понижения давления, которое может опуститься ниже атмосферного, что создает условия для образования разрывов сплошности течения на участках А, Б и С (рис.). При образовании разрывов колонна жидкости расчленяется на отдельные участки, движение которых можно описать с помощью зависимостей, приведенных в [4, 5]. Например, при образовании разрыва сплошности течения на участках А и Б движение колонны АБ описывается зависимостью

$$V(x,t) = \left[V_0 - \frac{(H_A^0 + h_B)}{a} \right] e^{-\frac{g(H_A - h_B)t}{a}} - \frac{g(H_A - h_B)(1 - e^{-2mt})}{\ell_{AB} 2m} - \frac{2g(H_A^0 - h_B)}{a\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n} \sin \frac{n\pi a t}{\ell_{AB}} \cos \frac{n\pi x}{\ell_{AB}} \quad (1)$$

где x - продольная координата оси трубопровода; t - текущее время; V_0 - скорость установившегося движения жидкости в трубопроводе, $V_0 = 2.24$ м/с; h_B - статический напор в точке Б; a - скорость распространения волны гидравлического удара, $a = 850$ м/с; g - ускорение силы тяжести, $g = 9.81$ м/с²; $2m = \lambda V_0 / 2d$, где λ - коэффициент сопротивления по длине трубопровода, $\lambda = 0.014$; d - диаметр трубопровода, $d = 1.8$ м, $\pi = 3.14$, ℓ_{AB} - длина участка АБ, $\ell_{AB} = 2170$ м.

Подставляя численные значения расчетных параметров в (1) и приравняв его нулю, можно определить время остановки колонны АБ, которое равно 9 с. Расстояние, которое проходит колонна АБ за этот промежуток времени, определяется в виде

$$S = \left(V_1 e^{-\frac{2g(H_A - h_B)t}{a}} + k_1 \right) \frac{(1 - e^{-2mt})}{2m} - k_1 t - \frac{2g(H_A^0 - h_B)\ell_{AB}}{\pi^2 a^2} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos n\pi}{n^2} \left(\cos \frac{n\pi a t}{\ell_{AB}} - 1 \right) \quad (2)$$

где $V_1 = V_0 - \frac{(H_A^0 + h_B)g}{a}$, $k_1 = \frac{g(H_A - h_B)}{\ell_{AB}}$.

При $t = 9$ с имеем $S = 7.5$ м.

Используя совместно зависимости между понижением напора в трубопроводе и изменением расхода при прямом гидравлическом

ударе [1] и учитывая напорную характеристику насоса в насосном режиме, можно определить расход воды, подаваемой насосом в трубопровод, в зависимости от относительного числа оборотов $\beta = n/n_0$, где n_0 - номинальное число оборотов двигателя насоса, $n_0 = 750$ об/мин.

Подставляя полученную зависимость $Q = f(\beta)$ в уравнение движения агрегата [5], определяется $\beta = f(t)$ (табл.)

Таблица

β	1,0	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05
Q м ³ /с	1,9	1,57	1,4	1,3	1,02	0,77	0,55	0,44
Н, м	76	32,5	11,7	4,52	-1,0	-4,5	-4,5	-4,5
t, с	0	1,0	2,04	3,16	3,9	5,18	8,04	12,1

Полученные данные (табл.) позволяют определить объем жидкости, подаваемой в трубопровод одним насосом, после понижения в нем давления ниже атмосферного в течение θ с, равный $7,06$ м³. Соответственно три насоса подают объем воды, равный $21,18$ м³. Так как площадь сечения магистрального трубопровода равна $A = 2,54$ м², то указанный объем заполнит трубопровод на длине $8,35$ м. Следовательно, на участке А возможные разрывы сплошности течения заполняются водой, подаваемой насосами.

После остановки колонны АБ обратные клапаны закрываются, не допуская опорожнения воды из трубопровода. При этом внутри колонны АБ возникают колебания напора, не превышающие 30 м, которые создают перемещения частиц жидкости в трубопроводе со скоростью $V' = 0,35$ м/с.

При понижении давления на участках Б и С (рис.) до предельного значения вакуума, принимаемого 7 м, и образовании на этих участках разрывов сплошности течения расстояние, пройденное колонной ВС при замедленном движении, определяется из уравнения

$$\frac{l_{BC}}{g} \frac{d^2 S_{BC}}{dt^2} = -(Z_B - Z_C) - R(1 - \cos \frac{S_{BC} - [V_0 t - g(H_0 - h_0)t^2/2]_{BC}}{R}) \quad (3)$$

где l_{BC} - длина колонны ВС, $l_{BC} = 650$ м; $Z_B - Z_C$ - разности геодезических точек Б и С, $Z_B - Z_C = 1,5$ м; R - радиус арки, $R = 13$ м.

При составлении дифференциального уравнения (3) учитывается влияние поступления расхода воды на участок ВС со стороны колонны АБ. Анализ уравнений движения расчлененных колонн ВС и СД показывает, что их последующее соединение при замедленном движении происходит примерно через 7 с после образования разрыва сплошности течения на участке С. В результате колонны ВС и СД соединяются. Замедленное движение колонны БД описывается уравнением

$$\frac{v_{\text{БД}}(t) - S_{\text{БД}}}{gt^2} = \quad (4)$$

$$= -(Z_{\text{Б}} + h_{\text{н}} - Z_{\text{Г}}) - R \left(1 - \cos \frac{S_0 + S_{\text{БД}} - (0.66t - 4)(0.65t^2)}{R} \right)$$

где $v_{\text{БД}} = 3260$ м, S_0 - длина разрыва на участке Б, $S_{\text{БД}} = 5.5$ м при $t = 7$ с, $Z_{\text{Б}} - Z_{\text{Г}} = 29$ м, $R = 13$ м.

Интегрирование уравнения (4) при соответствующих начальных условиях показывает, что через 5 с колонна БД останавливается и максимальная длина разрыва на участке Б равна 5,7 м.

После остановки колонны БД начинается ее обратное ускоренное движение по направлению к точке Б. Скорость, развиваемая колонной при обратном движении, определяется по формуле [4]

$$V_{\text{БД}} = \frac{g(H_{\text{Б}} + h_{\text{н}})(1 - e^{-2at})}{(h_{\text{Б}}) 2m} + \frac{2g(H_{\text{Б}} + h_{\text{н}})e^{-at}}{\pi a} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin \frac{n\pi at}{l_{\text{БД}}} \quad (5)$$

а путь, проходимый этой колонной, равен

$$S(t) = \frac{g(H_{\text{Б}} + h_{\text{н}})}{2m^2 l_{\text{БД}}} \left[t - \frac{(1 - e^{-2at})}{2m} \right] + \frac{2g(H_{\text{Б}} + h_{\text{н}})e^{-at}}{\pi^2 a^2} \times \quad (6)$$

$$\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} (1 - \cos \frac{n\pi at}{l_{\text{БД}}})$$

где $H_{\text{Б}} = 11.5$ м.

Известно, что $S = 5.7$ м, из (6) определяется время ускоренного движения колонны БД до столкновения с колонной АБ $t = 2$ с. Подставляя это значение времени в (5), определяется скорость колонны БД при столкновении с колонной АБ $V_{\text{БД}} = 1.26$ м/с. После столкновения колонны максимальная скорость течения, направленная к месту водовода, равна [1] $V = 0.8$ м/с.

На основании указанных скорости v обратных клапанов максимальное повышение напора составило

$$H_{\text{макс}} = 187.6 \text{ м}$$

в настоящее время средняя толщина стенок трубопровода в центре магистрального трубопровода составляет 11 мм. При такой толщине стенок трубопровод способен выдержать давление, равное

$$P = 2\delta[\sigma]/d, \quad (7)$$

где $[\sigma]$ - допустимое напряжение на растяжение, принятое равным 200 МПа; δ - толщина стенок трубопровода.

Подставляя указанные значения указанных величин в (7), получим $P = 2.44$ МПа.

Таким образом, трубопровод магистрального водовода способен выдержать давление в течение времени, равного времени разрыва трубопровода в месте водовода. Это позволяет установить часовой станции зарядку в установку самонабора для трубопровода, расположенного

рекомендована также установка по длине трубопровода клапана для выпуска и заземления воздуха. Проведенные расчеты показали, что при переходных процессах разрыва сплошности потока образуются только у вершины первой арки. В остальных местах практически мгновенные разрывы устраняются в процессе замедленного движения колонны жидкости. Поэтому клапан для выпуска и заземления воздуха целесообразно установить только в вершине первой арки. Следует также отметить, что в трубопроводах больших диаметров со статическими напорами, большими 30 м, и способ гашения гидравлического удара малоэффективен. Наиболее эффективным является установка гасителей в начале водовода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. - М.: Госстройиздат, 1961. - 227 с.
2. Руководство по применению гидротехнической трубопроводной арматуры на внутрихозяйственной оросительной сети / В/О "Союзводпроект". - М., 1983. - 171 с.
3. Махарадзе Л.И., Кирмелашвили Г.И. Нестационарные процессы в явпорных гидротранспортных системах и защита от гидравлических ударов. - Тбилиси: Мецниереба, 1986. - 152 с.
4. Ащиянц Э.П. К вопросу об отрицательном гидравлическом ударе в магнетательном трубопроводе насосной станции // Изв. АН АрмССР. Сер. ТН. - 1974. - Т. 27, № 1. - С. 48-54.
5. Ащиянц Э.П. Гидравлический удар в простом магнетательном трубопроводе при понижении давления // Мат. науч.-техн. конф. молодых науч. работников и специалистов Минводхоза АрмССР. - Ереван: Айастан, 1977. - С. 138-141.
6. Ащиянц Э.П. Аналитический метод определения понижения давления в трубопроводе насосной установки при потере привода насосом // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1999. - Т. 52, № 1. - С. 119-123.

ИПО водных проблем
и гидротехники РА

02.03.1998

Изв. НАН и ГИУА Армении (сер. ТН), т. 52, № 2, 1999, с. 259-262.

УДК 669.33

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.Б. ГРИГОРЯН, Г.Г. ТРИГОРЯН

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРЯМОГО ПОЛУЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ СУЛЬФИДНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Целью настоящей работы является исследование возможности прямого получения меди из сульфидных концентратов в водном растворе при температуре кипения воды.

Для создания новых одностадийных процессов изучена и теоретически обоснована возможность прямого получения меди из сульфидных концентратов

Библиогр. 5 назл.

New one-stage process development is studied and the possibility of direct copper obtaining from sulphide concentrates is theoretically grounded

Ref. 5

Как известно, основным источником получения первичной нерафинированной меди является рудное сульфидное сырье, в частности, концентраты, которые обычно перерабатываются двух- (плавка - конвертирование) и трехстадийными (обжиг - плавка - конвертирование) процессами. Однако сложившаяся практика не отвечает современным экономико-экологическим требованиям. Как правило, чем больше стадий в технологии и меньше степень использования сырья, тем она несовершенна и тем ниже экономико-экологическая эффективность производства [1-3]. Основными причинами остановки бывшего Алавердского горно-металлургического комбината Армении являлись громоздкость применяемой трехстадийной технологии, низкая степень использования сырья и его энергии. В этой связи решение проблемы переработки сульфидных концентратов в республике возможно внедрением новых эффективных одностадийных технологических процессов прямого производства меди. Для примера рассмотрим и сопоставим многостадийные и новые одностадийные процессы физико-химического превращения сульфидного концентрата Армении, в состав которого входят (в %) 17Cu , $31,6\text{Fe}$, $32,44\text{S}$, $7,46\text{SiO}_2$, $2,18\text{CaO}$, $1,54\text{Al}_2\text{O}_3$, $2,7\%$ пр. Согласно минералогическому анализу, долевое распределение меди в основных сульфидных медных минералах концентрата составляет: халькопирит (CuFeS_2) - 0,7; халькозин (Cu_2S) - 0,05; ковелин (CuS) - 0,1; борнит (Cu_5FeS_4) - 0,15. Остальная сера связана с железом в виде пирита (FeS_2). Приведенные сульфиды составляют основную горючую массу концентрата, и их можно выразить единым усредненным соединением

При этом коэффициент меди составит $C_{\text{Cu}}=1,65$ (для кратности принимаем 1,5), масса меди 96, суммарная масса меди, железа и серы 81,09, молекулярная масса искомого соединения 457,92, коэффициент железа 3,195 (принимаем равным 3), коэффициент серы 5,73 (принимаем 6). Искомое соединение $\text{Cu}_{1,5}\text{Fe}_3\text{S}_6$. По закону аддитивности расчетные термодинамические параметры полученного соединения составляют энтальпия 168 кДж/моль и энтропия -63 Дж/моль град. Данное соединение предлагается использовать в металлургических, геополитических и термодинамических расчетах пирометаллургических процессов переработки медных сульфидных концентратов любого состава.

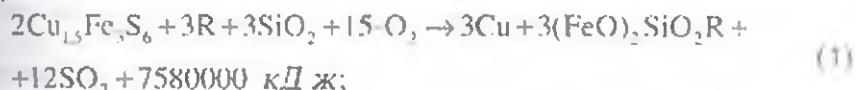
Массу данного соединения m_{CuS} в P_0 концентрате предлагается определить по уравнению $m_{\text{CuS}}=0,0158(C_{\text{Cu}}+S)P_0$, где C_{Cu} - процентное содержание меди и серы в концентрате, m_{CuS} в

изучаемом 100 кг концентрате составит 78 кг. Остальные 22 кг являются оксидными соединениями (R), не содержащими меди.

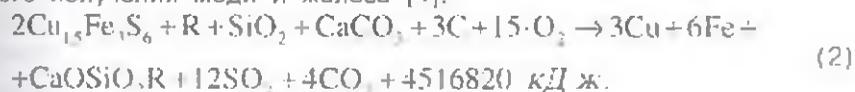
На основе выведенного соединения предлагается описать новые одностадийные и известные двух-, трехстадийные процессы производства меди следующими основными реакциями.

1. Новые одностадийные процессы:

а) экзотермический плавильный процесс прямого получения меди:



б) экзо-эндотермический плавильно-восстановительный процесс прямого получения меди и железа [4]:



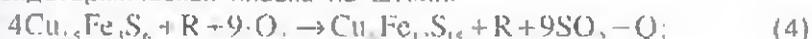
Сопоставление реакций (1) и (2) показывает, что восстановление жидкофазного оксида железа твердым углеродом требует введения в процесс извне 3063180 кДж энергии.

2. Новый одностадийный эндотермический процесс плавления с терморазложением на медно-железистый сплав и элементарную серу:

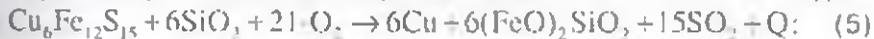


3. Известные двухстадийные процессы.

а) эндотермическая плавка на штейн:



б) экзотермическое жидкофазное окисление штейна на медь:



в) автогенная плавка на штейн:



г) экзотермическое жидкофазное окисление штейна:



4. Известные трехстадийные процессы:

а) твердофазное экзотермическое окисление на огарок:



б) эндотермическая плавка огарка на штейн:



в) экзотермическое жидкофазное окисление штейна на медь:



где R - оксидные соединения в концентрате.

Как показывает экзотермическая реакция (1), сульфидный концентрат одновременно является топливом, и при его крупномасштабной переработке по данной технологии выделится колоссальное количество энергии, первичное и вторичное использование которой имеет большое экономическое значение.

Расчетные уравнения изобарных потенциалов

$$\Delta Z_{11}^0 = 1810000 - 6T \quad \text{и} \quad \Delta Z_{10}^0 = -1078000 - 218T$$

показывают, что реакции (1) и (2) полностью совмещены вправо с прямым выделением меди и железа.

Согласно уравнению $\Delta Z_{(3)}^0 = 80000 - 124T$, термическое разложение сульфидного соединения по реакции (3) начинается с 650°C.

При этом расчетный расход полезной энергии, вводимой извне в процесс, составляет 630 кВт·ч на тонну концентрата. В укрупненно-лабораторных экспериментах общий расход энергии в процессе разложения колеблется в пределах 1466...2174 кВт·ч на тонну концентрата [5].

Таким образом, показана возможность и целесообразность технологической разработки в Армении одностадийных процессов прямого производства меди из медного сульфидного концентрата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ванюков А.А., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. - М.: Металлургия, 1988. - 400 с.
2. Металлургия меди, никеля, кобальта / В.И. Смирнов, А.К. Цейдлер и др. - М.: Металлургия, 1964. - 450 с.
3. Григорян Г.Б. Комплексное использование металлургического сырья, вторичных энергоресурсов и охрана окружающей среды / Армупрцветмет. - Ереван, 1983. - 95 с.
4. Григорян Г.Б., Цейдлер А.А. Восстановление окислов меди и цинка из расплава: Сб. научн. тр. / Гинцветмет. 1965. - № 23. - С. 35-53.
5. Григорян Г.Б., Хачатрян Г.А. Терморазложение сульфидов-перспективная технология переработки медь-золотосодержащих концентратов Армении // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т.50, № 1. - С. 62-64.

ГИУА

30.03.1997

Изв. НАН и ГИУ Армении (сер. ТН), т. LII, № 2, 1999, с. 262 - 266.

УДК 621.317

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

Г.А. КАРДАШЯН, А.Г. КАРДАШЯН

О НЕПОСРЕДСТВЕННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

Քննարկված է ֆեռոմագնիսական նյութերի մագնիսական թափանցելիության անալիտիկական արժեքի անմիջական որոշման հնարավորությունը, առավելագույն թափանցելիության չափման համակարգի ստեղծման և ֆեռոմագնիսական նյութերի շահագործման ռեժիմի ընտրության կարևորությունը:

Рассмотрена возможность непосредственного определения амплитудной магнитной проницаемости ферромагнитных материалов. Установлена актуальность разработки систем измерения максимальной магнитной проницаемости и выбора режима эксплуатации ферроматериалов.

Ил.3. Библиогр.: 4 назв.

The possibility of amplitude permeability direct determination for ferromagnetic materials is studied. The actuality for maximum permeability system elaboration and selection of ferromaterial exploitation conditions is established.

Ил. 3. Ref. 4.

Для автоматического контроля магнитных свойств ферромагнитных материалов необходима разработка методов и средств непосредственного определения требуемого магнитного параметра.

В большинстве случаев кривые намагничивания ферромагнитных материалов в переменном магнитном поле $B_m = f(H_{\text{действ}})$ определяют при синусоидальном изменении магнитной индукции. При этом кривая напряженности магнитного поля отличается от синусоиды, и отношение между амплитудой напряженности магнитного поля и его действующим значением больше $\sqrt{2}$, а $H_{\text{действ}} \sqrt{2} < H_m$ [1-3]. Значение $H_{\text{действ}} \sqrt{2}$ можно сопоставить с амплитудой эквивалентной синусоиды, при этом магнитная проницаемость определится как [1-3]

$$\mu = \frac{B_m}{\mu_0 H_{\text{действ}} \sqrt{2}}. \quad (1)$$

В некоторых случаях важное значение имеет магнитная проницаемость, определяемая по первым гармоникам индукции B_{1m} и напряженности магнитного поля H_{1m} : $\mu = B_{1m} / H_{1m}$. Заменяв динамический цикл гистерезиса эллипсом, имеющим ту же площадь, В.К. Аркадьев ввел понятие упругой и вязкой проницаемости. Для параметрического уравнения эллипса H и B должны быть синусоидальными функциями времени:

$$H(t) = H_m \sin \omega t. \quad (2)$$

$$B(t) = B_m \sin(\omega t - \delta). \quad (3)$$

Значение магнитной индукции можно переписать в виде

$$B(t) = B_m \cos \delta \sin \omega t - B_m \sin \delta \cos \omega t. \quad (4)$$

Выражения $B_m \cos \delta$ и $B_m \sin \delta$ заменим через B_{m1} и B_{m2} . Тогда упругая проницаемость определится как

$$\mu_1 = \frac{B_{m1}}{H_m} = \frac{B_m \cos \delta}{H_m}, \quad (5)$$

а вязкая -

$$\mu_2 = \frac{B_{m2}}{H_m} = \frac{B_m \sin \delta}{H_m}. \quad (6)$$

Возведем в квадрат μ_1 и μ_2 , в результате получим амплитудную или полную проницаемость

$$\mu = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2} = B_m / H_m. \quad (7)$$

С помощью разработанной системы можно добиться непосредственной оценки указанной амплитудной проницаемости во всем цикле перемагничивания ферроматериала. Для этого из

задающего генератора на вход формирующего устройства подается напряжение (рис.1, кривая 1)

$$u = U_m \sin \omega t. \quad (8)$$

На выходе формирователя [4] образуется намагничивающее напряжение, аналитически описываемое в виде (рис.1, кривая 2)

$$u_n = U_{1m} \sin \omega t + U_{3m} \sin 3\omega t + U_{5m} \sin 5\omega t + \dots, \quad (9)$$

содержащее только нечетные гармоники без сдвигов фаз и без постоянных составляющих.

Благодаря введенной отрицательной обратной связи в испытуемом ферромагнитном материале формируется магнитный поток, имеющий синусоидальную форму кривой, а индукция в образце изменяется по заданному закону (рис.1, кривая 3)

$$B(t) = B_m \sin \omega t. \quad (10)$$

При этом из-за нелинейности магнитных свойств ферромагнитных материалов напряженность магнитного поля на выходе своего первичного преобразователя имеет вид (рис.1, кривая 4)

$$H(t) = H_{1m} \sin(\omega t + \psi_{H1}) + H_{3m} \sin(3\omega t + \psi_{H3}) + H_{5m} \sin(5\omega t + \psi_{H5}) + \dots \quad (11)$$

Выражения (8)-(11) подтверждаются сравнением с соответствующими осциллограммами, снятыми на разработанном приборе [4], и графиками, построенными по указанным выражениям с помощью ЭВМ.

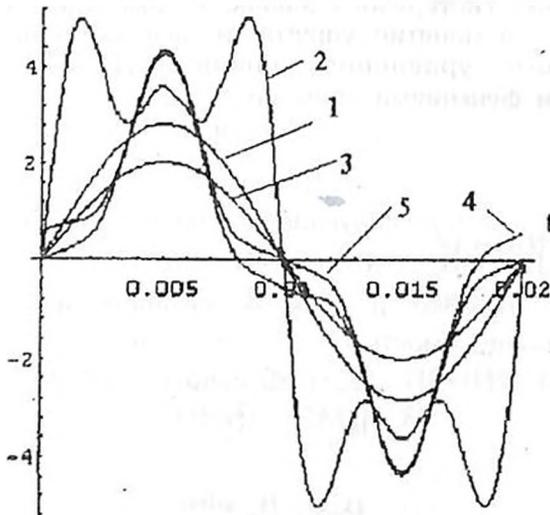


Рис. 1

Для определения амплитудной магнитной проницаемости необходимо иметь отношение амплитудного значения магнитной индукции B_m к амплитудному значению напряженности магнитного поля H_m . Для однозначности магнитной проницаемости при определенном значении B_m необходимо иметь соответствующие

значения H_m . Поэтому перед измерением μ_n необходимо кривую $H(t)$ представить в соответствии с основной кривой намагничивания, т.е. так, чтобы зависимость $B(H)$ соответствовала безгистерезисному состоянию материала. С этой целью $H(t)$ представляется в виде

$$H(t) = H_{1m} \sin \omega t - H_{3m} \sin 3\omega t + H_{5m} \sin 5\omega t - \dots, \quad (12)$$

т.е. состоит только из нечетных гармоник, без начальных фаз и постоянных составляющих (рис.1, кривая 5).

При этом H_m и B_m одновременно достигают своих максимальных значений. При осуществлении математической операции деления за весь цикл перемагничивания возникает изменение амплитудной магнитной проницаемости испытуемого феррообразца. На рис. 2 построена зависимость $\mu_n(H_m)$ в относительных единицах по формулам (8) и (10), где $B_m = 2$, $H_{1m} = 7$, $H_{3m} = 3$, $H_{5m} = 1$.

Практически в разработанной системе измерение осуществляется на базе интегральной микросхемы ИМС типа К525ПС2 или К525ПС3, предназначенной для аналоговой обработки и преобразования сигналов. На первый вход ИМС подается напряжение (10) $V(t)$, проходящее через усилитель и учитывающее размеры испытуемого материала и пикового детектора, на выходе которого образуется постоянное напряжение $U_B = A_1 B_m$. На другой вход делителя подается напряжение $H(t)$ (12) через другой пиковый детектор, на выходе которого образуется постоянное напряжение $U_H = A_2 H_m$. На выходе ИМС получается напряжение, пропорциональное амплитудному значению магнитной проницаемости ферромагнитного материала, что позволяет вести прямой отсчет измеряемой величины:

$$\mu = \frac{10 A_1 B_m}{A_2 H_m}. \quad (13)$$

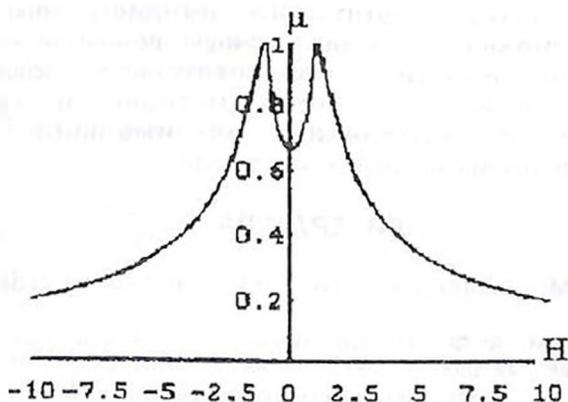


Рис. 2

С помощью разработанного устройства проводились многократные измерения на ряде эталонных образцов из электротехнических сталей (марок 3413, 2011, 1213 и 2211) по B_m

и H_m . Проведены статический анализ и сравнение с эталонными данными. Установлено, что погрешность измерения по основной кривой намагничивания не превышает 2%. На макете описанной системы проведено также измерение амплитудных значений магнитной проницаемости указанных образцов и осуществлена простая операция деления B_m/H_m . В обоих случаях получены одни и те же значения магнитной проницаемости.

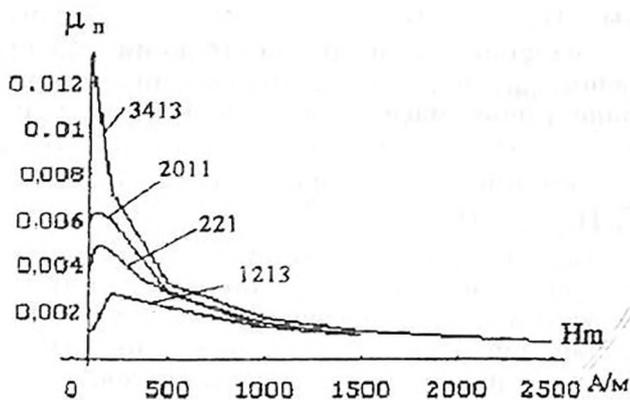


Рис. 3

Как показали результаты экспериментальных исследований (рис.3), почти для всех марок сталей максимальная магнитная проницаемость находится в пределах напряженности магнитного поля 20...500 А/м, т.е. при слабых магнитных полях. При напряженности магнитного поля свыше 1000 А/м магнитная проницаемость материалов резко уменьшается, и независимо от марки материала их проницаемости близки друг к другу. Следовательно, использование электротехнических сталей в сильных магнитных полях нецелесообразно, и вопрос о рекомендации выбора режима работы соответствующих материалов становится актуальным.

На рис. 3 легко заметить, что по дискретным значениям измерений невозможно установить точную величину максимальной магнитной проницаемости, а следовательно, остается также актуальной проблема разработки методов и средств для непосредственного измерения максимальной магнитной проницаемости ферромагнитных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полизанов К.М. Ферромагнетики. - М; - Л.: Госэнергоиздат, 1957. - 256 с.
2. Преображенский Ф.Ф. Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. - М.: Высшая школа, 1972. - 288 с.
3. Панасенков М.А. Электромагнитные расчеты устройств с нелинейными распределенными параметрами. - М.: Энергия, 1971. - 216 с.
4. Кардашян Г.А. Универсальный магнитоизмерительный прибор // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 1997. - Т.50, № 3. - С. 220-225.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ ՈՒԹ Յ ՈՒ Ն

Շեկյան Հ.Գ., Խաչատրյան Մ.Ն. Կզված մասուններով թիթեկավոր համակարգերի տատանումը	141
Երիտաֆորյան Ա.Շ. Նյութերի կտրման տեսության հարցերը նեյրակազմակերպման և կառուցվածքների զարգացման դիրքերին	145
Առաքելյան Թ.Տ. Թերապեւտության առաջացման պայմանները	152
Զհանգուլյան Է.Տ. Կտրույ եզրի երկարության և հանվող տաշեղի կտրվածքի մակերեսի լավարկված հարաբերակցությունը	158
Սիմոնյան Ա.Մ., Մարտիրոսյան Մ.Մ., Վալեսյան Ս.Շ. Կոմպոզիտ նյութից մեծ չափսերով խողովակների ծայրակցվածության միացումը	162
Աղբալյան Ս.Գ., Պետրոսյան Հ.Ա., Շատվորյան Ռ.Բ., Ամալյան Է.Ս., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ն.Կ. Բարձրացված ամրությամբ կոմպոզիցիոն նյութեր 1. Տաք արտամղմամբ կոմպոզիցիոն նյութերի առաջնային տեխնոլոգիա	166
Նովսեփյան Գ.Ա. Կարծր համաձուլվածքն գործիքների երկրաչափական քննադրերի որոշումը	170
Մարտիրոսյան Վ.Տ., Մաճկալյան Ա.Ռ., Սասունցյան Մ.Է. Մետալների բյուրիղների՝ ջրածնով վերականգնման գործընթացի տեսակարար պարամետրի որոշման մասին	173
Առաքելյան Ա.Մ., Եղիազարյան Լ.Վ., Սաֆարյան Վ.Ս. Բեռի անհավասարաչափությունը գրաֆիկի կիրառումը էլեկտրականագիտի կիրառման հաշվարկում	178
Կարապետյան Մ.Ա., Գրիգորյան Վ.Ա., Կարախանյան Լ.Տ. Վարդանյան Վ.Վ. Երեսույթները գազի բշտիկներ և ջրի կաթիլներ պարունակող յուղում, էլեկտրական դաշտի ազդեցության առկա	181
Կարապետյան Մ.Մ., Վարդազարյան Վ.Գ. ՓՃԷԿ ամպրոպային դաշտայնությունը նորագույն պաշտպանիչ սարքատուներով	186
Շահբազյան Ս.Տ., Ճիրունց Զ.Թ. Լրիվ հոսանքներ և նրանց սինթետիկ բազադրիչներն օգտագործող էլեկտրաշարժիչների առավելագույն աշտպանությունների համեմատական վերլուծություն	193
Թաղջյան Վ.Գ. Վերջավոր թվով դիրքերով զծային սինթեզների վերլուծություն	199
Պետրոսյան Ն.Ն., Աբելյան Մ.Ռ. Տրանզիստորային սեզոնանոսային փոխակերպի համակցված թվային կառավարում	204
Մխիթարյան Վ.Ա. Բնական ռեսուրսների օպտիմալ կառավարման դինամիկ մոդելը	208
Բաղդասարյան Մ.Կ. Պետրիի ցանցի միջոցով հանքաքարի վերանշակման տեխնոլոգիական գործընթացը	213
Պետրոսյան Ս.Ե. Վոլշի համակարգի բազիսում սահմանափակ սպեկտրով (կորիչով) ազդանշանների և պատկերների վերականգնում	218

Սիմոնյան Ռ.Ն. ԼԿԵ տիրույթի ալիքների երկարության ճշգրիտ ընդամենը ստոր.	225
Բաղդասարյան Ն.Վ., Գոմցյան Ն.Ա., Մեղավորյան Գ.Ս. Կողային բաժանմանով բազմամատչելիությանը օժտված հարմարումով դիտուս-մոդուլումով թելա-օպտիկական համակարգի համակարգչային սողել.	229
Արսվյան Գ.Ա., Արսվյան Ա.Գ. Կետային հենարաններին հենված կլոր սալերի սառածանամների փորձարարական հետազոտումը.	233
Մարգսյան Ա.Ս. Կտոր առ կտոր մարմնի համար ընդգայնամյան սանրի խնայելու նյութառաջնությունը կապակցված էլեկտրատառանցական դաշտի վարքի մասին.	239
Ավետիսյան Ռ.Ս., Զարամյան Ա.Կ., Պետրոս Շ.Ա., Զարամյան Կ.Ն. Շենքերի բարե սպերով երեսաստված երկարբևտուն սրտաքին սրտերի ջերմախոնավային բարձրադիֆուզիոն վիճակը.	245
Սարգսյան Վ.Ս., Սարգսյան Ս.Վ. Ստորերկրա ջրերի հարկույնի դինամիկան, երբ ջրի արտամղումը կառավարվում է սանձին հարստանցքից.	250
Աշխիջանց Է.Պ. Միջլանի պոմպակալանի խողովակաշարում հիդրալիկական հարվածի վտանգի գնահատականը.	255
Գրիգորյան Գ.Գ., Գրիգորյան Գ.Բ. Սուլֆիդային հալուսանյութերի պրևնի ուղղակի ստացման հնարավորության մասին.	259
Կարդաշյան Գ.Ա., Կարդաշյան Ա.Գ. Մագնիսական բաժանվելիության անմիջական որոշումը.	262

СОДЕРЖАНИЕ

Шекян Г.Г., Хачатрян М.Н. Колебания пластинчатых систем с присоединенными массами	141
Христафорян С.Ш. О процессе резания материалов как самоорганизующейся структуре по переработке вещества	145
Аракелян Т.Т. Условия возникновения малонапряженности	152
Джангулян Э.А. Оптимальное соотношение длины режущего периметра и площади грунтовой стружки	158
Симонян А.М., Мартиросян М.М., Валесян С.Ш. Стыковое соединение больших размеров труб из композиционного материала	162
Агбальян С.Г., Петросян А.С., Шатворян Р.Б., Амалян Э.С., Василян Г.А., Саркисян Н.К. Композиционные материалы повышенной прочности 1. Технология получения композиционных материалов экструзией	166
Овсепян Г.С. Определение геометрических параметров твердосплавных инструментов	170
Мартиросян В.А., Мачкалян А.Р., Сасунцян М.Э. К вопросу определения удельной скорости реакций восстановления хлоридов металлов водородом	173
Аракелян А.М., Егиазарян Л.В., Сафарян В.С. Учет неравномерности графика нагрузки в расчете потерь электроэнергии	178
Карапетян М.А., Григорян В.А., Караханян Л.О., Варданян В.В. Явления в масле, содержащем пузырьки газа и капельки воды, под действием электрического поля	181
Карапетян М.М., Вартазарян В.Г. Грозозащита МГЭС новейшими защитными аппаратами	186
Шахбазян С.А., Фирунц Э.Т. Сравнительный анализ максимальных защит электродвигателей, использующих полные токи и их симметричные составляющие	193
Ягджян В.Г. Анализ линейной схемы с конечным числом состояний	199
Петросян Н.Н., Абелян С.Р. Комбинированное цифровое управление транзисторного резонансного инвертора	204
Мхитарян В.А. Динамическая модель оптимального управления природными ресурсами	208
Багдасарян М.К. Об исследовании технологических процессов переработки руды посредством сетей Петри	213
Петросян С.Е. Восстановление сигнала и изображения с ограниченным по полосе спектром в базисе Уолша	218

Симонян Р.А. Прецизионный измеритель мощности ИК-диапазона	225
Багдасарян О.В., Гомцяц О.А., Мегаворян Д.М. Компьютерная модель волоконно-оптической системы МДКР с адаптивной дельта-модуляцией	229
Абовян Г.А., Абовян А.Г. Экспериментальные исследования колебаний круглых плит, опертых на точечные опоры	233
Саргсян А.М. О поведении связанного электроупругого поля в одном классе задач продольного сдвига для кусочно-однородного тела	239
Аветисян Р.С., Карамян А.К., Петрос Ш.А., Карамян К.О. Температурное напряженно-деформированное состояние наружных железобетонных стен зданий с каменной облицовкой	245
Саркисян В.С., Саркисян С.В. Динамика снижения уровня подземных вод при откачке воды из одиночных скважин	250
Ацциянц Э.П. Оценка опасности гидравлического удара в трубопроводе Мхчянской насосной станции	255
Григорян Г.Б., Григорян Г.Г. О возможности прямого получения меди из сульфидных концентратов	259
Кардашян Г.А., Кардашян А.Г. О непосредственном определении магнитной проницаемости	262

C O N T E N T S

Shekyan H.G., Khachatryan M.N. Vibration of Plate-Like Systems With Apparent Additional Masses	141
Christaphoryan S.Sh. On Material Cutting Process as a Self-Organizing Structure	145
Arakelyan T.T. Low-Stress Level Onset Conditions	152
Jangulyan E.H. Optimal Relation of Cutting Perimeter Length and Ground Chip Cross Section	158
Simonyan A.M., Martirosyan M.M., Valesyan S.Sh. Abutment joint of great size tubes from composites	162
Aghbalyan S.G., Petrossyan N.S., Shatvoryan R.B., Vasilyan G.A., Sarkissyan N.K. Materials with High-Strength Composition 1. Technology of Composition Materials Obtained by Extrusion	166
Hovsepyan G.S. Geometrical Parameter Determination of Hard Alloy Tools	170
Martirosyan V.H., Machkalyan A.R., Sasountsyan M.E. Specific Reaction Rate Determination of $FeCl_3$ Restoration by Hydrogen	173
Arakelyan A.A., Yeghiazaryan L.V., Safaryan V.S. Accounting of Load Graph Non-Evenness for Calculating the Electricity Losses	178
Karapetyan M.A., Grigoryan V.A., Karakhanyan L.H., Vardanyan V.V. Phenomena in Oil Containing Gas Bubbles and Water Droplets Under Electric Field Action	181
Karapetyan M.M., Vartazaryan V.G. Small Hydroelectric Power Plants (SHEPP-s) Lightning Protection by Means of the Newest Protecting Equipment	186
Shahbazyan S.H., Firunts Z.T. Comparative Analysis for Motor Maximum Protection Using Total Currents and their Symmetric Components	193
Yaghjan V.G. Analysis of shift register counters	199
Petrossyan N.N., Abelyan S.R. Combined Digital Control of Transistor Resonance Inverter	204
Mkhitarian V.A. Dynamic Model of Optimal Natural Resources Control	208
Baghdassaryan M.K. Technological Process Investigation of ore Working out by Means of Petri Nets	213
Petrossyan S.E. Signal and Image Recovery with Band Limited Spectrum in the Base of Walsh System	218
Simonyan R.H. High-Accuracy Infrared Power Meter	225

Baghdassaryan H.V., Gomtsyan H.A., Meghavoryan D.M. Computer Model of Fiber-Optic CDMA System with Adaptive Delta- Modulation	229
Abovyan G.A., Abovyan A.G. Experimental Studies on Vibrations of Round Plates Resting on Pointed Supports	233
Sargsyan A.M. On the Behaviour of Bounded Electroelasticity Field in one Class Antiplane Problem for Piece-Homogeneous Body	239
Avetissyan R.S., Karamyan A.K., Petros Sh.A., Karamyan K.H. Thermo-Humid Stressed-Deformation State of Facing Stones for Reinforced Concrete Exterior Building Walls	245
Sarkissyan V.S., Sarkissyan S.V. Dynamics of Underwater Level Movement in Water Pumping from Single Wells	250
Ashchyants E.P. Hydraulic Hammer Danger Evaluation in Mkhchian Pumping Station Pipeline	255
Grigoryan G.B., Grigoryan G.G. The Possibility of Direct Copper Obtaining from Sulphide Concentrates	259
Kardashyan G.A., Kardashyan A.G. Direct Definition of Permeability	262