

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ԵՐԵՎԱՆ

ЕРЕВАН

Журнал издается с 5.01.1948 г.
Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Ս. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Գ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ),
Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Ռ.Վ. ԱԹՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ,
Ս.Ս. ԴԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНЯН (ответственный секретарь), С.Г. АГБАЛЯН,
Р.В. АТОЯН, В.В. БУНИАТЯН, Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН,
В.З. МАРУХЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН,
С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН, В.С. ХАЧАТРЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (Editor-in-Chief), H.A. TERZYAN (Vice-Editor-in-Chief),
Z.K. STEPANYAN (Secretary - in - Chief), S.G. AGHBALYAN,
R.V. ATOYAN, V.V. BUNIATYAN, Zh.D. DAVIDYAN, S.P. DAVTYAN,
S.M. GHAZARYAN, V.Z. MARUKHYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN,
S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN, V.S. KHACHATRYAN

Հրատ. խմբագիր՝

ԺԱՆՆԱ ՍԵՅՐԱՆՅԱՆ

Համակարգչային շարվածքը
և ձևավորումը՝

ԼԻԼԻԹ ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆԻ

Խմբագիրներ՝

ԼԵՅԼԱ ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ
ՆԵԼԼԻ ԱՆԱՆՅԱՆ

С.Г. АГБАЛЯН, Г.Х. КАРАПЕТЯН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.С. АГБАЛЯН

КОМПАКТИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обоснована целесообразность компактирования износостойких антифрикционных порошковых материалов экструзией, работающих в условиях тяжелого нагружения в режиме сухого трения. Выявлен механизм процесса экструзии порошковых материалов, содержащих в структуре твердые смазывающие вещества.

Ключевые слова: порошок, прессование, пористость, экструзия, компактирование, смазывающие вещества, антифрикционный материал.

Теория и практика порошковой металлургии показывают, что какими бы большими ни были усилия формования и скорости их приложения, получить беспористый материал непосредственным (в состоянии насыпки) компактированием металлических порошков практически невозможно. Даже высокие температуры и длительное их воздействие не обеспечивают сплошности структуры. Полное компактирование металлических порошков может быть достигнуто только лишь поэтапно:

1. Предварительное формование их в пористую заготовку, со спеканием или без него.
2. Горячая обработка пористой заготовки давлением (формоизменение и уплотнение до $\theta \rightarrow 0$).

В связи с этим весьма эффективной является экструзия, которая не только обеспечивает формирование компактных структур, но и позволяет получить материал с повышенными физико-механическими и технологическими свойствами.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы является исследование процессов компактирования износостойких антифрикционных порошковых материалов (ИАПМ) методами экструзии.

Жесткие требования к прессуемости, спекаемости и другим свойствам металлических порошков, зависящим от размеров и формы частиц, их физического состояния, предъявляемые при статическом прессовании без нагрева, утрачивают свое значение при горячей обработке, которая характеризуется большой скоростью и степенью деформации (60...90%). Процессы структурообразования в этом случае лимитируются не диффузией, как при обычном спекании, а высокотемпературной пластической деформацией частиц. Это значительно расширяет технологические возможности экструзии по компактированию порошков металлов и сплавов без строгого ограничения их свойств.

В работах [1-2] основные параметры экструзии рассматриваются только лишь на примерах однофазных материалов. Согласно [3], давление экструзии рассчитывают по формуле

$$P_0 = K b_B e^{R \lambda} \ln \lambda n. \quad (1)$$

где K — коэффициент, равный 2,5 ... 3,5; b_B — предел прочности на разрыв при температуре экструзии, МПа; f — коэффициент трения; L — длина заготовки; R_k — радиус контейнера (заготовки); $\lambda = F_k / F_M$ — коэффициент вытяжки; F_k — площадь поперечного сечения заготовки; F_M — площадь отверстия матрицы.

Для триботехнических материалов, относящихся к двух- и трехфазным структурам, формула (1) неприемлема. Рассмотрим процесс экструзии сплавов, содержащих в качестве фазы твердые смазывающие вещества (рис. 1). Динамика процесса экструзии пористой заготовки с однофазной структурой состоит из четырех стадий (рис. 2). На первой стадии происходит уплотнение заготовки до 95...96 %. Соответственно, давление экструзии (P_0) и давление, возникающее в матрице (P_M), значительно возрастают, вследствие чего начинается вытеснение части металла в зону матричной воронки. На второй стадии P_0 и P_M достигают своих максимальных значений, заготовка уплотняется до 99...100%, т.е. практически до компактного состояния. На третьей стадии устанавливается ламинарное истечение металла из матрицы. Четвертая стадия является завершающей и отвечает нестационарному течению металла.

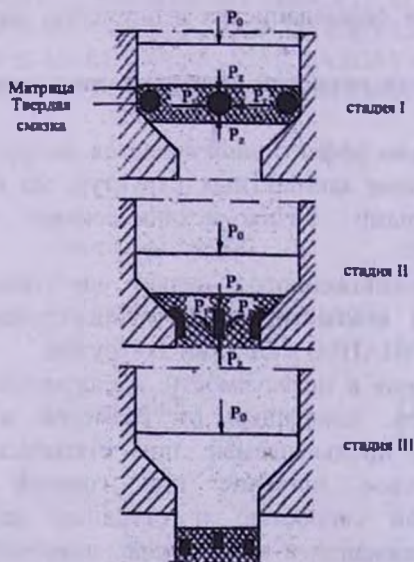


Рис. 1. Механизм процесса экструзии материала, содержащего в структуре твердые смазывающие вещества

Процессу экструзии материалов с многофазной структурой присущи иные закономерности. На первой стадии происходит уплотнение пористой заготовки до 93...95%, P_0 и P_M достигают максимальных значений. На второй стадии заготовка уплотняется до 97...98%, происходит поляризация концентраций напряжений (рис. 1, стадия II), превосходящих по величине предел текучести второй фазы и композиции в целом.

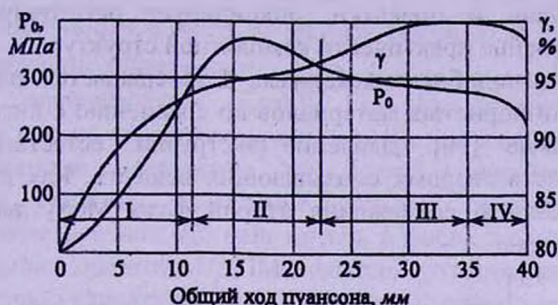


Рис. 2. Динамика уплотнения ИАПМ при экструзии пористой заготовки (материал Fe-Mo-MoS₂, $\lambda=4$)

В общем виде условие пластического деформирования характеризуется критерием пластичности:

$$f(\sigma_{ij}, K_n, q) = 0,$$

где σ_{ij} — компоненты тензора напряжений; K_n — параметр, определяющий свойства материала; q — коэффициент упрочнения.

Для наглядности f изображают в виде поверхности пластичности (в пространстве основных инвариантов тензора напряжений или главных напряжений $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$).

В теории пластичности компактных металлов используются в основном критерии пластичности Губера — Мизеса и Треска — Сен-Венана, с которыми в пространстве главных напряжений связаны поверхности пластичности в виде кругового цилиндра, равнонаклоненного к осям координат, и шестигранной призмы бесконечной длины, вписанной в этот цилиндр. Обе поверхности разомкнуты $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$ [4], т.е. компактные металлы неуплотняемы (несжимаемы).

Пористые металлы уплотняемы, т.е. сжимаемы. Поэтому поверхность пластичности пористых металлов должна быть замкнутой в направлении $\sigma_1=\sigma_2=\sigma_3$. В литературе предложен ряд критериев пластичности, учитывающих эту особенность пористых материалов [5]. Лучшее согласие с экспериментом имеет критерий пластичности Куна и Дауни [6]:

$$f = \alpha I_1^2 + 3I_2' - \beta \sigma_s^2 = 0,$$

где α, β — функции пористости; I_1 — первый инвариант тензора напряжений; I_2' — первый инвариант девиатора напряжений.

Критерию пластичности соответствует поверхность пластичности в виде эллипсоида вращения, равнонаклоненного к осям координат. При $\alpha=0$ и $\beta=1$ критерий пластичности переходит в критерий Губера – Мизеса.

В [7, 8] предложена обобщенная теория пластичности пористого тела, основанная на концепции среднеквадратичных вязких напряжений и скоростей деформации, развитой в [9].

Именно наличие девнатора напряжений, присущих только лишь процессам экструзии и прокатки, ликвидирует остаточную пористость и обеспечивает получение практически компактной структуры.

Правильность подобного механизма подтверждается выводом о том, что давление экструзии пористых материалов по сравнению с литыми материалами на 20...25% меньше [10]. Давление экструзии, естественно, зависит от количества и свойств твердых смазывающих веществ. Как видно из рис. 3, с увеличением объемного содержания второй фазы MoS_2 давление экструзии заметно уменьшается.

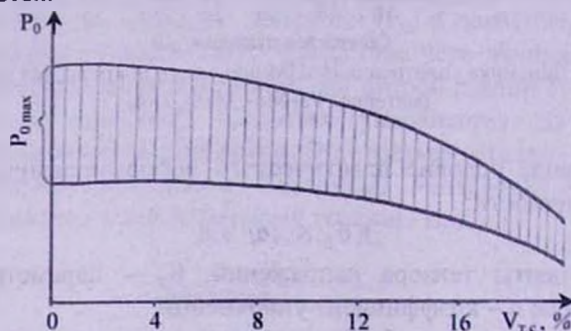


Рис. 3. Зависимость давления экструзии от содержания твердой смазки (материал — трехфазный ИАИМ, твердая смазка — MoS_2)

Математической обработкой результатов экспериментов получена формула для расчета давления экструзии, учитывающая влияние второй фазы:

$$P_0 \geq K \left[(1-m) \sigma_3 e^{2\epsilon/R_n} \cdot \ln \lambda + m \sigma_{\text{IIф}} e^{2\epsilon/D \cdot R} \cdot \ln \frac{D^2}{R^2} \right], \quad (2)$$

где m — относительное содержание второй фазы; σ_3 — предел прочности основной фазы при растяжении (при температуре экструзии); $\sigma_{\text{IIф}}$ — предел прочности второй фазы при растяжении в процессе экструзии; f_1 — коэффициент трения второй фазы с основной фазой; D , R — соответственно диаметр и радиус зерна второй фазы.

Поскольку у антифрикционных материалов коэффициент трения (f_1) и предел прочности ($\sigma_{\text{IIф}}$) обычно меньше, чем у материала матрицы, то, естественно, давление экструзии будет меньше.

Как известно, основными факторами, непосредственно влияющими на процесс экструзии, являются: T , – температура нагрева, τ , – продолжительность нагрева, λ – коэффициент вытяжки, α_M – угол матрицы, V , – скорость экструзии. По результатам предварительных экспериментов нами выбрана математическая модель типа

$$\sigma_B = c \left(\frac{T}{100} \right)^x \tau^y \lambda^z, \quad (3)$$

где σ_B – предел прочности ИАПМ на разрыв, МПа; c , x , y , z – неизвестные параметры, подлежащие определению.

Располагая зависимостью $\sigma_B = f(T, \tau, \lambda)$, можно оптимизировать параметры экструзии, но не прогнозировать свойства. Эксперименты показали, что экструдированные материалы не всегда приобретают наилучшие триботехнические свойства, выявление которых связано с проведением испытаний на трение и износ. На наш взгляд, к числу важных свойств, позволяющих качественно оценить ИАПМ, следует отнести внутреннее трение, являющееся основным структурно-чувствительным параметром.

Результаты исследований показали, что кривые внутреннего трения получают максимальные значения только при определенных деформациях (рис. 4), при которых материал приобретает наилучшие триботехнические свойства.

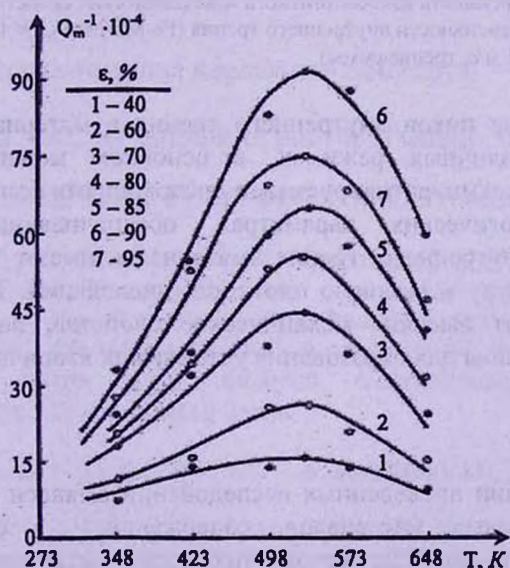


Рис. 4. Изменение интенсивности внутреннего трения от температуры при различных степенях деформации ($Fe-Mo-MoS_2$)

На рис. 5 показано изменение износостойкости материала в зависимости от пиков внутреннего трения. Как видно, с увеличением пиков износостойкость возрастает.

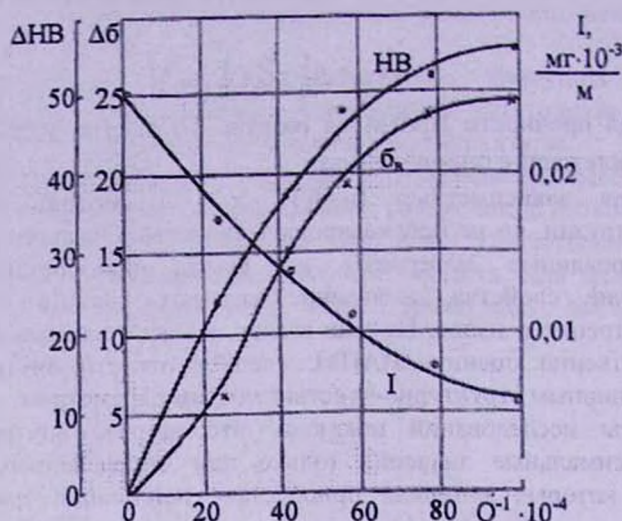


Рис. 5. Зависимость износостойкости и механических свойств НАПМ от интенсивности внутреннего трения ($Fe-Mo-MoS_2$, $Q=1$ МПа, $V=1$ м/с, трение сухое)

Возникновение пиков внутреннего трения в материалах, подвергшихся экструзии при различных режимах, в основном можно объяснить диффузионными процессами, активируемыми дислокациями большой плотности.

При технологических параметрах, обеспечивающих максимальные значения пиков внутреннего трения, материалы имеют более однородную химическую структуру и высокую плотность дислокаций. Такие материалы не только приобретают высокие механические свойства, но в них создаются благоприятные условия для образования устойчивых вторичных структур.

Выводы

1. На основании проведенных исследований выявлен механизм процесса экструзии порошковых материалов, содержащих в структуре твердые смазывающие вещества. Параметры процесса экструзии зависят как от механических свойств исходных компонентов, так и от объемного содержания структурных составляющих.

2. Выявлено, что кривые внутреннего трения получают максимальные значения только при определенных деформациях, при которых материал приобретает наилучшие триботехнические свойства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петросян Л.Г. Деформационная теория пластичности пористых материалов // Известия вузов. Сер. Машиностроение.- 1978.- № 11.- С. 5 - 8.
2. Напряженно-деформированное состояние пористых композиционных материалов при сжатии / Н.В. Манукян, Г.Л. Петросян, Б.Ц. Минасян и др. // Порошковая металлургия.-1982.- № 1.- С. 84 - 88.
3. Манукян Н.В. Технология порошковой металлургии.- Ереван: Айастан, 1986.- 231 с.
4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести.- М.: Машиностроение, 1975.- 399 с.
5. Лаптев А.И. Критерии пластичности пористых металлов // Порошковая металлургия.-1982.- № 7.- С. 12 - 18.
6. Kuhn H.A., Dawney C.L. Deformation characteristics and plasticity theory of sintered powder materials // Int. J. Powder met.- 1971.- 7, № 1.- P. 15 - 25.
7. Мартинова И.Ф., Штерн М.Б. Уравнение пластичности пористого тела, учитывающее истинные деформации материала основы // Порошковая металлургия.- 1978.- №1.- С. 23-29.
8. Феноменологические теории прессования порошков / М.Б. Штерн, Г.Г. Сердюк и др.-Киев: Наукова думка, 1982.- 140 с.
9. Скороход В.В. Реологические основы теории спекания.- Киев: Наукова думка, 1972.-148 с.
10. Агбальян С.Г. Теоретические и технологические основы формирования структуры и свойств порошковых материалов при экструзии: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.- Ереван, 1992.- 33 с.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 26.09.2010.

Ս.Գ. ԱՐԲԱԼՅԱՆ, Գ.Խ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ս. ԱԳԲԱԼՅԱՆ

ՍԱՇՎԱԿԱՅՈՒՆ ԶԱՎԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵԼՅՈՒԹԵՐԻ ԽՏԱՅՈՒՄԸ

Հիմնավորվել է չոր շփման և ծանր բեռնվածության պայմաններում աշխատող մաշակայուն հակաշփական փոշենյութերի՝ տաք արտամղմամբ խտացման նպատակահարմարությունը: Բացահայտվել է կառուցվածքում պինդ քսանյութեր պարունակող փոշենյութերի տաք արտամղման գործընթացի մեխանիզմը:

Առանցքային քսանյ. փոշի, մամլում, ծակոտկենություն, արտամղում, խտացում, քսանյութեր, հակաշփական նյութ:

S.G. AGHBALYAN, G.X. KARAPETYAN, A.A. PETROSYAN, A.S. AGHBALYAN

COMPACTION WEARPROOF ANTIFRACTIONAL POWDER MATERIALS

The expediency compaction wearproof antifrictional powder material extrusion for dry friction working in the conditions of heavy loading is proved. The power material extrusion process mechanism containing in the structure of solid greasing substances is revealed.

Keywords: powder, pressing, porosity, extrusion, compaction, greasing substances, antifriction material.

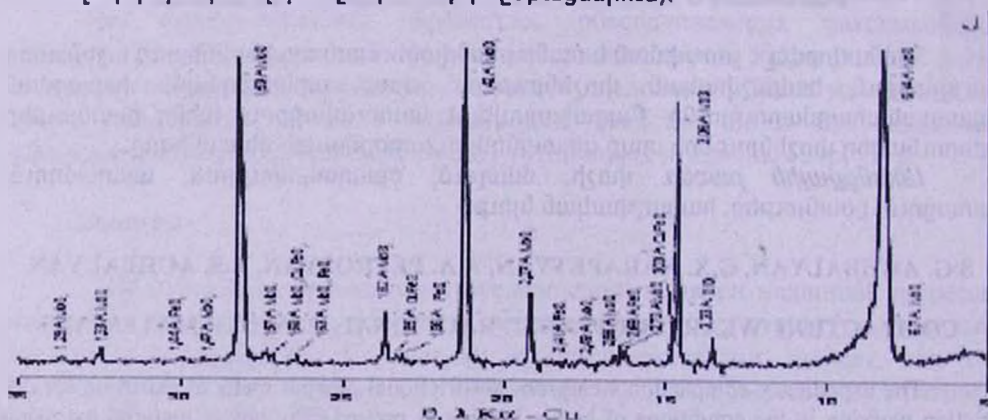
Լ.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՆԱՎԱՍՏՐԴՅԱՆ, Ա.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ,
Վ.Ա. ՇԱՀՆԱԶԱՐՅԱՆ

ՊՂՆՁԻ ԵՎ ԵՐԿԱԹԻ ՀԱՄԱՏԵՂ ԿՈՐԶՈՒՄԸ Mo/Fe/Cu/S ԽՏԱՆՅՈՒԹԻՑ ՀԻԴՐՈՔԼՈՐԱՅԻՆ ՏԱՐԻԱԼՈՒԾՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Հետազոտվել է Mo/Fe/Cu/S միասնական խտանյութից հիդրոքլորային տարրալուծման եղանակով պղնձի ու երկաթի համատեղ կորզման գործընթացը: Ցույց է տրվել պիրիտի կատալիտիկ ազդեցությունը պղնձի հիդրոքլորիդացման գործընթացի ինտենսիվացման վրա, ինչպես նաև մոլիբդենիտի անզգայնությունը հիդրոքլորային տարրալուծման պրոցեսի նկատմամբ:

Առանցքային բառեր. սուլֆիդային խտանյութ, մոլիբդենիտ, խալկոպիրիտ, պիրիտ, հիդրոքլորային տարրալուծում:

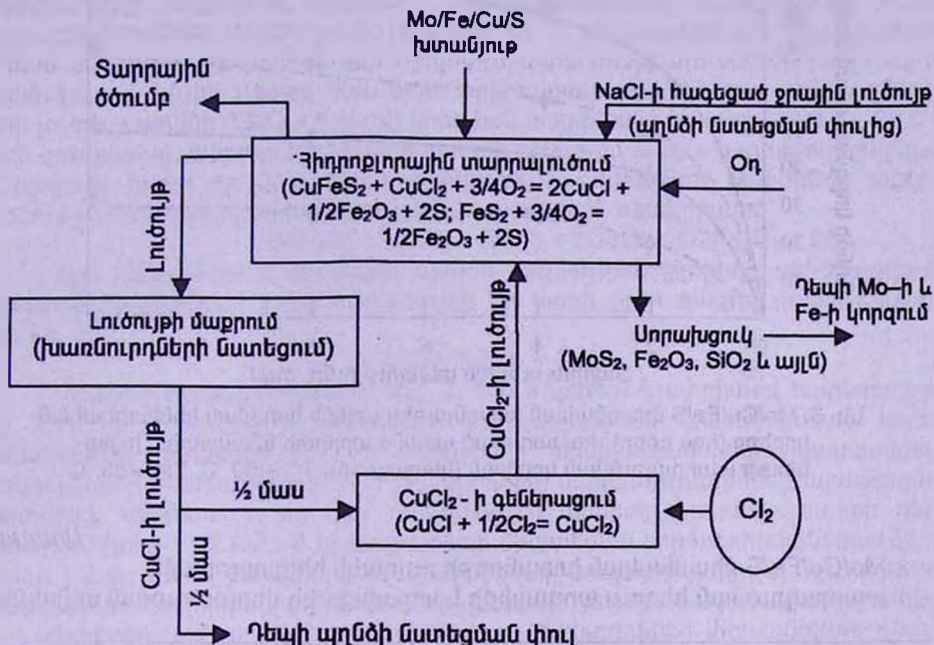
Հետազոտվող սուլֆիդային խտանյութի (39,14% Mo, 8,417% Fe, 3,84% Cu) հիմնական միներալային կազմը, ըստ ռենտգենական ուղծվածքային վերլուծության (ДРОН-2.0, CuK α -ճառագայթում, դիֆրակցիոն արտացոլումների վերծանումը [1]-ով) տվյալների (նկ. 1), բաղկացած է մոլիբդենիտից (65,27% MoS₂), պիրիտից (10,83% FeS₂), խալկոպիրիտից (11,20% CuFeS₂) և քվարցից (5,4% SiO₂): Մնացած միներալները (Cu₂S, Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, MgO, Au, Ag), իրենց փոքր քանակության պատճառով ռենտգենագրի վրա չեն երևակվել: Խտանյութում առկա է նաև 3,8% խոնավություն: Այստեղ մոլիբդենը հանդես է գալիս միայն մոլիբդենիտի տեսքով, երկաթը բաշխված է պիրիտում և խալկոպիրիտում, իսկ պղինձը՝ հիմնականում խալկոպիրիտում: Վերջինս առավել կայուն միներալն է, ու դրանից պղնձի կորզումը կապված է որոշակի ղեկարությունների հետ (ինչպես պիրո-, այնպես էլ հիդրո-մետալուրգիական վերամշակման գործընթացներում):



Նկ. 1. Mo/Fe/Cu/S միասնական խտանյութի ռենտգենագիրը

Աշխատանքի նպատակը խտանյութում պարունակվող պիրիտի (FeS_2) և խալկոպիրիտի (CuFeS_2) համատեղ հիդրոքլորային տարրալուծմամբ պղնձի և երկաթի ընտրողական կորզումն է (միներալներից դեպի լուծույթ), մոլիբդենը թողնելով անլուծելի սորախցուկում (MoS_2 տեսքով), դրանով իսկ ապահովելով նրա հետագա կորզումը ելանյութից համեմատաբար ավելի պարզ տեխնոլոգիայով և նվազագույն կորուստներով:

Խտանյութի տարրալուծման գործընթացը հետազոտվել է N 2351 A արտոնագրում [2] մշակված մեթոդիկայով: Գործընթացի տեխնոլոգիական սխեման ընդգրկում է խտանյութի ուղղակի տարրալուծման, մայրակ-լուծույթի մաքրման և օքսիդիչ ազդանյութի գեներացման փուլեր (նկ. 2):

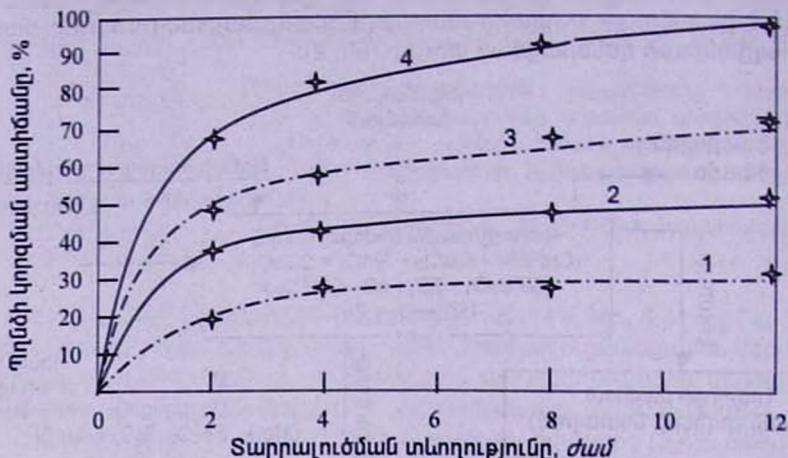


Նկ. 2. Mo/Fe/Cu/S միասնական խտանյութի հիդրոքլորային տարրալուծման տեխնոլոգիական սխեման

Վերամշակվող խտանյութը բեռնվում է նատրիումի քլորիդի հազեցած ջրային լուծույթով լցված ($\text{Պ:Հ}=1:8$) տարրալուծման չան, որում խլուսն անընդհատ խառնվում է ներմղվող օդի հոսանքով՝ ջերմաստիճանը պահելով 85°C : Լուծույթում մղվում է նաև առանձին անոթում քլոր գազի օգնությամբ պատրաստված տարրալուծման պրոցեսի հիմնական ազդանյութի՝ պղնձի երկվալենտ քլորիդի (CuCl_2) լուծույթ: Պրոցեսը շարունակվում է մինչև խալկոպիրիտի լիով տարրալուծումը, որի հետևանքով պղինձն ամբողջությամբ անցնում է լուծույթ:

Պարբերաբար չափված (AAS մեթոդով) պղնձի իոնային կոնցենտրացիայով որոշվել է դեպի լուծույթ դրա կորզման (խալկոպիրիտի տարրալուծման) աստիճանը: Միաժամանակ չափվել է նաև լուծույթի թթվայնության ցուցիչը (pH -

340 սարքի օգնությամբ): երկաթի, մոլիբդենի, ոսկու և արծաթի կոնցենտրացիաները չափվել են պղնձի ամբողջական տարրալուծման լուծույթում: Չլուծված MoS_2 - ի, CuFeS_2 - ի, FeS_2 - ի, ինչպես նաև երկաթի տարրալուծման արգասիքների (հիմնականում Fe_2O_3), SiO_2 - ի, Al_2O_3 - ի, CaO - ի և MgO - ի բաղադրությունները որոշվել են վերջնական սորախցուկում: Ձուգահեռաբար տարրալուծման է ենթարկվել նաև մոլիբդենիտ-խալկոպիրիտ խտանյութը, առանց պիրիտային բաղադրիչի: Փորձերի արդյունքները բերված են նկ. 3 - ում և աղյուսակում:



Նկ. 3. Mo/Cu/Fe/S միասնական խտանյութից պղնձի կորզման կինետիկական կորերը (հոծ գծեր)՝ համադրված առանց պիրիտի մամանադիտայ խտանյութի տարրալուծման կորերին (կետագծեր). 1;2 – 60 °C, 3;4 – 85 °C

Աղյուսակ

Mo/Cu/Fe/S միասնական խտանյութի ուղղակի հիդրոքլորային տարրալուծման հեղուկ արգասիքի և սորախցուկի վերլուծության տվյալները՝

Ելային Mo/Cu/Fe/S խտանյութ	Հիմնական միներալային կազմը (բացի Au, Ag), %								
	MoS ₂	CuFeS ₂	FeS ₂	Cu ₂ S	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO+ MgO	H ₂ O
	65,27	11,20	10,83	0,2	0,3	0,9	5,6	1,8	3,8
Հեղուկ արգասիք (լուծույթ)	Հիմնական իոնային կոնցենտրացիան (100 գրամ խտանյութից, ֆիլտրված հեղուկ արգասիքում) 3,77 գ/լ Cu ⁺ , 0,1 գ/լ Cu ²⁺ , 0,51 գ/լ Fe ³⁺ , 0,01 մգ/լ Au ³⁺ , 0,18 մգ/լ Ag ²⁺ , Fe ³⁺ չի հայտնաբերված, Mo ⁿ⁺ չի հայտնաբերված								
Տարրա- լուծման սորա- խցուկ	Հիմնական միներալային կազմը (Au, Ag չեն հայտնաբերված), %								
	MoS ₂	CuFeS ₂	FeS ₂	Cu ₂ S	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO+ MgO	H ₂ O
	76,26	հետք	հետք	չ.հ.	14,04	1,05	6,54	2,1	մն.

*Սիլիկատային վերլուծությունը կատարված է ՀՀ ԳԱԱ ԵԳ ինստիտուտում:

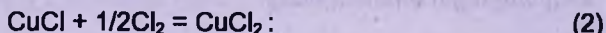
Ատոմա - արտոբքցիոն սպեկտրոսկոպիկ վերլուծությունը կատարված է «ԼՄԻ» ՓԲԸ-ում:

Բերված տվյալներից երևում է, որ խալկոպիրիտային պղնձի կորզման ֆունկցիան պարաբոլային բնույթ ունի: Գործընթացն սկսվում է միանգամից բարձր արագությամբ, այնուհետև տարրալուծվող նյութի զանգվածի և տեսակարար մակերևութի նվազմանը զուգընթաց կորզման արագությունն աստիճանաբար իջնում է՝ վերջում մոտենալով զրոյի: Ջերմաստիճանի բարձրացումը 60°C – ից մինչև 85°C հանգեցնում է պղնձի կորզման աստճանի կտրուկ ավելացման:

Պրոցեսի ընթացքում լուծույթի pH – ի արժեքները շատ քիչ են փոփոխվում: Այսպես, 60°C - ում մեկնարկային pH – ը 2,874 – ից 6 ժամ հետո դառնում է 2,814, 12 ժամվա տարրալուծումից հետո՝ 2,702, իսկ 85°C – ում՝ 2,545, 2,297 և 2,236, համապատասխանաբար: Դա նշանակում է, որ բոլոր դեպքերում լուծույթը մնում է թթվային, ինչը լավագույն պայման է համապատասխան ռեակցիաների կայուն զարգացման համար: Արդյունքում, լուծույթի 85°C ջերմաստիճանի պայմաններում 12 ժամ տևողությամբ խտանյութի հիդրոքլորային տարրալուծմամբ խալկոպիրիտային ֆազից (չնչին չափով նաև մյուս պղնձատար սուլֆիդային միներալներից) դեպի լուծույթ պղնձի (CuCl – ի ձևով) կորզման աստիճանը հասնում է 98,5...99,5 %: Դրան զուգընթաց, ամբողջ խալկոպիրիտային երկաթը Fe_2O_3 – ի տեսքով անցնում է սորախցուկ, քանի որ նրա հիդրոօքսիդացումը օդամղման թթվածնով տեղի է ունենում պղնձի հիդրոքլորիդացման միևնույն հայտնի ռեակցիայով՝



Այս ռեակցիայում ծախսվող պղնձի երկվալենտ քլորիդը զենեքացվում է ստացված միավալենտ քլորիդի լուծույթի մի մասի քլոր գազով վերամշակմամբ (տես նկ. 1)՝



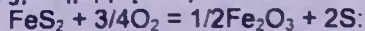
Պիրիտի բացակայությամբ (նկ. 3, 1 և 3 կորեր) և պիրիտով հարստացված (նկ. 3, 2 և 4 կորեր) խտանյութերի տարրալուծման կինետիկական կորերի համադրումից հետևում է, որ պիրիտը, անմիջականորեն չմասնակցելով խալկոպիրիտի տարրալուծման (1) ռեակցիային, սակայն զգալիորեն արագացնում է պրոցեսը: Ակնհայտ է, որ այդ ռեակցիայում պիրիտը կատալիզատորի դեր է կատարում (տես 1 - 2 և 3 - 4 կորագույգերը, միատեսակ ջերմաստիճաններում): Դա կարելի է բացատրել նաև զավթանական էֆեկտի առկայությամբ [3], երբ խլուսում գտնվող երկու հաղորդակից միներալներից ավելի էլեկտրաբացասական պոտենցիալով օժտվածը (տվյալ դեպքում CuFeS_2 – ը), էլեկտրոններ փոխանցելով մյուսին (այսինքն FeS_2 – ին), ինքը քայքայվում է մեծ արագությամբ, իսկ մյուսը՝ ոչ:

Տարրալուծման արդյունքում պիրիտային ֆազի ամբողջովին անհետացումը համակարգից, երկաթի իոնների բացակայությունը հեղուկ արգասիքում, ինչպես նաև սորախցուկում Fe_2O_3 – ի քանակի համապատասխանությունը երկաթի ելային բաղադրությանը խտանյութում, թույլ են տալիս հետևյալ կերպ բացատրել պիրիտի տարրալուծման և դեպի սորախցուկ եռավալենտ երկաթի անցման գործընթացը:

Ակնհայտ է, որ երկաթի կատիոնները երկվալենտ են պիրիտի բյուրեղային վանդակում, իսկ նրա իոնային կառուցվածքը $\text{Fe}^{2+}(\text{S}_2)^{2-}$ տեսքի է, այսինքն ճիշտ այնպես, ինչպես մանգանի երկսուլֆիդին է ($\text{Mn}^{2+}(\text{S}_2)^{2-}$) [4]: Իսկ համաձայն $\text{Fe} - \text{S} - \text{H}_2\text{O}$ համակարգի E_h - pH դիագրամի [5], բավականին բարձր թթվայնության լուծույթներում (ինչպիսին տվյալ դեպքում խտանյութի տարրալուծման լուծույթն է) Fe(II) տարրամասնիկներն օքսիդանում են մինչև Fe(III) , պարզ կատիոնների տեսքով (տես նաև [3])՝



Ուստի, քանի որ տվյալ դեպքում պիրիտի տարրալուծումը տեղի է ունենում ինտենսիվ օդանդման պայմաններում, օքսիդացման ռեակցիայում երկվալենտ երկաթը էլեկտրոն կփոխանցի օդի թթվածնին՝

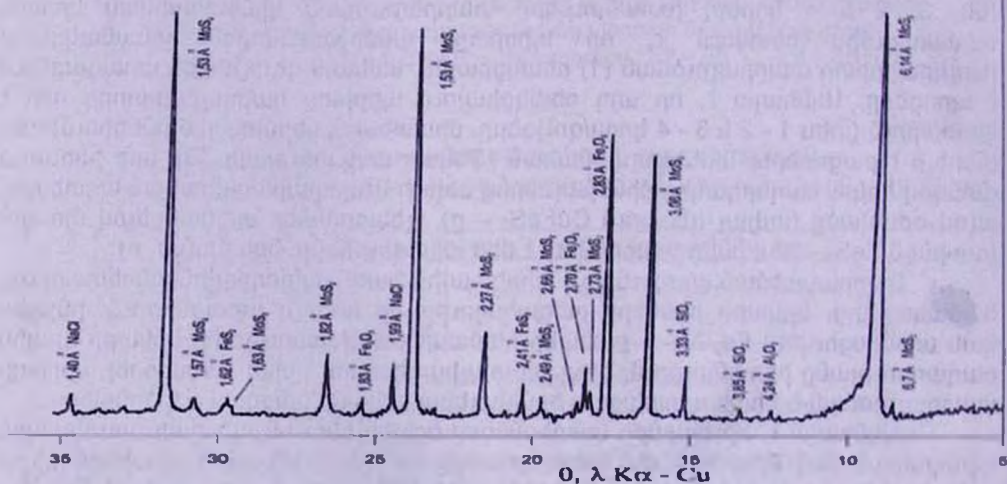


Գոյացած Fe_2O_3 -ը, խալկոպիրիտային երկաթի հիդրոօքսիդացումից անջատված հեմաթիտի հետ միասին անցնում է նստվածք (սորախցուկ)։

Ընդ որում, պիրիտի հիդրոօքսիդացման (4) ռեակցիան, հավանաբար, ընթանում է (1) - ի հետ զուգահեռաբար, որովհետև այն, ինչպես հայտնի է [6], կարող է կատալիզվել Cu^{2+} իոններով (լուծույթում առկա CuCl_2 - ի ներգործությամբ)։

Պրոցեսի հեղուկ արգասիքի հիմնական իոնային բաղադրությունից պարզ երևում է, որ հիդրոքլորիդային օքսիդացմանը հակազդում են միայն պղինձ պարունակող միներալները (CuFeS_2 և Cu_2S) և պիրիտը (FeS_2), ինչպես նաև ոսկին ու արծաթը (վերջիններս գոյացնելով համապատասխան ջրում լուծելի քլորիդներ)։

Տարրալուծման մայրակ-լուծույթը, խառնուկներից մաքրվելուց հետո, ենթակա է NaOH - ի միջոցով պղնձի միավալենտ օքսիդի ցեմենտացման ($2\text{CuCl} + 2\text{NaOH} = \text{Cu}_2\text{O} + 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$), որը ծառայում է որպես ելանյութ ջրածնային վերականգնումով մետաղական պղնձի ստացման համար։ Պղնձօքսիդի ցեմենտացումից հետո, մատրիումի քլորիդի ջրային լուծույթն օգտագործվում է խալկոպիրիտի և պիրիտի համատեղ տարրալուծման ցիկլերում։ Գործընթացում անջատվող տարրային ծծումբը կարող է օգտագործվել որպես ինքնուրույն ապարնեյին արտադրանք։



Նկ. 4. Mo/Fe/Cu/S միասնական խտանյութի հիդրոքլորային տարրալուծման սորախցուկի (պինդ մնացորդի) ռենտգենագիրը

Սորախցուկը, որն ըստ ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալների (Նկ. 4) պարունակում է հիմնականում մոլիբդենիտ (MoS_2) և հեմաթիտ (Fe_2O_3), ենթակա է հետագա երկփուլ վերամշակման՝ մոլիբդենի և երկաթի կորզման համար։

Մշակված տեխնոլոգիայի հիմնական առավելություններն են՝ պղնձից բացի, երկաթի կորզման հնարավորությունը, մետաղների բարձր կորզման աստիճանը, բացարձակապես տեղական նյութերի (ելանյութ-խտանյութ, կերակրի աղ, քլոր գազ) օգտագործումը և շրջակա միջավայրի պաշտպանության ժամանակակից պահանջների առավելագույնս բավարարումը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. ASTM Card File.- ASTM, Philadelphia, 1969.
2. Արտոնագիր N 2351 A . Պղնձի ստացման եղանակ / Լ.Ե. Սարգսյան, Ա.Ս. Հովհաննիսյան, Վ.Ա. Շահնազարյան. - 25.02.2010.
3. Marsden J., House I. The Chemistry of Gold Extraction. - Chichester, England: Ellis Horward Limited, 1992.- 597 p.
4. Реми Г. Курс неорганической химии.- М.: МИР , 1966.-Т. 2.- 836 с.
5. Osseo-Asare K., Xue T., Ciminelli V.S.T. Solution chemistry of cyanide leaching Systems // In: Precious Metals: Min. Extr. and Proc. / Ed. by V. Kudryk, D.A. Corrigan, W. Liang. Metall. Soc. AIME.- 1984.- P. 173-197.
6. Peters E. Direct leaching of sulphides // In: Advances in Mineral Processing / Ed. by P. Somasundaran. - SME-AIME, 1976.- P. 445-462.

Հղեց(Պ): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.09.2010:

Լ.Ե. ՍԱՐԳՏՅԱՆ, Վ.Տ. ՆԱՎԱՏԱՐԴՅԱՆ, Ա.Մ. ՕԳԱՆԵՏՅԱՆ, Վ.Ա. ՏԱԽՆԱԶԱՐՅԱՆ

СОВМЕСТНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА ИЗ Mo/Fe/Cu/S КОНЦЕНТРАТА МЕТОДОМ ГИДРОХЛОРНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Исследован процесс совместного извлечения меди и железа из коллективного Mo/Fe/Cu/S концентрата методом гидрохлорного выщелачивания. Показано каталитическое влияние пирита на интенсификацию процесса гидрохлорирования меди, а также нечувствительность молибденита к процессу гидрохлорного выщелачивания.

Ключевые слова: сульфидный концентрат, молибденит, халькопирит, пирит, гидрохлорное выщелачивание.

Լ.Ե. ՍԱՐԳՏՅԱՆ, Վ.Տ. ՆԱՎԱՏԱՐԴՅԱՆ, Ա.Մ. ՈՎԽԱՆՆԻՏՅԱՆ,
Վ.Ա. ՏԱԽՆԱԶԱՐՅԱՆ

THE JOINT RECOVERY OF COPPER AND IRON FROM Mo/Fe/Cu/S CONCENTRATE BY THE METHOD OF HYDROCHLORIDE LEACHING

The joint recovery of copper and iron from a collective Mo/Fe/Cu/S concentrate by the method of hydrochloride leaching is investigated. The catalytic influence of pyrite on the process of copper hydrochloridation and insensitivity of molybdenite to the hydrochloride leaching process are shown.

Keywords: sulphide concentrate, molybdenite, chalcopyrite, pyrite, hydrochloride leaching.

Ջ.Ա. ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ, Բ.Վ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Կ.Տ. ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ, Ռ.Վ. ԻՍՐԱՅԵԼՅԱՆ

ՍԼԱՆԻԶԻՈՒՄԻ ՀԻԴՐՈՍԻԼԻԿԱՏԱՅԻՆ ԱՊԱՐԱՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՋՐԱԿԱՅՈՒՆ ԿԱՊԿՑԱՆՅՈՒԹԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ

Սևանի ավազանի մագնեզիումի հիդրոսիլիկատային ապարների, մասնավորապես սերպենտինիտացված պերիդոտիտի հիման վրա $645...715^{\circ}\text{C}$ -ի միջակայքում ջրազրկման ճանապարհով ստացվել է ջրակայուն հիդրավիկ կապակցանյութ՝ սերպենտինիտային ցեմենտ: Որոշվել են սերպենտինիտային ցեմենտի ստացման օպտիմալ պայմանները, նրա և ցեմենտ-ավազային շաղախների հիմնական հատկությունները:

Առանցքային բառեր. սերպենտինիտային ցեմենտ, հիդրոսիլիկատային ապար, կապակցանյութ, շաղախ:

Նախկինում սերպենտինիտային ցեմենտի վերաբերյալ եղած գրական տվյալների վերլուծության արդյունքում մեր կողմից ցույց է տրվել, որ անհամեմատ ցածր ջերմաստիճանային տիրույթում ($600...750^{\circ}\text{C}$) հնարավոր է ստանալ ջրակայուն և միևնույն ժամանակ ջերմային հարվածների ու բարձր ջերմաստիճանների նկատմամբ բարձր կայունությամբ օժտված կապակցանյութ՝ սերպենտինիտային ցեմենտ: Հայտնի կապակցանյութերի համեմատությամբ սերպենտինիտային ցեմենտն օժտված է նաև ստացման գործընթացի առավելագույն պարզությամբ, ելքի բարձր տոկոսով և ամրացման ընթացքում ծավալային փոփոխության աննշան մեծությամբ: Նրա առավելությունների թվին է պատկանում նաև սեղմման և ծռման նկատմամբ ունեցած ամրության սահմանների համեմատական փոքր տարբերությունը, որը խիստ կարևոր է հատկապես սեյսմակայուն շինարարության առումով, այն օժտված է նաև ծովային և հանքային ջրերի նկատմամբ բարձր կայունությամբ, որն անփոխարինելի է դարձնում այն ստորգետնյա կառույցների, մասնավորապես ջրատար թունելների, կառուցապատման համար: Նշված առավելությունների կողքին սերպենտինիտային ցեմենտին բնորոշ են նաև այնպիսի թերություններ, ինչպիսիք են՝ լցիչ:ցեմենտ հարաբերության ցածր սահմանը, դրանց հիման վրա ստացված շաղախների ու բետոնների սեղմման նկատմամբ ունեցած ամրության ցածր սահմանը և երկարաժամկետ պահեստավորման ընթացքում որակական հատկությունների նվազումը, ինչպես նաև այդ հատկությունների կախվածությունը ստացման ջերմաստիճանի տատանումներից [1]: Նույն աշխատանքում ցույց է տրված նաև, որ Սևանի ավազանի ապարներից շատերն իրենց քիմիական բաղադրությամբ և միներալոգիական կազմով, ինչպես նաև պաշարներով լիովին պիտանի են սերպենտինիտային ցեմենտի ստացման համար, որն իր ցածր արժեքի և յուրահատուկ հատկությունների շնորհիվ կարող է հեռանկարային համարվել հանրապետության համար:

Վերոհիշյալից ելնելով՝ սույն աշխատանքում փորձ է արվել Սևանի ավազանի տարբեր տեղամասերից վերցրած մագնեզիումի հիդրոսիլիկատային ապարների հիման վրա ստանալ սերպենտինիտային ցեմենտ, որոշել նրա ստացման գործընթացների օպտիմալ պայմաններն ու նրա և նրա ու կվարցային ավազի հիման վրա պատրաստված շաղախների հատկությունները: Օգտագործվել են

երկրաբանական տվյալների համաձայն առավել հեռանկարային համարվող Շորթայի գաբրոպերիդոտիտային զանգվածի [2, 3] չորս տարբեր տեղամասերից վերցված ապարանմուշներ, որոնց քիմիական բաղադրությունները բերված են աղյուսակ 1-ում:

Աղյուսակ 1

Օգտագործված ապարանմուշների քիմիական բաղադրությունները

Հ/Հ	Բաղադրամասերի պարունակությունը, զանգ. %							
	Ազատ ջուր (25...150) °C	Աղսորբված ջուր (150...400) °C	Քիմիապես կապված ջուր և CO ₂ (400...900) °C	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
1	2,0	0,5	11,1	0,3	40,0	0,6	5,3	40,2
2	2,2	1,5	11,8	0,4	41,3	1,0	5,8	36,0
3	0,6	0,1	12,0	1,5	36,9	1,5	8,9	38,5
4	0,8	0,2	17,8	0,1	36,0	0,7	5,7	38,7

Ռենտգենաֆազային (ДРОН-4, ЛОМО, РФ) հետազոտության համաձայն բոլոր չորս նմուշները բաղկացած են եղել հիմնականում սերպենտինիտային խմբի միներալներից (անտիգորիտ կամ կլինոխրիզոտիլ և լիզարդիտ), ֆորստերիտից և մագնեզիումի ֆերիտից (MgFe₂O₄): Չորրորդ նմուշում հայտնաբերվել է նաև շեգրենիտ (Mg₆Fe₂CO₃(OH)₁₆·4H₂O), որի, ինչպես նաև ֆորստերիտի համեմատական բարձր պարունակության պատճառով այդ նմուշը հետագա ուսումնասիրության չի ենթարկվել: Սերպենտինիտային միներալների և ֆորստերիտի հարաբերակցությունը առաջին 3 նմուշներում համաձայն դրանց առավել ինտենսիվ ռենտգենյան ռեֆլեքսների համեմատական ինտենսիվության, կազմում են 100:38:12, 100:59:10 և 100:41:11 համապատասխանաբար:

Հարկ է նշել, որ ռենտգենագրերում արտացոլված սերպենտինիտային միներալներից անտիգորիտի, կլինոխրիզոտիլի և լիզարդիտի ռենտգենյան ռեֆլեքսները մոտ են միմյանց: Այսպես, անտիգորիտի $I_{\max}$ -ը դիտարկվում է $d/n=7,30$ -ի, կլինոխրիզոտիլինը՝ $7,30$ -ի և լիզարդիտինը՝ $7,33$ σ -ի տակ (տես ASTM 44-1447, 43-0662, 09-0444): Դրա պատճառով աղյուսակ 2-ում բերված սերպենտինիտային միներալների հարաբերակցությունը նմուշներում կրում է պայմանական բնույթ:

Իրականացվել է նաև ընտրված ապարանմուշների դերիվատոգրաֆիկական (Q-1500, MOM, Յունգաբիա) հետազոտություն, որի արդյունքները բերված են նկարում:

Ապարափոշիների վերջնական ջրազրկումը նկ.-ի համաձայն տեղի է ունենում. առաջին նմուշի դեպքում $560...760$ °C, երկրորդի – $580...720$ °C, երրորդի – $620...800$ °C միջակայքերում: Պրոցեսների մաքսիմում արագությունը DTG կորերի համաձայն դիտվում է համապատասխանաբար 660 , 720 և 745 °C-ի տակ: Նմուշների վերջնական ջրազրկման ջերմաստիճանային միջակայքերի և պրոցեսների առավելագույն արագություններին համապատասխանող ջերմաստիճանների տարբերությունները, հավանաբար, պայմանավորված են դրանցում սերպենտինիտային տարբեր միներալների (անտիգորիտ, լիզարդիտ) տարբեր հարաբերակցությամբ: Բոլոր երեք նմուշների վերջնական ջրազրկումից հետո DTA կորերի վրա ի հայտ է գալիս բավականին ինտենսիվ էկզոթերմիկ մաքսիմում (855 , 835 , 840 °C),

որը համաձայն գրական տվյալների, պայմանավորված է ջրազրկումից հետո սերպենտինիտային միներալների փոխարեն ֆորստերիտի ($2\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) և էնստատիտի ($\text{MgO} \cdot \text{SiO}_2$) առաջացմամբ [1]:

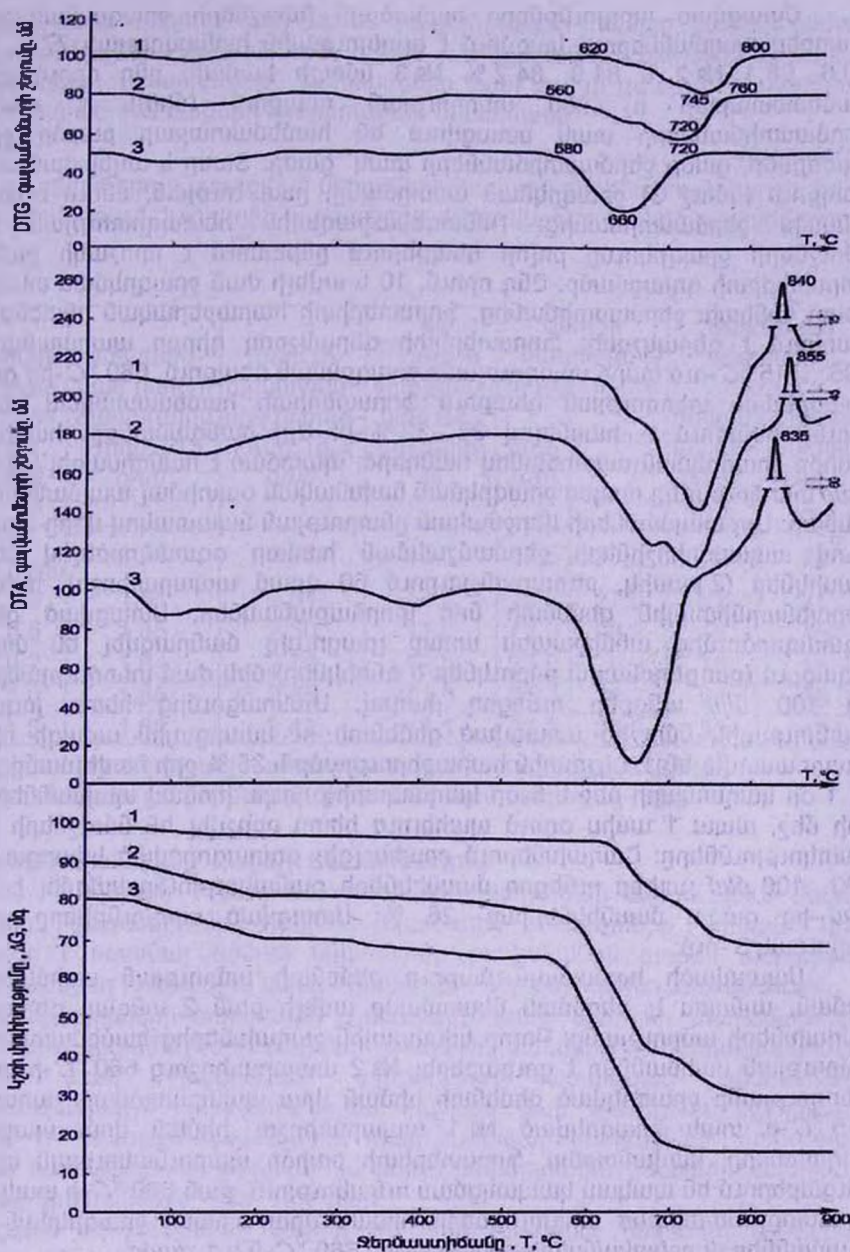
Նմուշների վերջնական ջրազրկման (սերպենտինիտային ցեմենտի ստացման) օպտիմալ պայմանների որոշման նպատակով ընտրված երեք ապարանմուշները ծնոտային, այնուհետև գլանային ջարդիչներով ջարդելուց հետո ենթարկվել են վերջնական մանրացման զնդային աղացում (ճենապակի): Մանրացումից հետո ապարափոշիներն անց են կացվել 200 մկմ անցքեր ունեցող մաղով և մազնիսական գտումից հետո ենթարկվել են ջրազրկման մուֆելային բնույթի էլեկտրական վառարանում ($\text{CHOL-1.6: 2.5.1/9-M3, P\Phi}$): Ջրազրկման ջերմաստիճանային տատանումների նվազեցման նպատակով պատրաստվել և օտազործվել է ջերմակայուն պողպատյա խցիկ՝ օժտված միջնահարթակով և դռնակով: Խցիկի և միջնահարթակի պատերի հաստությունը կազմել է 5 մմ, որը բավարար է եղել վառարանի համեմատությամբ նրա ներսում ջերմաստիճանային տարբերությունների բազմապատիկ նվազեցման համար: Ցավոք, սեփական տաքացուցիչի բացակայության պատճառով չի հաջողվել նվազագույնի հասցնել խցիկի ներսում ջերմաստիճանային տատանումները, որոնց մեծությունը փորձերի ընթացքում կազմել է $\pm (10 \dots 12)^\circ\text{C}$: Համապատասխան ջերմաստիճանների ընտրության համար փորձարկումների ընթացքում հիմք են հանդիսացել նկ.-ում բերված դերիվատոգրաֆիկական կորերը: Հաշվի առնելով այդ կորերի որոշակի ջերմային իներտության աստիճանը՝ որոշվել է ֆորստերիտի որոշակի առաջացումից խուսափելու նպատակով, աշխատել միայն DTA կորում վերջին էնդոթերմիային համապատասխանող min -ի ($\sim 720^\circ\text{C}$) ջերմաստիճանից ցածր ջերմաստիճաններով և ջրազրկման տարբեր ժամանակահատվածներում: Յուրաքանչյուր ապարափոշուց փորձարկվել են № 1 կորունդային հալանոթներում լցված ~ 1 գ զանգված ունեցող առնվազն 6 նմուշ: Ստացված արդյունքների միջինացված արժեքները բերված են աղյուսակ 2-ում:

Աղյուսակ 2

Ապարափոշիների ջրազրկման արդյունքները

Հ/Հ ¹⁾	Ապարափոշու ջերմամշակման պայմանները, $^\circ\text{C}$, ժամ	Նմուշի քաշի կորուստը ջրազրկումից հետո, %	Ռենտգենագրերում ֆազերի առավել հզոր գծերի համեմատական ինտենսիվությունները, %		
			անտիգորիտ	լիզարդիտ	ֆորստերիտ
1	$715 \pm 8; 0,2$	13,0	26	14	100
	$695 \pm 10; 0,5$	12,9	62	50	100
	$660 \pm 5; 1,0$	11,6	100	45	35
	$645 \pm 7; 1,0$	10,5	100	50	34
2	$715 \pm 8; 0,2$	15,1	13	25	100
	$695 \pm 10; 0,5$	15,2	22	26	100
	$660 \pm 5; 1,0$	13,5	100	60	33
	$645 \pm 7; 1,0$	12,5	100	62	32
3	$645 \pm 5; 10$	10,7	45	35	100
	$620 \pm 5; 20$	10,4	52	42	100
	$600 \pm 7; 30$	10,5	45	30	100

¹⁾ Նմուշների համարակալումը համապատասխանում է աղյուսակ 1-ին:



Նկ. Ընտրված սերպենտինիտային ապարների
դերիվատոգրաֆիկական ուսումնասիրության արդյունքները:

- 1 - նմուշ N 3 (G = 268 մգ, աղ. 1),
- 2 - նմուշ N 1 (G = 411 մգ),
- 3 - նմուշ N 2 (G = 418 մգ):

Ստացված արդյունքների համաձայն նմուշների ջրազրկման աստիճանը տարբեր պայմաններում կազմում է ելանյութային խոնավության 77,2...95,6 № 1, 80,6...98,1 № 2 և 81,9...84,2 % № 3 նմուշի համար, ընդ որում ջրազրկման համեմատաբար ոչ մեծ տևողության դեպքում (մինչև 1 ժամ) բարձր ջերմաստիճանների տակ ստացվում են համեմատաբար բարձր ջրազրկման արժեքներ, ցածր ջերմաստիճանների տակ՝ ցածր: Տասը և ավել ժամ տևողության դեպքում (նմուշ 3) ջրազրկման աստիճանը, ըստ էության, մնում է հաստատուն անկախ ջերմաստիճանից: Ռենտգենաֆազային հետազոտության համաձայն նմուշների ջրազրկումը բոլոր դեպքերում ընթանում է որոշակի քանակության ֆորստերիտի գոյացմամբ: Ընդ որում, 10 և ավելի ժամ ջրազրկման տևողությունից հետո, անկախ ջերմաստիճանից, ֆորստերիտի հարաբերական ինտենսիվությունը դառնում է գերակշռող: Ֆորստերիտի գերակշռող դիրքը պահպանվում է նաև 695...715 °C-ում կարճ տևողությամբ ջրազրկման դեպքում, 660 °C-ից ցածր 1 ժամ ջրազրկման տևողության դեպքում ֆորստերիտի համեմատական ինտենսիվությունը նվազում է՝ հասնելով 35...32 % -ի: Այդ հանգամանքը՝ համեմատաբար բարձր ջրազրկման աստիճանով հանդերձ, պատճառ է հանդիսացել՝ 660 °C-ը և 1 ժամ տևողությունը որպես ջրազրկման նախնական օպտիմալ պայմաններ ընտրելու համար: Այդ պայմանների վերջնական ընտրության նպատակով վերը նկարագրված ձևով ապարափոշիների ջերմամշակման համար օգտագործելով ճենապակյա թասիկներ (2 թասիկ, յուրաքանչյուրում 60 գրամ ապարափոշի), սինթեզվել են սերպենտինիտային ցեմենտի նոր փորձաքանակներ: Ստացված ցեմենտները օգտագործումից անմիջապես առաջ լրացուցիչ մանրացվել են մոլորակային աղացում (քալքեդոնային թմբուկներ և գնդիկներ) մեկ ժամ տևողությամբ և մաղվել են 100 մկմ անցքեր ունեցող մաղով: Մանրացումից հետո յուրաքանչյուր ելանյութային նմուշից ստացված ցեմենտի ու կվարցային ավազի հիման վրա պատրաստվել են 1:1 կշռային հարաբերությամբ և 35 % ջրի հավելմամբ շաղախներ ու 1 օր կաղապարի մեջ և 6 օր կաղապարից դուրս խոնավ պայմաններում, 24 օր ջրի մեջ, ապա 1 ամիս օդում պահելուց հետո որոշվել են նմուշների հիմնական հատկությունները: Շաղախներում որպես լցիչ օգտագործված կվարցային ավազի 300...100 մկմ չափեր ունեցող մասնիկների քանակությունը կազմել է 74 %, 100 մկմ-ից ցածր, մասնիկներինը՝ 26 %: Ստացված արդյունքները բերված են աղյուսակ 3-ում:

Սպասվածի համաձայն մաքուր ցեմենտի ամրության սահմանը, ինչպես ծոման, այնպես էլ սեղմման նկատմամբ ավելի քան 2 անգամ գերազանցում է շաղախների ամրությանը: Բոլոր կվարցային շաղախներից համեմատաբար բարձր ամրության սահմաններ է ցուցաբերել № 2 ապարափոշուց 660 °C-ի տակ 1 ժամ տևողությամբ ջրազրկված ցեմենտի հիման վրա պատրաստված շաղախը, 695 և 715 °C-ի տակ ջրազրկված № 1 ապարափոշու հիման վրա պատրաստված շաղախները, հավանաբար, ֆորստերիտի բարձր պարունակության պատճառով, ցուցաբերում են պակաս կապակցման ունակություն, քան 660 °C-ի տակ ստացված ցեմենտը: Ստացված արդյունքների հիման վրա, որպես ջրազրկման օպտիմալ պայմաններ վերջնականապես ընտրվել են 660 °C-ն և 1 ժամը:

Ուշադրության է արժանի նաև շաղախների ծոման և սեղմման նկատմամբ ամրության սահմանների խիստ ցածր հարաբերակցությունը ջրազրկման 660 °C-ի դեպքում (1.5...2.8): Հավանաբար այդ հանգամանքը պայմանավորված է նրանով, որ ցեմենտ-ավազային շաղախների ամրության սահմանների որոշման համար նախատեսված չափերի (10x10x10 սմ սեղմման և 4x4x16 սմ ծոման նկատմամբ) փոխարեն ցեմենտի սահմանափակ քանակության պատճառով (120 գ), այդ

մեծությունները մեր կողմից որոշվել են խեցանյութերի համար նախատեսված չափսի փորձանմուշների վրա ($\emptyset = 35$, $h = 35$ մմ սեղմման և $4,5 \times 4,5 \times 35$ մմ ծռման համար), որի դեպքում ամրության սահմանները շատ ավելի զգայուն են դառնում նմուշում ծակոտիների և ճաքերի առկայության նկատմամբ:

Աղյուսակ 3

Տարբեր պայմաններում ստացված սերպենտինիտային ցեմենտի ու կվարցային ավազի հիման վրա 1:1 կշռային հարաբերությամբ պատրաստված շաղախների հիմնական հատկությունները

Չ/Չ ^{*)}	Ցեմենտի ստացման պայմանները, °C, ժամ	Կապակցված նմուշի ծավալային կշիռը, (d _p), գ/սմ ³	Նմուշի պիկնոմետրիկ խտությունը, (d _p), գ/սմ ³	**)Նմուշի ջրակլանման աստիճանը, %	Նմուշի ծակոտկենությունը, %		Ամրության սահմանը, կգ/սմ ²	
					բաց (Բծ)	ընդհանուր (Ըծ)	ծռման նկատմամբ (Շծ)	սեղմման նկատմամբ (Տս)
1	660; 1 (առանց լցիչի)	1,71	2,45	16,1	27,5	30,2	47	75
	660; 1,0	1,81	2,51	14,3	25,9	27,9	21	31
	695; 0,5	1,85	2,60	11,9	22,0	28,9	16	16
	715; 0,2	1,84	2,70	12,5	23,0	28,9	15	16
2	660; 1,0	1,85	2,65	11,5	21,3	30,2	24	68
3	660; 1,0	1,68	2,42	13,1	22,0	30,9	30	43

*)Նմուշների համարակալումը համապատասխանում է աղյուսակ 1-ին:

**)Որոշված է սեյսակային ջերմաստիճանում 24 ժամ պահելուց հետո:

Ի մի բերելով ասվածը՝ կարելի է արձանագրել.

- 645...660 °C-ի տակ 1 ժամ տևողությամբ ջրազրկման արդյունքում Սևանի ավազանի մագնեզիումի հիդրոսիլիկատային ապարների հիման վրա հնարավոր է ստանալ ծռման նկատմամբ բավականին բարձր ամրության սահման ունեցող հիդրավիկ կապակցանյութ – սերպենտինիտային ցեմենտ:
- Շորժայի գաբրոպերիդոտիտային զանգվածի երեք տարբեր տեղամասերից վերցրած ապարանմուշների տարբեր ջերմաստիճանների ու ժամանակահատվածների տակ ջրազրկման արդյունքում ստացված ցեմենտների ռենտգենաֆազային հետազոտության, ինչպես նաև դրանց ու կվարցային ավազից 1:1 հարաբերակցությամբ պատրաստված շաղախների ամրության որոշման ճանապարհով ընտրվել են սերպենտինիտային ցեմենտի ստացման օպտիմալ պայմանները՝ 660 °C, 1 ժամ:

Ստացված արդյունքները կարող են հիմք ծառայել հետագա ծավալուն հետազոտությունների համար՝ նպատակ ունենալով տեղական հումքի հիման վրա ստանալ նվազագույն էներգատարությամբ և հեռանկարային հատկություններով օժտված համեմատաբար նոր կապակցանյութ:

1. Геодакян Д.А., Петросян Б.В., Геодакян К.Д. Особенности серпентинитового цемента и возможность его производства в Армении // Տեղեկագիր Հայաստանի Շինարարների. – 2009. - Թիվ 12 (148). - Էջ 7-11:
2. Промежуточный отчет о поисково-технологических работах по установлению пригодности магнезиально-силикатных пород в качестве формовочного материала, проведенных Севанской партией в 1963-64 г. - Ереван, 1965.
3. Абовян С.Б. Ультраосновные и основные породы офиолитовой формации. - В кн.: Геология Армянской ССР. – Т. 3. – Ереван, 1966. - С 323-389.

Նյութը քննարկվել է զինարտադրական ձեռնարկություն (ՆԳՍՀ «ՓԲԸ»): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.01.2010:

Դ.Ա. ԵՊՈՒԿՅԱՆ, Բ.Վ. ՍԵՐՈՍՅԱՆ, Կ.Դ. ԵՊՈՒԿՅԱՆ, Ր.Վ. ԻՏՐԱԵԼՅԱՆ

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОСТОЙКОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТНЫХ ПОРОД МАГНИЯ

Путем обезвоживания гидросиликатных пород магнезита Севанского бассейна, в частности серпентинизированных перидотитов, в температурном интервале 645...715 °С получено водостойкое гидравлическое вяжущее – серпентинитовый цемент. Определены оптимальные условия получения серпентинитового цемента и основные свойства его растворов с кварцевым песком.

Ключевые слова: серпентинитовый цемент, гидросиликатная порода, вяжущее, бетон.

J.A. GEODAKYAN, B.V. PETROSYAN, K.T. GEODAKYAN, R.V. ISRAELYAN

WATER-RESISTANT CLUSTER OBTAINING BASED ON HYDROSILICATE ROCKS OF MAGNESITE

Based on hydrosilicate rocks of magnesite of Sevan basin, particularly serpentinized peridotite, in the sphere of 645...715 °C through dehydration a water-resistant hydraulic cluster – serpentinite cement was obtained. The optimal conditions of serpentinite cement obtaining, the main properties of it and cement-sand mortars were determined.

Keywords: serpentinite cement, hydrosilicate rock, cluster, mortar.

ՀՏԴ 621.175

ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ

Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Ե.Ռ. ՇԱՄՍՅԱՆ

ԶԷԿ-ԵՐՈՒՄ ԼԱՎԱՐԿԱՅԻՆ ՎԱԿՈՒՈՒՄԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ՝ ՀԱՇՎԻ ԱՌՆԵԼՈՎ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐԻ ՆԵՐՔԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻՆ ՆԱՏՎԱԾՔԱԳՈՅԱՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ

Հետազոտվել են ԶԷԿ-երի կոնդենսացիոն տեղակայանքների աշխատանքային լավարկային ռեժիմները: Մշակվել է մեթոդ կոնդենսատորում լավարկային վակուումի որոշման համար՝ կախված հովացման ներքին մակերևույթներից աղտոտման դինամիկայի ազդեցությունից:

Առանցքային բառեր. լավարկային վակուում, հովացմող ջուր, շրջանառության պոմպ, մակերևութային կոնդենսատոր, նստվածքային շերտի հաստություն, հիդրավլիկական դիմադրություն:

ԶԷԿ-երի և ԱԷԿ-ների կոնդենսացիոն տեղակայանքներում վակուումի լավարկային արժեքների ապահովումը կայանի արդյունավետ աշխատանքի կարևորագույն պայմաններից է: Կոնդենսատորում լավարկային վակուում ասելով հասկանում ենք մնացած հավասար պայմանների դեպքում հովացմող ջրի ծախսի այնպիսի արժեքի ընտրում, որպեսզի բլոկի զարգացրած հզորության և շրջանառության պոմպերի վրա ծախսվող էլեկտրական հզորության միջև տարբերությունը լինի առավելագույնը: Այսինքն.

$$N_t - N_{2\omega} \Rightarrow \max \quad \text{կամ} \quad \Delta N_t - \Delta N_{2\omega} \Rightarrow \max, \quad (1)$$

որտեղ N_t և ΔN_t -ն ենթագաբլոկի զարգացրած հզորության և վերջինիս փոփոխության արժեքներն են, իսկ $N_{2\omega}$ և $\Delta N_{2\omega}$ -ը՝ շրջանառության պոմպի հզորությունը և վերջինի փոփոխությունը:

(1) առնչությունը դիտարկվող խնդրի մաթեմատիկական ամենաընդհանուր ձևակերպումն է: Այս խնդրին նվիրված աշխատանքներում [1-5] որոշվել են լավարկային վակուում ապահովող հովացմող ջրի ծախսերը տարբեր շոգեբեռնվածքներում և սկզբնական տարբեր ջերմաստիճաններում: Սակայն այդ աշխատանքների վերլուծությունը ցույց տվեց մեկ ընդհանուր թերություն, որը առկա էր գրեթե բոլոր աշխատանքներում: Խոսքը վերաբերում է կոնդենսատորում հովացման պրոցեսի ինտենսիվության վրա էական ազդեցություն ունեցող խողովակների ներսի պատերին նստվածքազոյացման ազդեցությունը հաշվի չառնելուն: Կոնդենսատորների աղտոտման բնութագրիչ պարամետր ընտրելով նստվածքային շերտի միջին հաստությունը կամ ջերմաստիճանային թերտաքացման չափը՝ (1) առնչության միջոցով կարելի է իրականացնել խնդրի լուծումը՝ միայն տվյալ պահի համար, այսինքն՝ նստվածքային շերտի որոշակի արժեքին համապատասխան: Իրականում կոնդենսատորների աղտոտումն ունի դինամիկ բնույթ, այսինքն՝ երկու հաջորդական մաքրումների միջև ընկած ժամանակահատվածում անընդհատ աճող ֆունկցիա է: Սակայն առավելապես կարևոր է խողովակներում հոսող ջրի ազդեցության գնահատումը աղտոտման դինամիկայի վրա: Ինչպես կարելի է համոզվել [6]-ում առաջարկվող էմպիրիկ բանաձևից, այդ ազդեցությունը էական է, և որքան փոքր է հովացմող ջրի արագու-

թյունը կամ ծախսը, այնքան ավելի ինտենսիվ է դառնում նստվածքագոյացման պրոցեսը հովացման ներքին մակերևույթների վրա: Այստեղից կարելի է հետևություն անել, որ խնդրի առավել ամբողջական դիտարկման համար անհրաժեշտ է հովացնող ջրի լավարկային վակուում ապահովող ծախսը որոշել ոչ թե զարգացրած հզորությունների դեպքում, այլ որևէ բնութագրիչ ժամանակահատվածում արտադրված և շրջանառության պոմպերի վրա ծախսված էլեկտրական էներգիաների քանակությունների տարբերության առավելագույն արժեքի որոնման միջոցով, որը հնարավորություն կտա հաշվի առնել նաև ժամանակի ընթացքում աղտոտման դինամիկայի ազդեցությունը: Այսինքն՝ ընդհանուր դեպքում (1) արտահայտությունը կվերափոխվի հետևյալ կերպ.

$$\Theta_t - \Theta_{2\omega} \Rightarrow \max. \quad (2)$$

որտեղ Θ_t -ն կարելի է ներկայացնել տրված ժամանակահատվածում հովացնող ջրի սկզբնական միջին ջերմաստիճանին և շոգեբեռնվածքին համապատասխան էլեկտրաէներգիայի և այդ նույն ժամանակահատվածում աղտոտման հետևանքով էլեկտրաէներգիայի կորստի տարբերությամբ, այսինքն.

$$\Theta_t = N_t \cdot \tau - \int_0^t \Delta N_{\omega\eta\sigma} d\tau. \quad (3)$$

որտեղ τ -ն բնութագրիչ ժամանակահատվածն է, օրինակ՝ երկու մաքրումների միջև ընկած ժամանակը:

Շրջանառության պոմպերի վրա ծախսվող էլեկտրաէներգիան այդ նույն ժամանակում կլինի հավասար.

$$\Theta_{2\omega} = N_{2\omega} \cdot \tau: \quad (4)$$

Հետևաբար (2) առնչությունը կգրվի հետևյալ կերպ.

$$N_t \cdot \tau - \int_0^t \Delta N_{\omega\eta\sigma} d\tau - N_{2\omega} \cdot \tau \Rightarrow \max: \quad (5)$$

Տրված τ ժամանակում տեխնիկապես մաքուր կոնդենսատորի շահագործման դեպքում (5) արտահայտության մեջ երկրորդ անդամը կհավասարվի 0-ի, և կունենանք մասնավոր դեպք՝ (1) առնչությունը: Սակայն հնարավոր է նաև հերթական մաքրումից հետո կոնդենսատորի հովացման մակերևույթները չվերադառնան սկզբնական վիճակին, այսինքն՝ առկա լինի նստվածքի որոշակի քանակություն (որը հաճախակի պատահում է իրական շահագործման պայմաններում): Այս դեպքում (5)-ի առաջին և երկրորդ անդամները կորոշվեն՝ հաշվի առնելով տվյալ նստվածքային շերտի սկզբնական արժեքը:

Նշենք նաև, որ (5) արտահայտության էքստրեմումը գտնելու համար այն պետք է դիֆերենցենք ըստ հովացնող ջրի ծախսի, այսինքն՝ առնչության մեջ որպես փոփոխական կհանդիսանա հովացնող ջրի ծախսը կամ նրա հարաբերական չափը հաշվարկայինի նկատմամբ.

$$\beta_G = G_{hp} / G_{hp0}, \quad (6)$$

որտեղ G_{hp} և G_{hp0} հովացնող ջրի ծախսի ընթացիկ և հաշվարկային արժեքներն են:

(5)-ում N_t և $\Delta N_{\text{աղտ}}$ -ը կորոշվեն [7]-ում առաջարկվող մեթոդիկայի հիման վրա, որը հաշվի է առնում կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով ջերմային և հիդրավիկական ռեժիմների փոփոխությունները աշխատանքային ցուցանիշների վրա:

Ինչպես կարելի է նկատել ($N_t \cdot \tau - \int_0^{\tau} \Delta N_{\text{աղտ}} d\tau$), տարբերությունը հնարավոր է ներկայացնել $\int_0^{\tau} N_{\text{աղտ}} d\tau$ տեսքով, որը կներառի աղտոտման հետևանքով հզորության

անկման մեծության չափը: Սակայն վերջինիս վերաբերյալ առանձին վերլուծության համար առավել նպատակահարմար է խնդրի (5) տեսքով ներկայացումը: Այսպիսով, N_t -ը կորոշենք առանձին, որտեղ տրված շոգեբեռնվածքի դեպքում հիմնական փոփոխականներն են հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանը, նստվածքային շերտի հաստության ելակետային արժեքը և հովացնող ջրի բացարձակ կամ հարաբերական ծախսը.

$$N_t = f(t_{1\text{հզ}}, \delta_0, \beta_G): \quad (7)$$

(5)-ում երկրորդ անդամը ներկայացնում է $\Delta N_{\text{աղտ}}$ մեծության ինտեգրալային արժեքը $0 \dots \tau$ սահմաններում: Այսինքն՝ անհրաժեշտություն է առաջանում ունենալու ինտեգրելի բանաձև: [8]-ում հիմք ընդունելով [9]-ը՝ մշակվել է կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով հզորության անկման չափի որոշման եռագործոն մաթեմատիկական մոդել՝ կախված հովացնող ջրի սկզբնական ջերմաստիճանից, նստվածքային շերտի հաստությունից և հովացնող ջրի հարաբերական ծախսից.

$$\Delta N_{\text{աղտ}} = f(t_{1\text{հզ}}, \delta, \beta_G): \quad (8)$$

(8)-ը բազմանդամային տեսքով հետևյալն է.

$$\begin{aligned} \Delta N_{\text{աղտ}} = & E_2 \delta + E_{12} t_{1\text{հզ}} \delta + E_{22} \delta^2 + E_{23} \delta \beta_G + E_{112} t_{1\text{հզ}}^2 \delta + \\ & + E_{122} t_{1\text{հզ}} \delta^2 + E_{123} t_{1\text{հզ}} \delta \beta_G + E_{223} \delta^2 \beta_G + E_{233} \delta \beta_G^2 + E_{1122} t_{1\text{հզ}}^2 \delta^2 + \\ & + E_{1123} t_{1\text{հզ}}^2 \delta \beta_G + E_{1223} t_{1\text{հզ}} \delta^2 \beta_G + E_{1233} t_{1\text{հզ}} \delta \beta_G^2 + E_{2233} \delta^2 \beta_G^2 + \\ & + E_{11223} t_{1\text{հզ}}^2 \delta^2 \beta_G + E_{11233} t_{1\text{հզ}}^2 \delta \beta_G^2 + E_{12233} t_{1\text{հզ}} \delta^2 \beta_G^2 + E_{112233} t_{1\text{հզ}}^2 \delta^2 \beta_G^2 : \end{aligned} \quad (9)$$

Իրականացված մաթեմատիկական ձևափոխությունների արդյունքում [10] առաջարկվում է կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով, ժամանակից կախված հզորության անկման չափի որոշվող ինտեգրելի արտահայտություն, որի տեսքը հետևյալն է.

$$\Delta N_{\text{աղտ}} = M \cdot \left(\frac{\begin{pmatrix} Y_1 X_2 - Y_2 X_1 & Y_2 - Y_1 \\ X_2 - X_1 & \tau X_2 - X_1 \end{pmatrix}^2}{P_{\text{նստ.}}} \right) + K \cdot \left(\frac{\begin{pmatrix} Y_1 X_2 - Y_2 X_1 & Y_2 - Y_1 \\ X_2 - X_1 & \tau X_2 - X_1 \end{pmatrix}}{P_{\text{նստ.}}} \right), \quad (10)$$

որտեղ M և K ներկայացնում են.

$$M = (E_{112233}t_{1hg}^2\beta_G^2 + E_{11233}t_{1hg}\beta_G^2 + E_{11223}t_{1hg}^2\beta_G + E_{1133}\beta_G^2 + \\ + E_{1123}t_{1hg}^2\beta_G + E_{1122}t_{1hg}^2 + E_{113}\beta_G + E_{112}t_{1hg} + E_{11}),$$

$$K = (E_{12233}t_{1hg}^2\beta_G^2 + E_{1223}t_{1hg}\beta_G^2 + E_{1233}t_{1hg}\beta_G^2 + E_{122}t_{1hg}^2 + E_{123}t_{1hg}\beta_G + \\ + E_{133}\beta_G^2 + E_{12}t_{1hg} + E_{13}\beta_G + E_1),$$

իսկ $Y_1 = \lg \bar{J}_{1(3000)}$, $Y_2 = \lg \bar{J}_{2(6000)}$, $X_1 = \lg 3000$, $X_2 = \lg 6000$:

(10) արտահայտության ինտեգրալը 0-ից τ տիրույթում հավասար է.

$$\int_0^\tau \Delta N_{\text{արտ}} d\tau = \frac{M \cdot 10}{(\rho_{\text{նստ.}})^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1} \cdot \tau_{\text{opt}}^{\left(2 \cdot \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1\right)} + \frac{K \cdot 10}{\rho_{\text{նստ.}}} \cdot \frac{1}{\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1} \cdot \tau_{\text{opt}}^{\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1\right)} \quad (11)$$

(11) բանաձևը վերաբերում է այն դեպքին, երբ ժամանակի սկզբնապահին կոնդենստորը գտնվում է մաքուր վիճակում, սակայն ինչպես նշվեց վերևում, իրական պայմաններում առկա է որոշակի δ_0 նստվածքային շերտ, որը հաշվի առնելով, կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\int_{\tau_0}^\tau \Delta N_{\text{արտ}} d\tau = \frac{M \cdot 10}{(\rho_{\text{նստ.}})^2} \cdot \frac{1}{2 \cdot \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1} \left[\tau^{\left(2 \cdot \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1\right)} - \tau_0^{\left(2 \cdot \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1\right)} \right] + \\ + \frac{K \cdot 10}{\rho_{\text{նստ.}}} \cdot \frac{1}{\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1} \left[\tau^{\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1\right)} - \tau_0^{\left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} + 1\right)} \right] \quad (12)$$

որտեղ τ_0 -ն կորոշվի՝ կախված δ_0 մեծությունից.

$$\tau_0 = \left(\frac{\delta_0 \cdot \rho_{\text{նստ.}}}{\frac{Y_1 X_2 - Y_2 X_1}{X_2 - X_1}} \right)^{\frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1}} :$$

(11) և (12) արտահայտություններով կարող ենք հաշվել տրված τ ժամանակահատվածում կոնդենստորների աղտոտման հետևանքով չարտադրված էլեկտրաէներգիայի քանակությունը: Ինչ վերաբերում է հովացնող ջրի կամ արագության պարամետրին, ապա այն որպես փոփոխական հաշվի է առնվում

$Y_1 = \lg \bar{J}_{1(3000)}$, $Y_2 = \lg \bar{J}_{2(6000)}$ արտահայտություններում, որոնք որոշվում են.

$$\left\{ \begin{aligned} Y_1 = \lg \bar{J}_{1(3000)} &= \lg \frac{0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_0} \right)^{0,25} w^{-1,875} \times 0,288 \cdot 57,8}{2} \left(\bar{t}_I^{-0,37} + \bar{t}_{II}^{-0,37} \right), \\ Y_2 = \lg \bar{J}_{2(6000)} &= \lg \frac{0,6 \cdot \left(\frac{L}{d_0} \right)^{0,25} w^{-2,36} \times 0,38 \cdot 77,5}{2} \left(\bar{t}_I^{-0,44} + \bar{t}_{II}^{-0,44} \right); \end{aligned} \right. \quad (13)$$

(13)-ում w հովացնող ջրի արագությունը ըստ անխզելիության հավասարման կորոշվի.

$$w = \frac{4\beta_G G_{\text{հոշ}} z}{\rho_z \pi d_0^2 N}, \quad (14)$$

որտեղ z -ը կոնդենսատորում ջրի քայլերի թիվն է, ρ_z -ը՝ ջրի խտությունը, kg/m^3 , N -ը՝ կոնդենսատորում խողովակների թիվը:

(5)-ում երրորդ անդամը շրջանառության պոմպերի վրա ծախսվող էլեկտրական էներգիայի քանակությունն է: Կախված ջրամատակարարման համակարգի տեսակից (ուղղահիս, շրջապտույտային), պոմպերի քանակից, ջրի մատուցման անհատական կամ կենտրոնական (ընդհանուր կոլեկտորով) եղանակից, $N_{2\text{պ}}$ -ը կունենա տարբեր արժեքներ և կորոշվի տարբեր կերպ: Ընդհանուր դեպքում $N_{2\text{պ}}$ -ը կորոշվի՝ ըստ շրջանառության կոնտուրի հիդրավլիկական դիմադրության և մղվող ջրի ծախսի.

$$N_{2\text{պ}} = \frac{k G_{\text{հոշ}} \Delta H \cdot 10}{\rho_z \eta_{\text{պ}}}, \quad (15)$$

որտեղ k -ն գործակից է, որը հաշվի է առնում յուղա և գազահովացուցիչների, առանցքակալների հովացման, հիդրոխարամահեռացման և այլ նպատակներով ծախսվող ջրի քանակները: Այդ գործակիցը միջին և բարձր հզորության էներգաբլոկների համար կազմում է կոնդենսատորի հովացման համար անհրաժեշտ ջրի քանակության 3...7 %-ը, ΔH -ը հիդրավլիկական դիմադրությունները հաղթահարելու համար ճնշման էջն է, ρ_z , $\eta_{\text{պ}}$ -ը պոմպի օ.գ.գ.-ն:

ΔH -ը որոշվում է.

$$\Delta H = \Delta H_{\text{կ}} + \Delta H_{2\text{կ}} + h, \quad (16)$$

որտեղ $\Delta H_{\text{կ}}$ -ն կոնդենսատորի հիդրավլիկական դիմադրությունն է, ρ_z , $\Delta H_{2\text{կ}}$ -ն՝ մատակարարող և հետադարձ խողովակագծերում հիդրավլիկական դիմադրությունը, ρ_z , h -ը ջրի վերահանման գեոդեզիական բարձրությունը, որը հավասար է ջրնետման և ջրընդունման մակարդակների տարբերությանը, ρ_z :

$\Delta H_{\text{կ}}$ -ն կորոշվի [11]-ում առաջարկվող բանաձևով: Ընդ որում, բանաձևում միակ փոփոխվող մեծությունը հովացնող ջրի արագությունն է, որը արտահայտելով

ջրի ծախսով և մնացած պարամետրերի ամբողջությունը նշանակելով Q_1 տառով, կարող ենք գրել.

$$\Delta H_1 = Q_1 \beta_G^2 : \quad (17)$$

Երջանառության կոնտուրի հիդրավիկական դիմադրությունը կորոշվի Դարսի-Վեյսբախի բանաձևով, որը կարելի է նույնպես ներկայացնել հետևյալ կերպ.

$$\Delta H_2 = Q_2 \beta_G^2 : \quad (18)$$

(17) և (18)-ը տեղադրելով (15)-ում՝ կարող ենք գրել.

$$N_{շպ} = \frac{k G_{\text{հո}} \beta_G (Q_1 \beta_G^2 + Q_2 \beta_G^2 + h) \cdot 10}{\rho_g \eta_{\text{պ}}} : \quad (19)$$

(19)-ում միակ փոփոխականը հովացնող ջրի ծախսն է, այսինքն՝ տվյալ պարագայում.

$$N_{շպ} = f(\beta_G) : \quad (20)$$

Արդյունքում (5) առնչությունը դիֆերենցելով ըստ β_G -ի, հավասարեցնելով 0-ի և լուծելով՝ կորոշենք հովացնող ջրի ծախսի այն արժեքը, որը կապահովի սպառողներին բաց թողնվող էլեկտրաէներգիայի առավելագույն քանակություն՝ հաշվի առնելով կոնդենսատորի հովացման ներքին մակերևութներին նստվածքային շերտի առկայությունը և տրված բնութագրիչ ժամանակահատվածում նստվածքագոյացման դինամիկան:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Егоров В.Е. Оптимизация с помощью вычислительной машины режима циркуляционного водоснабжения // Электрические станции.-1975.- № 11.-С. 71-73.
2. Кикиш О.В. Оптимизация работы системы технического водоснабжения Приднепровской ГРЭС // Электрические станции.-1982.- № 6.- С. 40-53.
3. Бернштейн В.А., Клямкин С.Л., Рывкин М.И. Определение оптимального вакуума конденсационных паровых турбин с индивидуальными циркуляционными насосами // Промышленная энергетика.-1986.- N 3.- С. 36-37.
4. Зусманович Л.Б., Федотов В.И. Определение оптимального расхода циркуляционной воды на блоке мощностью 800 МВт // Теплоэнергетика.-1984.- № 2.- С. 27-30.
5. Завидин А.П. Расчет на ЭВМ оптимальных режимов работы конденсационной установки турбины К-300-240 ХТГЗ // Электрические станции.-1986.- № 2.- С. 72-73.
6. Буглаев В.Т., Лифшиц М.Н., Татарничева Т.И. Некоторые особенности процесса отложений в трубках конденсаторов ПТУ // Известия вузов. Серия Машиностроение.-1983.- № 7.-С. 56-59.
7. Մարության Ո.Ջ., Շամայան Ե.Ռ. ՋէԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով ջերմային ռեժիմի փոփոխության հաշվարկի մեթոդ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՀԳՖՅ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.-2009.-Հ.62, № 2.- էջ 163-170:
8. Շամայան Ե.Ռ. ՋէԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների աղտոտման հետևանքով էլեկտրական հզորության անկման մաթեմատիկական մոդելի մշակումը // ՀՃԱ ԼՐԱԲԵՐ.-2009.-Հ.6, № 3.-էջ 377-380:

9. Баласанян Б.С., Акопян М.Г., Баласанян А.Б. Методика разработки виртуального прибора в среде LabView для моделирования трехфакторных экстремальных технологических процессов // "Технологии и техника автоматизации - 2008": Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию ГИУА. -2008.-С.183-195.
10. Սարուխյան Ռ.Ջ., Շամամյան Ե.Ռ. ՋէԿ-երի մակերևութային կոնդենսատորների փորձերական մաքրումների արդյունավետ ժամանակացույցի որոշման մեթոդի մշակում // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԴԵՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.-2009.-Ղ.62, № 3.-էջ 318-329:
11. Технико-экономические основы выбора параметров КЭС / Под ред. Л.С. Стермана. - М.: Высшая школа, 1970.- 280с.

ՀԴԵՀ(Դ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 13.09.2010:

В.З. МАРУХЯН, Е.Р. ШАМАМЯН

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАКУУМА НА ТЭС С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОНДЕНСАТОРА

Исследованы оптимальные режимы работы конденсационных устройств ТЭС. Разработан метод определения оптимального вакуума в конденсаторах, который учитывает влияние динамики загрязнения на внутренних охлаждаемых поверхностях.

Ключевые слова: оптимальный вакуум, охлаждающая вода, циркуляционный насос, поверхностный конденсатор, толщина слоя накипи, гидравлическое сопротивление.

V.Z. MARUKHYAN, YE.R. SHAMAMYAN

A METHOD FOR DEFINING THE OPTIMAL VACUUM DEVELOPMENT IN TPP DUE TO SCALE FORMATION DYNAMICS ON INNER SURFACES OF CONDENSER

The optimal operation regimes of TPP condensers are studied. A method defining the optimal vacuum in condensers which includes the influence of the pollution dynamics on inner cooling surfaces is developed.

Keywords: optimal vacuum, cooling water, circulating pump, surface condenser, thickness of scale formation, hydraulic resistance.

Л.В. ЕГИАЗАРЯН, В.С. САФАРЯН, Л.О. КАРАХАНЫАН, А.С. АРУТЮНЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНИИ С РАСПОЛОЖЕННЫМИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПРОВОДАМИ

На основе аналитического метода расчета напряженности электрического поля (ЭП) трехфазной воздушной линии проанализирована интенсивность ЭП в пространстве между фазными проводами и землей. По результатам численного расчета напряженности ЭП показано, что вектор напряженности никогда не обращается в нуль, а описывает в течение одного периода синусоидальных фазных напряжений эллипс. Определены экстремальные значения напряженности (большая и малая оси эллипса).

Ключевые слова: высоковольтные воздушные линии, электрическое поле, вертикальная и горизонтальная составляющие вектора напряженности.

В настоящее время всё большее внимание уделяется биологическому и физиологическому влиянию высоковольтных линий (ВЛ) электропередачи. Основным показателем указанного влияния является напряженность ЭП, посредством которой определяется степень её влияния на обслуживающих электроустановки людей и окружающую среду [2-4]. В связи с этим важной задачей является получение профилей распределения напряженности ЭП в пространстве между фазными проводами ВЛ и поверхностью земли с учётом вращающегося характера ЭП трехфазной линии, чтобы выяснить, опасны ли эти поля для людей и жизни живых организмов. При этом вектор напряженности ЭП ВЛ в течение периода синусоидально изменяющихся фазных напряжений не обращается в нуль, описывая эллипс (в некоторых точках – окружность).

В настоящей статье приводятся результаты аналитического расчета вертикальной и горизонтальной составляющих вектора напряженности электрического поля ВЛ и дается анализ полученных численных значений напряженности на примере реальных геометрических параметров линии 220 кВ.

На рис. 1 показаны сечения трехфазных проводов радиуса r_n с расстоянием между фазами D и высотой геометрических центров фаз над землей, равной H . Показаны также зеркальные отображения центров фаз в плоскости земли. Линейные плотности зарядов фазных проводов обозначены через τ_1, τ_2, τ_3 , а зеркальных отображений – через $-\tau_1, -\tau_2$ и $-\tau_3$.

Вектор напряженности ЭП в точке, находящейся на расстоянии x по горизонтальной оси и y по вертикальной оси (рис. 1), определяется геометрическим суммированием его составляющих от зарядов $\tau_1, \tau_2, \tau_3, -\tau_1, -\tau_2, -\tau_3$, соответствующих фазам А, В, С.

Мгновенные значения вертикальной (E_y) и горизонтальной (E_x) составляющих напряженности ЭП в рассматриваемой точке равны соответственно:

$$E_y(t) = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \frac{H-y}{(H-y)^2+x^2} + \frac{\tau_2}{2\pi\epsilon_0} \frac{H-y}{(H-y)^2+(D+x)^2} + \frac{\tau_3}{2\pi\epsilon_0} \frac{H-y}{(H-y)^2+(2D+x)^2} +$$

$$+ \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \frac{H+y}{(H+y)^2+x^2} + \frac{\tau_2}{2\pi\epsilon_0} \frac{H+y}{(H+y)^2+(D+x)^2} + \frac{\tau_3}{2\pi\epsilon_0} \frac{H+y}{(H+y)^2+(2D+x)^2}, \quad (1)$$

$$E_x(t) = -\frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \frac{x}{(H-y)^2+x^2} - \frac{\tau_2}{2\pi\epsilon_0} \frac{D+x}{(H-y)^2+(D+x)^2} - \frac{\tau_3}{2\pi\epsilon_0} \frac{2D+x}{(H-y)^2+(2D+x)^2} +$$

$$+ \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \frac{x}{(H+y)^2+x^2} + \frac{\tau_2}{2\pi\epsilon_0} \frac{D+x}{(H+y)^2+(D+x)^2} + \frac{\tau_3}{2\pi\epsilon_0} \frac{2D+x}{(H+y)^2+(2D+x)^2}. \quad (2)$$

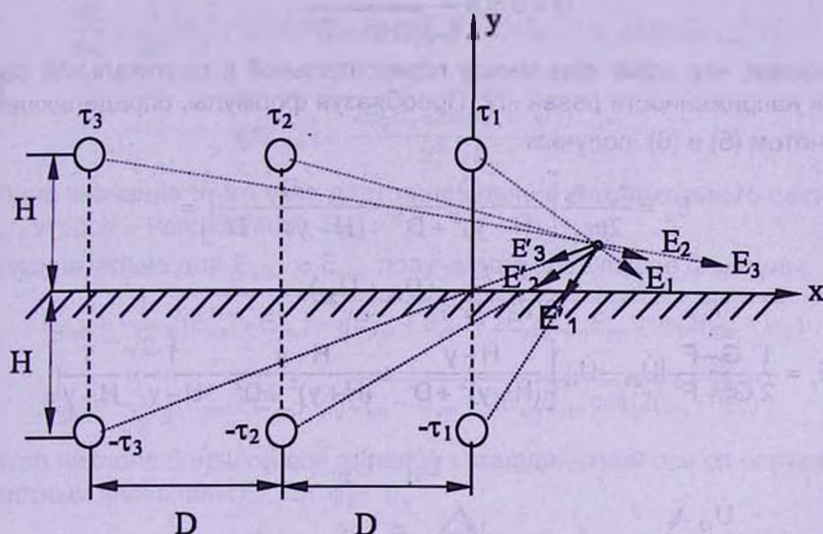


Рис. 1. К определению вектора напряженности ЭП трехфазной линии

Предполагается, что сумма зарядов всех фаз равна нулю:

$$\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = 0. \quad (3)$$

Выразив τ_2 через τ_1 и τ_3 , уравнение (2) принимает следующий вид:

$$E_x(t) = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{x}{(H-y)^2+x^2} - \frac{D+x}{(H-y)^2+(D+x)^2} - \frac{x}{(H+y)^2+x^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{D+x}{(H+y)^2+(D+x)^2} \right] + \frac{\tau_3}{2\pi\epsilon_0} \left[\frac{2D+x}{(H-y)^2+(2D+x)^2} - \frac{D+x}{(H-y)^2+(D+x)^2} + \right.$$

$$\left. + \frac{D+x}{(H+y)^2+(D+x)^2} - \frac{2D+x}{(H+y)^2+(2D+x)^2} \right] \quad (4)$$

В комплексной форме $\dot{E}_x$ и $\dot{E}_y$ выражаются аналогично, заменяя мгновенные значения τ_1, τ_2, τ_3 на их комплексы $\dot{\tau}_1, \dot{\tau}_2, \dot{\tau}_3$.

Комплексные значения линейных плотностей зарядов можно выразить через линейные напряжения $\dot{U}_{12}$, $\dot{U}_{23}$ и $\dot{U}_{31}$ [1]:

$$\dot{\tau}_1 = \pi \epsilon_0 \frac{\dot{U}_{12} F + \dot{U}_{23} G}{F^2 - G^2}, \quad \dot{\tau}_2 = \pi \epsilon_0 \frac{\dot{U}_{23} - \dot{U}_{12}}{F + G}, \quad \dot{\tau}_3 = -\pi \epsilon_0 \frac{\dot{U}_{23} F + \dot{U}_{12} G}{F^2 - G^2},$$

где постоянные F и G определяются геометрическими параметрами r_n , D , H следующими выражениями:

$$F = \text{Ln} \frac{2DH}{r_n \sqrt{(2H)^2 + D^2}}. \quad (5)$$

$$G = 0.5 \text{Ln} \frac{2DH \sqrt{H^2 + D^2}}{r_n \sqrt{(2H)^2 + D^2}}. \quad (6)$$

Покажем, что сдвиг фаз между горизонтальной и вертикальной составляющими напряженности равен $\pi/2$. Преобразуя формулы, определяющие E_x и E_y , с учетом (5) и (6) получим

$$\begin{aligned} \dot{E}_x &= \frac{\tau_1 - \tau_3}{2\pi \epsilon_0} \left[\frac{D}{(H+y)^2 + D^2} - \frac{D}{(H-y)^2 + D^2} \right] = \\ &= \frac{F+G}{2(F^2 - G^2)} (\dot{U}_{12} + \dot{U}_{23}), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\dot{E}_y = \frac{1}{2} \frac{G-F}{G^2 - F^2} (\dot{U}_{23} - \dot{U}_{12}) \left[\frac{H-y}{(H-y)^2 + D^2} + \frac{H+y}{(H+y)^2 + D^2} - \frac{1}{H-y} - \frac{1}{H+y} \right]. \quad (8)$$

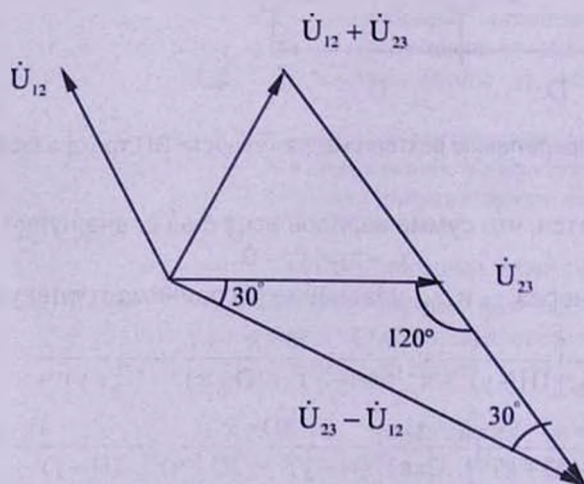


Рис. 2. Векторная диаграмма линейных напряжений

На рис. 2 представлены векторы симметричных напряжений $\dot{U}_{12}$, $\dot{U}_{23}$, а также $\dot{U}_{12} + \dot{U}_{23}$ и $\dot{U}_{23} - \dot{U}_{12}$ (при условии $\dot{U}_{23} = U_{23}$).

Из диаграммы следует, что

$$u_{12} + u_{23} = \sqrt{2} U \sin(\omega t + 60^\circ),$$

$$u_{23} - u_{12} = \sqrt{2} U \sin(\omega t - 30^\circ).$$

Таким образом, векторы $\vec{E}_x$ и $\vec{E}_y$ перпендикулярны и сдвинуты по фазе на 90° , что подтверждает вращающийся характер ЭП трехфазной линии.

Углы направления вектора напряженности ψ_m , соответствующие его экстремальным модулям, получаем из равенства нулю производной $\dot{E}$ по углу ψ :

$$\frac{dE}{d\psi} = \frac{1}{2E} [(E_y^2 - E_x^2) \sin(2\psi_m) + 2E_y E_x \cos(\psi_x - \psi_y) \cos(2\psi_m)] = 0, \quad (9)$$

откуда

$$\operatorname{tg}(2\psi_m) = \frac{2E_y E_x \cos(\psi_x - \psi_y)}{E_x^2 - E_y^2}. \quad (10)$$

Одно значение этого угла дает направление максимального вектора поля $E_{\max}$, второе – направление $E_{\min}$.

Окончательно для $E_{\max}$ и $E_{\min}$ получаются следующие формулы:

$$E_{\max} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(E_{xm}^2 + E_{ym}^2) + \sqrt{E_{xm}^4 + E_{ym}^4 + 2E_{xm}^2 E_{ym}^2 \cos(2(\psi_x - \psi_y))}}, \quad (11)$$

$$E_{\min} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(E_{xm}^2 + E_{ym}^2) - \sqrt{E_{xm}^4 + E_{ym}^4 + 2E_{xm}^2 E_{ym}^2 \cos(2(\psi_x - \psi_y))}}. \quad (12)$$

Угол наклона большой оси эллипса к координатной оси ox определяется по известным значениям E_x , E_y , ψ_x , ψ_y :

$$\gamma = \frac{1}{2} \arctg \frac{2E_{xm} E_{ym} \cos(\psi_x - \psi_y)}{E_{xm}^2 - E_{ym}^2}. \quad (13)$$

Результаты расчета распределения вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности электрического поля ВЛ 220 кВ по формулам (7) и (8) для разных высот y над землей приведены на рис. 3-5. Для указанной ВЛ геометрические параметры имели следующие значения: $r_n = 1,51$ см, $D = 7$ м, $H = 7,5$ м. Согласно (7), на поверхности земли ($y = 0$) горизонтальная составляющая напряженности равна нулю, и имеется только составляющая E_y . В связи с этим графики зависимости E_x и E_y от координаты x , построены начиная с $y = 0,2$ м.

С увеличением высоты над землей возникает составляющая E_x , имеющая максимумы в точках a и b , отстоящих от проекции крайней фазы на 10 и 3 м соответственно. Вертикальная составляющая E_y в этих же точках имеет наименьшее значение.

Как видно из рис. 3-5, существуют две точки расчетного промежутка между фазными проводами, в которых вертикальная составляющая прини-

мают максимальные значения (точки с и d). Абсциссы этих точек равны 15 и 1 м соответственно.

$$y=0,2 \text{ м}$$

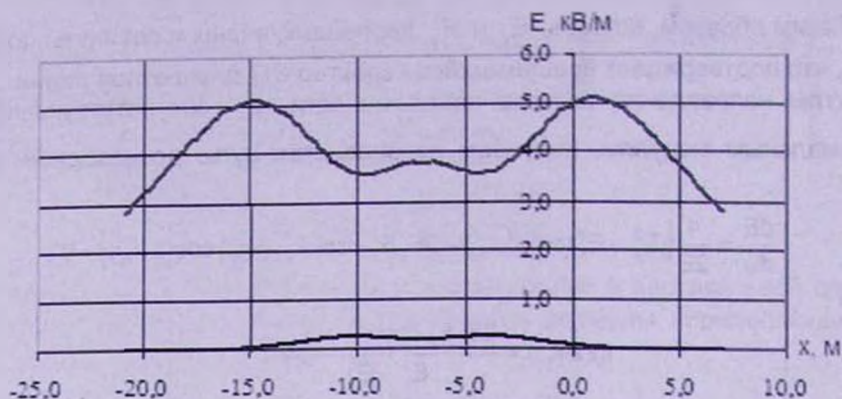


Рис. 3. Зависимость вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности от координаты x при $y=0,2 \text{ м}$

$$y=0,6 \text{ м}$$

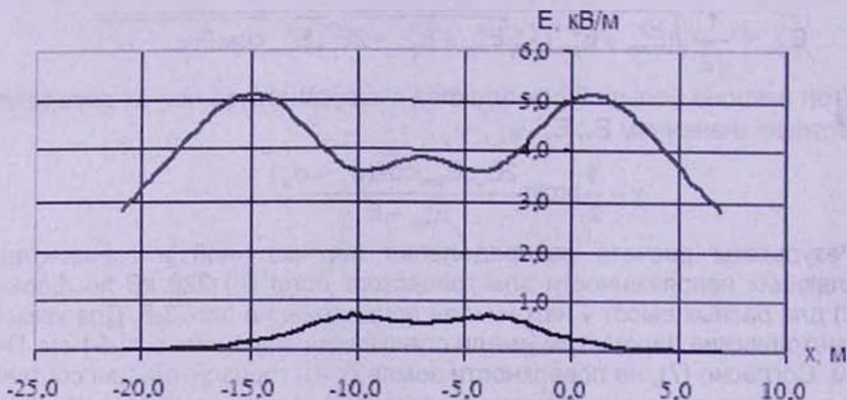


Рис. 4. Зависимость вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности от координаты x при $y=0,6 \text{ м}$

В середине между крайними фазами горизонтальная и вертикальная составляющие принимают экстремальные значения: $E_{y\max}$ и $E_{x\max}$. С удалением от поверхности земли к фазным проводам наблюдается существенное возрастание горизонтальной составляющей E_x и сближение к значениям вертикальной составляющей E_y .

На рис. 6 представлен эллипс – геометрическое место конца вектора напряженности в точке с координатами $y=2,4 \text{ м}$ и $x=0$ (под первой фазой).

Длины полуосей эллипса соответственно равны $E_{\max}=5,894 \text{ кВ/м}$ и $E_{\min}=1,046 \text{ кВ/м}$. Угол наклона длинной оси к горизонту составил $\gamma=0,214 \text{ рад}$.

$y=1,8 \text{ м}$

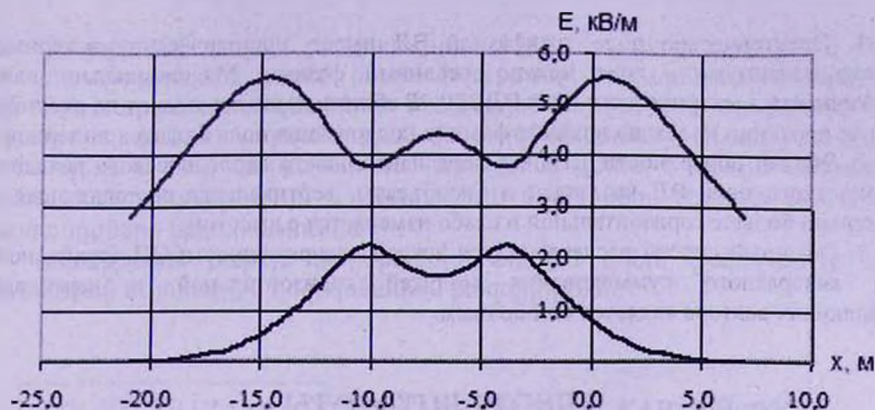


Рис. 5. Зависимость вертикальной и горизонтальной составляющих напряженности от координаты x при $y=1,8 \text{ м}$

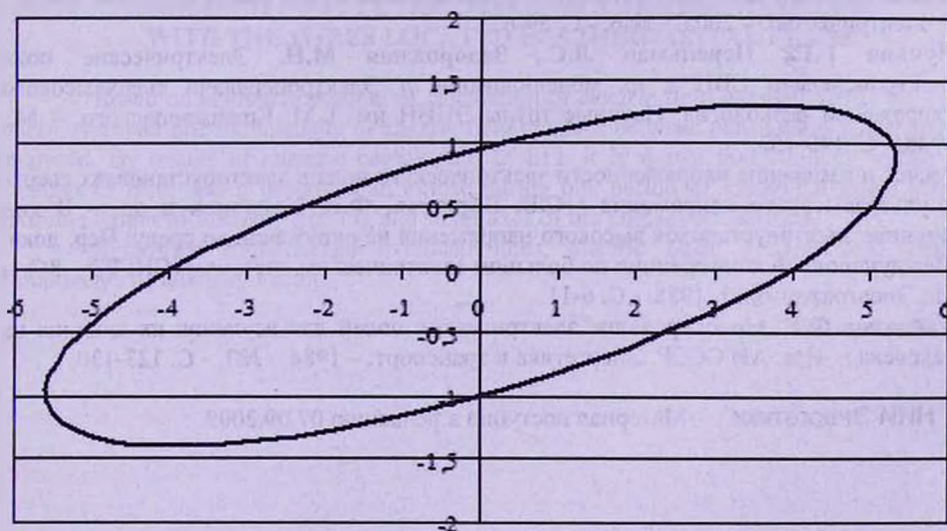


Рис. 6. Геометрическое место конца вектора напряженности в точке с координатами $y=2,4 \text{ м}$ и $x=0$

По результатам численного расчета составляющих напряженности электрического поля ВЛ 220 кВ E_x , E_y и экстремальных значений вектора на рис. 6 построен описанный им эллипс для точки с координатами $x=0$, $y=2,4$ м от поверхности земли (под первой фазой).

Выводы

1. Электрическое поле трехфазной ВЛ имеет эллиптическую поляризацию, достигая максимума в зоне между соседними фазами. Максимальные значения напряженности электрического поля ВЛ 220 кВ вблизи земли возникают на расстояниях 1...2 м от проекции на землю крайних фаз, где поляризация поля близка к линейной.
2. Вблизи поверхности земли, в зоне наибольшего экологического воздействия электрического поля ВЛ на людей и биообъекты, вертикальная составляющая поля значительно больше горизонтальной и слабо изменяется с высотой.
3. Обычный способ расчета модуля вектора напряженности ЭП трехфазной ВЛ путем квадратного суммирования модулей горизонтальной и вертикальной составляющих вектора является ошибочным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цицикия Г.Н. Расчет электрического поля высоковольтной линии на уровне земли // Электричество. – 2005. - № 6. - С. 59-63.
2. Пучков Г.Г., Перепьман Л.С., Задорожная М.Н. Электрические поля электропередачи СВН и их моделирование // Электропередачи сверхвысокого напряжения и экология: Научные труды ЭНИН им. Г.М. Кржижановского. – М., 1988. - С. 140-153.
3. Расчет и измерение напряженности электрического поля в электроустановках сверх- и ультравысокого напряжения / С.В. Бирюков, Ф.Г. Кайданов и др. – В кн.: Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду: Пер. докл. Международной конференции по большим электрическим системам (СИГРЭ – 86). – М.: Энергоатомиздат, 1988. - С. 6-11.
4. Кайданов Ф.Г. Моделирование электрических полей для изучения их влияния на человека // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1984. - №1. - С. 123-130.

ЗАО "НИИ Энергетики". Материал поступил в редакцию 07.09.2009.

L.V. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ,

Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Լ.Հ. ԿԱՐԱԽԱՆՅԱՆ, Ա.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

**ՀՈՐԻԶՈՆԱԿԱՆ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ԴԱՍԱԿՈՐՎԱԾ ՀԱՂՈՐԴԱԼԱՐԵՐՈՎ
ԵՌԱՅԱԶ ԳԾԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ԴԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ**

Էլեկտրական դաշտի լարվածության (ԷԴ) հաշվարկի անալիտիկ մեթոդի հիման վրա վերլուծվել է դաշտի ինտենսիվությունը՝ ֆազային հաղորդալարերի և գետնի միջև տարածության կետերում: ԷԴ թվային հաշվարկի արդյունքների հիման վրա ցույց է տրված, որ լարվածության վեկտորը ժամանակի ընթացքում զրոյի չի հավասարվում և մեկ պարբերության ընթացքում գծում է էլիպս: Որոշված են լարվածության առավելագույն և նվազագույն արժեքները (էլիպսի մեծ և փոքր կիսաառանցքների երկարությունները):

Առանցքային բաժեր. բարձրավոլտ օդային գծեր, էլեկտրական դաշտ, լարվածության ուղղաձիգ և հորիզոնական բաղադրիչներ:

L.V. YEGHIAZARYAN,

V.S. SAFARYAN, L.H. KARAKHANYAN,

A.S. HARUTYUNYAN

**RESEARCH OF ELECTRIC FIELD OF A THREE-PHASE LINE
WITH THE WIRES LOCATED IN A HORIZONTAL PLANE**

Based on analytical method of calculation of electric field intensity (EFI) for a three-phase overhead line the intensity of electric field in space between phase wires and the earth is analysed. By results of numeric calculations of EFI, it is shown that intensity vector never changes to zero, and it describes an ellipse during one period of sinusoidal phase voltages. Extreme values of intensity (the big and small axes of the ellipse) are defined.

Keywords: high-voltage overhead lines, electric field, vertical and horizontal components of intensity vector.

Г.А. БУРНАЧЯН, М.Ф. ЭЛБАКЯН

ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ТЭЦ,
РАБОТАЮЩЕЙ В ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Исследуются вопросы оптимального распределения электрических и тепловых нагрузок между агрегатами теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с учетом оптимизации электрических режимов со станциями энергосистемы. Рассмотрен пример оптимального распределения электрической и тепловой нагрузок между агрегатами ТЭЦ и энергетической системой.

Ключевые слова: энергетика, энергетическая система, относительный прирост, расход топлива, оптимальное распределение нагрузок.

Выбор оптимальных режимов работы агрегатов ТЭЦ должен быть тесно взаимосвязан с режимами работы станций тепловой энергосистемы по электрическим мощностям. Однако при оптимизации внутристанционных режимов ТЭЦ необходимо распределить не только электрическую, но и, в первую очередь, тепловую нагрузку, что создает определенные трудности при взаимоувязке с режимами энергосистемы. Поэтому при выборе оптимальных режимов тепловых станций энергосистемы электрические режимы работы ТЭЦ часто принимаются заведомо заданными исходя из условий работы по теплофикационному режиму. Такой подход в реальных условиях неприемлем, поскольку в ряде энергосистем доля ТЭЦ доходит до 30%. В этих случаях выбор оптимальных внутристанционных режимов ТЭЦ с учетом ее работы в энергосистеме для покрытия электрических нагрузок позволит значительно повысить эффективность этих станций.

Постановка задачи. Рассматривается некоторая гипотетически концентрированная энергосистема, состоящая из m конденсационных станций и одной ТЭЦ, оборудованной производственно-теплофикационной (ПТ), теплофикационной (Т) и противоаварийной (Р) турбинами, питаемыми котлами одинаковой паропроизводительности (рис. 1).

При оптимизации режима энергосистемы, включая и ТЭЦ, в качестве критерия оптимальности принимается минимум расхода условного топлива [1]. В этом случае минимизируемая функция может быть представлена в виде

$$B = \sum_{i=1}^m B_{\kappa_i} + \sum_{j=1}^n B_{\tau_j} \rightarrow \min. \quad (1)$$

Если конденсационные станции энергосистемы (КЭС) представить в виде одной эквивалентной станции, то выражение (1) можно записать в виде

$$B = B_k + \sum_{j=1}^n B_{T_j} \rightarrow \min. \quad (2)$$

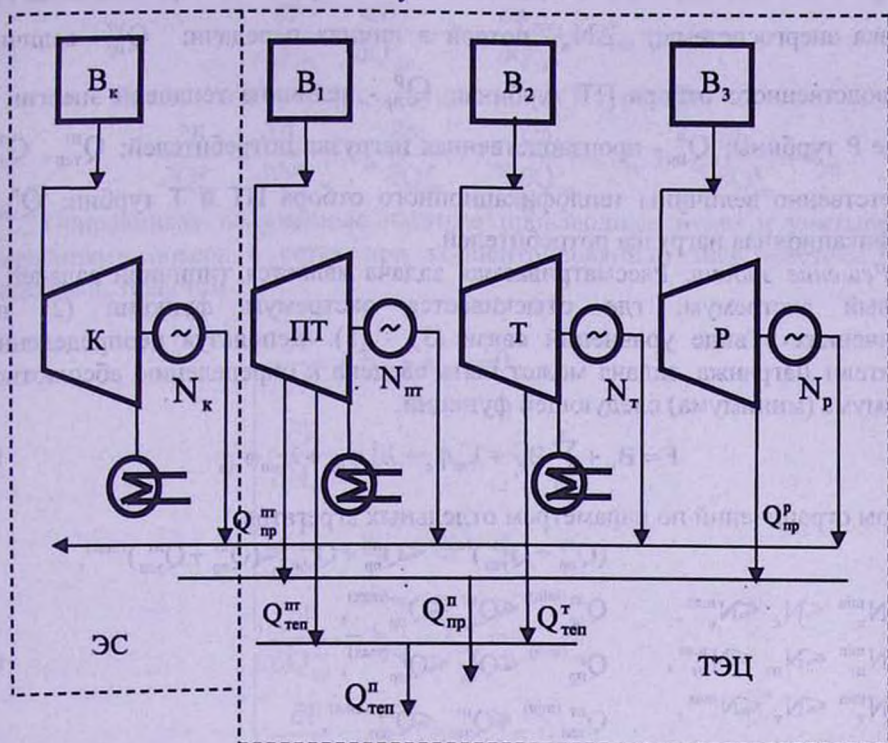


Рис.1. Тепловая схема энергетической системы

В выражениях (1), (2) B_k , B_k и B_{T_j} - часовой расход условного топлива соответственно i -й КЭС, эквивалентной конденсационной станции, j -го агрегата ТЭЦ.

Условие (2) должно выполняться при соблюдении следующих ограничений:

- баланс нагрузок энергосистемы:

$$\varphi_c = N_k + \sum_{j=1}^n N_{T_j} - N_c - \Delta N_n = 0; \quad (3)$$

- балансы промышленной тепловой и теплофикационной нагрузок по ТЭЦ:

$$\varphi_{np} = Q_{np}^{пт} + Q_{np}^p - Q_{np}^n = 0, \quad (4)$$

$$\varphi_{теп} = Q_{теп}^{пт} + Q_{теп}^r - Q_{теп}^n = 0, \quad (5)$$

где N_{T_j} и N_k - соответственно электрическая мощность j -го теплофикационного агрегата и конденсационных агрегатов энергосистемы; N_c - нагрузка энергосистемы; ΔN_s - потери в линиях передачи; Q_{np}^{pt} - величина производственного отбора ПТ турбины; Q_{np}^p - величина тепловой энергии на выходе Р турбины; Q_{np}^a - производственная нагрузка потребителей; $Q_{теп}^{pt}$, $Q_{теп}^p$ соответственно величины теплофикационного отбора ПТ и Т турбин; $Q_{теп}^a$ - теплофикационная нагрузка потребителей.

Решение задачи. Рассматриваемая задача является типичной задачей на условный экстремум, где отыскивается экстремум функции (2) при ограничениях в виде уравнений связи (3) - (5). Используя неопределенные множители Лагранжа, задача может быть сведена к определению абсолютного экстремума (минимума) следующей функции:

$$F = B_k + \sum_{j=1}^n B_{T_j} + \lambda_{\Delta s} \Phi_{\Delta s} + \lambda_{np} \Phi_{np} + \lambda_{теп} \Phi_{теп} \quad (6)$$

с учетом ограничений по параметрам отдельных агрегатов:

$$\begin{aligned} (Q_{np}^{pt} + Q_{теп}^{pt})^{(min)} &\leq Q_{np}^{pt} + Q_{теп}^{pt} \leq (Q_{np}^{pt} + Q_{теп}^{pt})^{(max)}, \\ N_k^{min} &\leq N_k \leq N_k^{max}, & Q_{np}^{pt(min)} &\leq Q_{np}^{pt} \leq Q_{np}^{pt(max)}, \\ N_{np}^{min} &\leq N_{np} \leq N_{np}^{max}, & Q_{np}^p(min) &\leq Q_{np}^p \leq Q_{np}^p(max), \\ N_T^{min} &\leq N_T \leq N_T^{max}, & Q_{теп}^{pt(min)} &\leq Q_{теп}^{pt} \leq Q_{теп}^{pt(max)}, \\ & & Q_{теп}^p(min) &\leq Q_{теп}^p \leq Q_{теп}^p(max). \end{aligned} \quad (7)$$

Дифференцируя целевую функцию по независимым переменным, получим следующую систему уравнений:

- по электрической мощности эквивалентной конденсационной станции:

$$\frac{\partial F}{\partial N_k} = \frac{dB_k}{dN_k} + \lambda_{\Delta s} \left(1 - \frac{\partial \Delta N_s}{\partial N_k} \right) \quad (8)$$

- по электрическим мощностям ПТ и Т турбин:

$$\frac{\partial F}{\partial N_{np}} = \frac{dB_{np}}{dN_{np}} + \lambda_{np} \left(1 - \frac{\partial \Delta N_s}{\partial N_{np}} \right) \quad (9)$$

$$\frac{\partial F}{\partial N_T} = \frac{dB_T}{dN_T} + \lambda_{T} \left(1 - \frac{\partial \Delta N_s}{\partial N_T} \right) \quad (10)$$

- по нагрузке производственного отбора ПТ турбины:

$$\frac{\partial F}{\partial Q_{np}^{pt}} = \frac{dB_{np}}{dQ_{np}^{pt}} + \lambda_{np} \frac{\partial \Phi_{np}}{\partial Q_{np}^{pt}} = b_{np}^{pt} + \lambda_{np}; \quad (11)$$

- по нагрузке теплофикационных отборов ПТ и Т турбин:

$$\frac{\partial F}{\partial Q_{\text{теп}}^{\text{ит}}} = \frac{dB_1}{dQ_{\text{теп}}^{\text{ит}}} + \lambda_{\text{теп}} \frac{\partial \varphi_{\text{теп}}}{\partial Q_{\text{теп}}^{\text{ит}}} = b_{\text{теп}}^{\text{ит}} + \lambda_{\text{теп}}; \quad (12)$$

$$\frac{\partial F}{\partial Q_{\text{теп}}^{\text{т}}} = \frac{dB_2}{dQ_{\text{теп}}^{\text{т}}} + \lambda_{\text{теп}} \frac{\partial \varphi_{\text{теп}}}{\partial Q_{\text{теп}}^{\text{т}}} = b_{\text{теп}}^{\text{т}} + \lambda_{\text{теп}}; \quad (13)$$

- по тепловой энергии, отпущенной из Р турбины:

$$\frac{\partial F}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{р}}} = \frac{dB_3}{dQ_{\text{пр}}^{\text{р}}} + \lambda_{\text{эл}} \frac{\partial N_{\text{р}}}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{р}}} + \lambda_{\text{пр}} \frac{\partial \varphi_{\text{пр}}}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{р}}} = b_{\text{пр}}^{\text{р}} + \lambda_{\text{эл}} \frac{\partial N_{\text{р}}}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{р}}} + \lambda_{\text{пр}}. \quad (14)$$

Приравнявая полученные частные производные нулю и учитывая, что изменениями потерь в сетях при концентрированной энергосистеме можно пренебречь, получим

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial F}{\partial N_{\text{к}}} = b_{\text{к}} + \lambda_{\text{эл}} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial N_{\text{ит}}} = b_{\text{ит}} + \lambda_{\text{эл}} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial N_{\text{т}}} = b_{\text{т}} + \lambda_{\text{эл}} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{ит}}} = b_{\text{пр}}^{\text{ит}} + \lambda_{\text{пр}} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial Q_{\text{теп}}^{\text{ит}}} = b_{\text{теп}}^{\text{ит}} + \lambda_{\text{теп}} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial Q_{\text{теп}}^{\text{т}}} = b_{\text{теп}}^{\text{т}} + \lambda_{\text{теп}} = 0, \\ \frac{\partial F}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{р}}} = b_{\text{пр}}^{\text{р}} + \lambda_{\text{эл}} \frac{\partial N_{\text{р}}}{\partial Q_{\text{пр}}^{\text{р}}} + \lambda_{\text{пр}} = 0. \end{array} \right. \quad (15)$$

Внося определенные преобразования в (15), получим условие для оптимизации рабочих режимов агрегатов в энергосистеме по электрическим и тепловым нагрузкам:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_{пт} = b_{т} = b_{к}, \\ b_{теп}^{пт} = b_{теп}^{т}, \\ b_{пр}^{пт} = b_{пр}^{р} - \frac{\partial N_{р}}{\partial Q_{пр}^{р}} b_{к}. \end{array} \right. \quad (16)$$

где $b_{пт}$, $b_{т}$ - относительный прирост топлива котла по электрической мощности соответственно ПТ и Т турбин; $b_{к}$ - относительный прирост топлива К энергоблоков; $b_{теп}^{пт}$, $b_{теп}^{т}$ - относительный прирост топлива котла по нагрузке теплофикационного отбора соответственно ПТ и Т турбин; $b_{пр}^{пт}$, $b_{пр}^{р}$ - относительный прирост топлива котла по нагрузке производственного отбора соответственно ПТ и Р турбин.

Замечание. В случае, если одна из найденных величин $N_{пт}$, $N_{к}$, $N_{т}$, $Q_{пр}^{пт}$, $Q_{пр}^{р}$, $Q_{теп}^{пт}$, $Q_{теп}^{т}$ не удовлетворяет ограничению (7), необходимо в алгоритме расчета эту величину заменить максимальным или минимальным значением.

Пример. В ТЭЦ установлены турбины 2 х Р-50-130, 4 х ПТ-60-130/13. Турбины Р-50-130 и ПТ-60-130/13 питаются из котлов ТГМ-84. В энергосистеме работают 2 х К-160-130, 4 х К-200-130 и 2 х К-300-130 конденсационных станций.

Задана потребность электрической нагрузки $N_{с}$ по системе. Также заданы потребности $Q_{пр}^{п}$ производственной и $Q_{теп}^{п}$ теплофикационной энергий. Энергетические характеристики турбоагрегатов и котлоагрегатов известны.

Требуется данные нагрузок оптимально распределить между турбоагрегатами.

Известно, что по энергетическим характеристикам котла ТГМ-84 можно получить аналитическое уравнение часового расхода условного топлива [2]:

$$B = 8,8331 + 0,0457Q_0 + 0,0003Q_0^2, \quad (17)$$

где Q_0 - теплопроизводительность котла.

Из энергетических характеристик турбин ПТ-50-130/13 и Р-50-130-13 можно получить аналитические уравнения мощности и часового расхода тепла по турбинам [2-5]:

1) для противодавленческой турбины Р-50-130-13:

$$N_{теп} = -12,6485 + 0,3325Q_{пр}, \quad (18)$$

$$Q_0^{теп} = 0,4680 + 0,2125N_{теп} + Q_{пр}, \quad (19)$$

где $N_{\text{теп}}$ - электрическая нагрузка турбины; $Q_0^{\text{теп}}$ - расход тепла на турбину;

$Q_{\text{пр}}$ - тепловая нагрузка;

2) для производственно-теплофикационной турбины ПТ-50-130/13:

$$N_{\text{теп}} = -3,4165 + 0,0473Q_{\text{пр}} + 0,5277Q_{\text{теп}}, \quad (20)$$

$$Q_0 = 14,4932 + 0,9130N_{\text{теп}} + 0,4572Q_{\text{пр}} + 1,2057Q_{\text{теп}} + 1,8102(N_{\text{эл}} - N_{\text{теп}}), \quad (21)$$

где $N_{\text{эл}}$ - электрическая мощность турбины; $N_{\text{теп}}$ - электрическая мощность турбины на тепловом потреблении; Q_0 - расход тепла на турбину; $Q_{\text{пр}}$ - производственная тепловая нагрузка; $Q_{\text{теп}}$ - теплофикационная тепловая нагрузка.

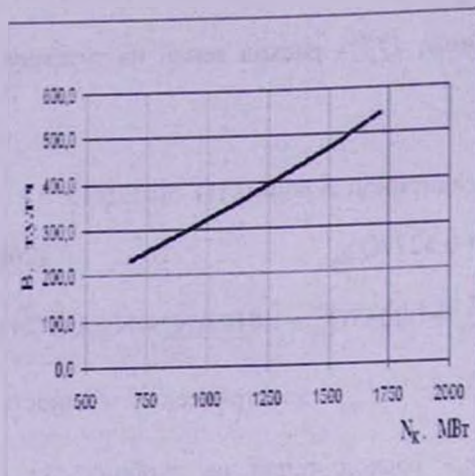
Используя аналитические уравнения энергетических характеристик турбинных и котельных агрегатов, можно получить аналитические уравнения расхода условного топлива котлов (ТТМ-84) $B = f(N_{\text{эл}}, Q_{\text{пр}}, Q_{\text{теп}})$, которые присоединены к противодавленческой (Р-50-130-13) и производственно-теплофикационной (ПТ-60-130/13) турбинам (потери переноса тепла не учитываем):

$$B_p = 8,73313 + 0,0475Q_{\text{пр}} + 0,00034Q_{\text{теп}}^2, \quad (22)$$

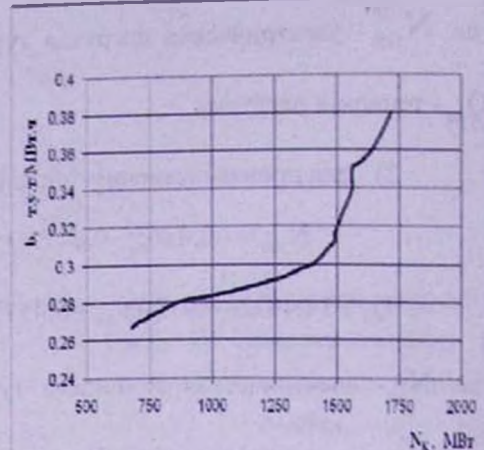
$$B_{\text{пт}} = 9,7280 + 0,0234Q_{\text{пр}}^{\text{пт}} + 0,0411Q_{\text{теп}}^{\text{пт}} + 0,1018N_{\text{пт}} + 0,001(N_{\text{пт}})^2 + 0,0001(Q_{\text{пр}}^{\text{пт}})^2 + 0,0002(Q_{\text{теп}}^{\text{пт}})^2 + 0,0002Q_{\text{пр}}^{\text{пт}}Q_{\text{теп}}^{\text{пт}} + 0,0004N_{\text{пт}}Q_{\text{пр}}^{\text{пт}} + 0,0008N_{\text{пт}}Q_{\text{теп}}^{\text{пт}}. \quad (23)$$

Используя уравнения (22) и (23), получим относительные приросты расхода топлива по электрической мощности и производственному отбору.

С помощью энергетических характеристик конденсационных энергоблоков К-160-130, К-200-130 и К-300-130 построены эквивалентные энергетические характеристики системы (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Эквивалентные энергетические характеристики системы: а- расходная характеристика, б- относительный прирост расхода топлива

Ограничения для отдельных агрегатов следующие:

$$\begin{aligned}
 35 &\leq N_{\text{пр}} \leq 60, \\
 60 &\leq N_{\text{к-160}} \leq 160, & 0 \leq Q_{\text{пр}}^{\text{пр}} + Q_{\text{теп}}^{\text{пр}} \leq 100 + 54, & 0 \leq Q_{\text{пр}}^{\text{р}} \leq 220, \\
 80 &\leq N_{\text{к-200}} \leq 200, & 0 \leq Q_{\text{пр}}^{\text{пр}} \leq 172, & 0 \leq Q_{\text{теп}}^{\text{пр}} \leq 86.5, \\
 120 &\leq N_{\text{к-300}} \leq 300.
 \end{aligned} \tag{24}$$

Включив в систему (16) полученные относительные приросты агрегатов, можно оптимально распределить заданные электрическую и тепловую нагрузки между агрегатами.

Для произвольных $N_c, Q_{\text{пр}}^{\text{н}}, Q_{\text{теп}}^{\text{н}}$ результаты решения задачи приведены в табл. 1.

Между однотипными турбинными установками, энергетические характеристики которых совпадают, электрическую и тепловую мощности можно распределить равномерно.

Таблица 1

$N_c,$ <i>МВт</i>	$Q_{пр}^n,$ <i>Гкал/ч</i>	$Q_{теп}^n,$ <i>Гкал/ч</i>	$4 N_{пр},$ <i>МВт</i>	$2 N_p,$ <i>МВт</i>	$N_k,$ <i>МВт</i>	$4 Q_{пр}^{пр},$ <i>Гкал/ч</i>	$2 Q_{пр}^p,$ <i>Гкал/ч</i>	$4 Q_{теп}^{пр},$ <i>Гкал/ч</i>	$B_{\Sigma},$ <i>т.у.т</i>
1014	450	100	240	74	700	150	300	100	382,6
1150	500	100	240	80	830	184	316	100	422,2
1500	600	100	240	86	1174	264	336	100	526,0
1561	750	100	240	93	1228	394	356	100	554,3
990	400	120	240	70	680	114	286	120	375,5
948	500	120	200	68	680	220	280	120	370,9
930	600	120	180	70	680	312	288	120	372,8
1681	700	120	240	94	1347	341	359	120	588,6
1101	400	140	240	76	785	96	304	140	407,2
1740	500	140	240	87	1413	162	338	140	596,6
908	600	140	160	68	680	320	280	140	369,3
1000	700	140	206	84	710	372	328	140	399,3
1700	750	140	240	97	1363	382	368	140	601,5
1758	500	160	240	88	1430	159	341	160	603,3
1201	600	160	240	87	874	262	338	160	450,3
1530	700	180	236	94	1200	341	359	180	551,4
1000	550	200	210	80	710	232	318	200	396,2
1680	750	200	234	99	1347	377	373	200	601,7

Между конденсационными станциями электрическая нагрузка распределяется с помощью эквивалентной энергетической характеристики (табл. 2).

Таблица 2

$N_k,$ <i>МВт</i>	$2 N_{K-160},$ <i>МВт</i>	$4 N_{K-200},$ <i>МВт</i>	$2 N_{K-300},$ <i>МВт</i>
700	120	320	260
830	160	320	350
1174	207	507	460
1228	215	533	480
680	120	320	240
1347	237	610	500
785	145	320	320
1413	250	640	523
710	120	320	270
1363	240	620	503
1430	250	640	540
874	174	320	380
1200	210	520	470

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горюштейн В.М., Мирошник Б.М. Методы оптимизации режимов энергосистем. —М.: Энергоиздат, 1981.-335с.
2. Нормативные характеристики удельных расходов топлива Ереванской ТЭЦ (разработано фирмой ОРГРЭС). -1993.
3. Типовая нормативная характеристика турбоагрегата ПТ-60-130/13 ЛМЗ. —М., 1975.
4. Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата Р-50-130-1 ЛМЗ. —М., 1972.
5. Արշակյան Ղ.Թ. Ջերմային էլեկտրական կայաններ.-Երևան: Լույս, 1981.-597 էջ:

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 15.10.2010.

Հ.Ա. ԲՈՒՆԱԿՅԱՆ, Մ.Ֆ. ԷԼԲԱԿՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԱՅԱՍԱԿԱՐԳՈՒՄ ԱՇԽԱՏՈՂ ՋԷԿ-Ի ՆԵՐԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՅՈՒՄԸ

Դիտարկվել է ՋԷԿ-ի ագրեգատների միջև էլեկտրական և ջերմային բեռների օպտիմալ բաշխումը՝ հաշվի առնելով էներգահամակարգում կայանների էլեկտրական ռեժիմների օպտիմալացումը: Տրված է էներգետիկական համակարգի և ՋԷԿ-ի ագրեգատների միջև էլեկտրական և ջերմային բեռների օպտիմալ բաշխման օրինակ:

Առանցքային բառեր. էներգետիկա, էներգետիկական համակարգ, հարաբերական աճ, վառելիքի ծախս, բեռների օպտիմալ բաշխում:

H.A. BURNACHYAN, M.F. ELBAKYAN

OPTIMIZATION OF INTERNAL MODES OF TPP OPERATING IN THERMAL POWER SYSTEM

Optimal distribution problems of electric and thermal loads between TPP units in view of optimizing electrical modes with power system plants are studied. An example of optimal distribution of electric and thermal loads between TPP and power system units is discussed.

Keywords: energetics, power system, relative growth, fuel consumption, optimal load distribution.

С.А. ГЕВОРКЯН, А.Л. МАИЛЯН

ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ СВЕТООТДАЧИ КОМПАКТНЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Обобщен десятилетний опыт исследования компактных флуоресцентных ламп, которые заменяют традиционные лампы накаливания. Показано, что для получения высокой светотдачи необходимо использовать акустоплазменное взаимодействие, люминофоры с малой долей излучения в ИК области и электронные драйверы с малым потреблением.

Ключевые слова: флуоресцентные лампы, акустоплазменное взаимодействие, светотдача, люминофоры, электронные драйверы.

Как известно, светотдача компактной флуоресцентной лампы (КФЛ) зависит от КПД преобразования электрической энергии в ультрафиолетовое (УФ) излучение разряда, поглощаемого люминофором, и эффективности преобразования люминофором УФ излучения в излучение видимого диапазона - свет, излучаемый люминесцентной лампой [1,2].

Вопрос эффективности преобразования электрической энергии в разряд был рассмотрен в [3-6]. К сказанному в этих статьях можно добавить, что простые транзисторные схемы электронной пускорегулирующей аппаратуры (ЭПРА) имеют потребление электроники в несколько раз меньше, чем лучшие из разработанных сложных микросхемных реализаций ЭПРА. Например, широко распространенная микросхема полумостового драйвера IR-2153 при стандартной схеме включения [7] потребляет от сети не менее 3 Вт при использовании МОП-транзисторов IRF-720 и более 6 Вт при использовании IRF-840. Это связано с потреблением по цепи бутстрепного конденсатора (термин введен фирмой-разработчиком драйвера - "International Rectifier"), управляющего открыванием "верхнего ключа" - транзистора высокого потенциала [7]. Используемая нами транзисторная схема [3,6] имела собственное потребление менее 0,5 Вт. Если предположить, что в КФЛ коэффициент преобразования высокочастотной (ВЧ) электрической мощности в видимое излучение составляет 80 Лм/Вт, то для лампы с потреблением от сети электрической мощности 15 Вт с транзисторной схемой ЭПРА [3,6] светотдача будет составлять 77 Лм/Вт и световой поток - 1160 Лм, а для драйвера на МС IR-2153 с ключами на транзисторах IRF-840 - соответственно 48 Лм/Вт и 720 Лм. Таким образом, для маломощных КФЛ использование сложной микросхемной реализации не всегда целесообразно.

В КФЛ используется дуговой ртутный разряд низкого давления с самокалящимися катодами. Давление ртути - порядка 10 Па , давление буферного газа (обычно аргон) - $100...500 \text{ Па}$.

Если принять максимальный поток излучения спектральных линий ртутного разряда равным 100%, то для отдельных спектральных линий он составляет: для УФ линии ($\lambda=184,9 \text{ нм}$) - 13%; для УФ линии ($\lambda=253,7 \text{ нм}$) - 78%; для синей линии ($\lambda=435,8 \text{ нм}$) - 3%; для всех остальных линий вместе взятых (зеленая, желтая, фиолетовая) - 6%.

Если не рассматривать потери на накал электродов, то вклад различных механизмов потерь мощности в положительном столбе ртутного разряда в зависимости от давления буферного газа в разрядной трубке можно представить в графической форме. Для ртутного разряда при буферном газе аргоне и токе разряда 1 А это представлено на рис.1, взятом из [8]. По оси абсцисс отложено давление газа в трубке. Линия 5 соответствует чисто ртутному разряду при давлении ртути $P_{\text{Hg}}=10 \text{ Па}$. По оси ординат отложены доли каждого типа потерь.

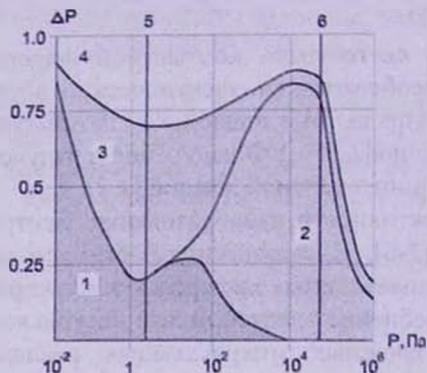


Рис. 1. Относительный вклад различных механизмов потерь мощности в положительном столбе ртутного разряда в зависимости от давления буферного газа при токе разряда 1 А : 1 - потери на стенках; 2 - потери на нагрев газа и электродов; 3 - потери на выход резонансного излучения; 4 - потери на выход нерезонансного излучения; 5 - сплошная линия соответствует $P_{\text{Hg}}=10 \text{ Па}$; 6 - линия соответствует лампе типа дуговая ртутная люминесцентная (ДРЛ)

Из рис.1 видно, что потери на стенках (область 1) велики только при малых давлениях газа, когда концентрация нейтральных атомов мала и возбужденные атомы достигают стенок.

Обычно введение инертного газа объясняют уменьшением распыления электродов и облегчением зажигания. Но при введении инертного газа уменьшается также длина свободного пробега электронов и резко снижается температура электронов T_e . Об этом будет сказано ниже. Пока же отметим, что при увеличении давления газа потери на стенках уменьшаются.

Потери на нагрев газа (область 2, рис.1) с увеличением давления буферного газа возрастают и при давлении 10^4 Па составляют 75...80%, а при давлении буферного газа $\sim 10^2 \text{ Па}$ - 35%. Доля резонансного излучения (область

3) уменьшается с 40 до 25% (но это расчетное уменьшение, связанное только с уменьшением T_e). Ниже показано, что существуют и другие механизмы, повышающие долю резонансного излучения при увеличении давления. Доля нерезонансного излучения (область 4) уменьшается с 30 до 20%.

Таким образом, для увеличения эффективности люминесцентных ламп, в том числе и КФЛ, надо уменьшить области 1 и 2 и увеличить область 3.

Как уже отмечалось выше, введение инертного газа уменьшает длину свободного пробега и резко снижает температуру электронов T_e . Поэтому для поддержания того же тока необходимо увеличить концентрацию электронов n_e и градиент потенциала E . При этом чем больше n_e и E , тем больше n_m , т.е. концентрация возбужденных атомов ртути, способных излучать.

Чем меньше длина свободного пробега, тем больше вероятность соударения метастабильного атома ртути с электроном по сравнению с вероятностью диффузии к стенкам трубки и тем меньше уход энергии из разряда к стенкам, т.е. тем больше возбужденных атомов остается в разряде.

С ростом тока начинает возрастать роль ступенчатых процессов $6^3P_{0,1,2} \rightarrow 6^1P_1$, что приводит к росту УФ светового потока; для КФЛ это экспериментально подтверждено в [5]. Одновременно растет отношение световых потоков $\Phi(185)/\Phi(254)$, где $\Phi(185)$ – удельный световой поток излучения положительного столба на длине волны 185 нм, $\Phi(254)$ – для 254 нм.

В положительном столбе ионизируются и излучают только атомы ртути, исключение составляют прикатодные области, где за счет быстрых электронов ионизируется также инертный газ. Таким образом, добавление инертного газа влияет также на прикатодные явления. Расчеты [9] показали, что для 40-ваттной люминесцентной лампы в положительном столбе 2/3 излучения $\Phi(254)$, 2/3 излучения видимого зеленого триплета и 3/4 излучения группы УФ линий 365 нм обусловлены ступенчатыми переходами через уровни 6^3P . Переизлучение приводит к 70-кратному увеличению продолжительности жизни на метастабильном уровне 6^3P_1 (превышает 10^{-3} с).

Из [10] следует, что на частоте модуляции разрядного тока 1 кГц - $n_e < 10\%$, а на более высоких частотах модуляции $n_e \approx \text{const}$. При этом усредненная за период колебаний величина n_e приблизительно в 1,5 раза больше, а T_e незначительно меньше, чем на постоянном токе [10].

Дальнейшего увеличения вероятности соударений, а значит, и уменьшения нагрева стенок можно добиться, используя акустоплазменное взаимодействие (АПВ) [3,4,6].

На рис. 2 [6] приведены температурные характеристики российской лампы СКЛЭН мощностью 15 Вт и изготовленной на базе ее стеклянной колбы в ИППФ НАН лампы с акустоплазменным взаимодействием СКЛ-АРМ.

Из рисунка видно, что при одной и той же подводимой мощности лампа с АПВ имеет меньший нагрев стеклянного баллона во всех частях.

Разрядную трубку можно рассматривать также как акустический резонатор. При питании разрядной трубки переменным током в ней

возбуждаются акустические моды [6,11]. Эти моды приводят к созданию акустической решетки внутри разрядной трубки. Акустические колебания, в свою очередь, воздействуют на разряд, который их создал. Это приводит к тому, что плазма в разрядной трубке переходит в новое – акустоплазменное состояние.

Изменения в акустоплазме могут быть настолько значительными, что возможны акустоплазменные фазовые переходы по аналогии с термодинамическим фазовым переходом газ-жидкость [12].

При определенных условиях АПВ приводит к уменьшению градиента T_r по радиальному сечению трубки. Из-за уменьшения поглощения в газе увеличивается доля УФ излучения, которое достигает люминофора.

АПВ приводит к увеличению излучения интеркомбинационной линии 254 нм. При уширении на акустической решетке высвечивание из интеркомбинационной линии увеличивается, т.е. увеличивается доля резонансного излучения (область 3, рис.1).

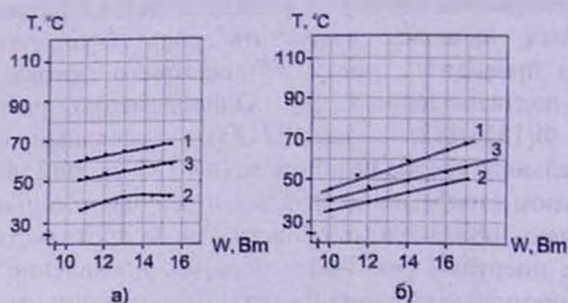


Рис.2. Температурные характеристики ламп в зависимости от потребляемой мощности: а - российская лампа СКЛЭН, 15 Вт; б - СКЛ-АР; 1 - Т катода; 2 - Т холодной зоны; 3 - Т середины лампы

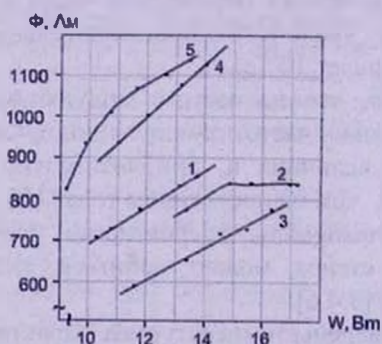


Рис.3. Зависимость интегрального светового потока от потребляемой мощности для КФЛ различных производителей [6]: 1 - PhilipsEcoton (Hol.), 15 Вт; 2- Sylvania (USA), 11 Вт; 3 - Silverstar (China), 23 Вт; 4 - СКЛЭН (Россия), 15 Вт; 5 - СКЛ-АРМ, 15 Вт

В [6,13] показано, что в результате АПВ КФЛ может значительно повысить светоотдачу.

Из рис. 3 следует, что для обеспечения интегрального светового потока 900 Лм, соответствующего стандарту потребляемой КФЛ мощности 15 Вт, для лампы Philips надо затратить 15 Вт, для российской лампы СКЛЭН – 10,5 Вт, для разработанной СКЛ-АРМ – 9,6 Вт.

Таким образом, лампа СКЛ-АРМ обеспечивает тот же стандартный световой поток, потребляя в 1,5 раза меньшую мощность, чем лампа Philips.

Следует отметить, что лампа СКЛЭН, используемая в этих измерениях, имела параметры, превосходящие среднестатистические, поскольку была отобрана в качестве примера лучших российских ламп.

Рассмотрим преобразование люминофором УФ излучения в видимый свет.

Разработка в 80-е годы КФЛ стала возможной только в результате создания в конце 70-х годов высокостабильных узкополосных люминофоров (УПЛ), легированных редкоземельными металлами. Они могут работать при более высоких плотностях облучения, чем в стандартных люминесцентных лампах, без старения люминофора. Это позволило значительно уменьшить диаметр разрядной трубки.

УПЛ дают излучение, сосредоточенное в узких полосах спектра: синей (450 нм), зеленой (540 нм) и красной (610 нм).

Из-за малого диаметра разрядной трубки увеличивается плотность облучения линией 185 нм, а излучение синей линии ртути настолько увеличивается, что очень часто синий люминофор излишен, и необходимый цветовой тон получается при использовании только двух УПЛ: зеленого (543 нм) и оранжево-красного (612 нм).

Разные фирмы используют различные по составу люминофоры.

В [14] отмечено, что лампы со стандартным галофосфатным люминофором имеют плохое или удовлетворительное качество цветопередачи, независимо от цветовой температуры, лампы с трехполосным люминофором - хорошее качество цветопередачи при любых цветовых температурах (в области 2700...6500 К), а лампы с пятиполосными люминофорами - отличную цветопередачу даже при цветовой температуре 3000...4000 К.

Ниже приведены исследованные нами спектры излучения видимого света люминофорами в КФЛ нескольких фирм.

КФЛ СКЛЭН-15Вт (Россия), теплого света (цветовая температура $T_{\text{цв}}=3000$ К) – небольшой пик в синей области с $\Delta\lambda \approx 5 \cdot 10^{-10}$ м; полоса в сине-зеленой области с $\Delta\lambda \approx 60 \cdot 10^{-10}$ м; сильная полоса в зеленой области с $\Delta\lambda \approx 60 \cdot 10^{-10}$ м; сильная линия в оранжево-красной области с $\Delta\lambda \approx 100 \cdot 10^{-10}$ м; красная линия с $\Delta\lambda \approx 30 \cdot 10^{-10}$ м; в ИК области излучение люминофора очень малое.

КФЛ PHILIPS Ecoton-15W (Hol.), теплого света ($T_{\text{цв}}=3000$ К) – полоса в зеленой области $\Delta\lambda \approx 100 \cdot 10^{-10}$ м; сильная полоса в желто-зеленой области ($\lambda \sim 550$ нм) $\Delta\lambda \approx 100 \cdot 10^{-10}$ м; сильная полоса в красной области $\Delta\lambda \approx 200 \cdot 10^{-10}$ м; в ИК области (800...1000 нм) излучение люминофора существенно.

КФЛ фирм Юго-Восточной Азии 9...23 Вт, дневного света ($T_{\text{ш}}=6300 \text{ K}$) – имеют различные полосы в видимой области, но для всех ламп характерна большая доля излучения в ИК области.

Исследование светоотдачи ламп показало, что она связана с величиной ИК компоненты спектра: чем меньше ИК компонента, тем выше светоотдача. Именно этим объясняется, что лампы фирм Юго-Восточной Азии имеют светоотдачу значительно меньше, чем лампы фирм Европы и Америки [13].

Наш мониторинг показал, что за последнее десятилетие ситуация не изменилась, за исключением случаев, когда страны Юго-Восточной Азии используют российские и европейские люминофоры (например, КФЛ "Космос").

Таким образом, в статье обобщен десятилетний опыт исследования КФЛ. Показано, что для получения высокой светоотдачи необходимо: иметь в виду, что не все электронные компоненты и их сочетания, рекомендуемые в литературе, могут обеспечить минимум потребляемой мощности; учитывать и использовать акустоплазменное взаимодействие в ртутном разряде; использовать оптимальные люминофоры с минимумом излучения в ИК области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рохлин Г.Н. Разрядные источники света. 2-е издание. - М.: Энергоатомиздат, 1991. – 720 с.
2. Lister G.G., Lawler J.E., Lapatovich W.P., Godyak V.A. The Physics of discharge lamps // *Rev. of Modern Phys.* – April, 2004. - Vol.76. - P.541-598.
3. Манлян А.Л., Геворкян С.А., Саркисян С.К. Особенности высокочастотных источников питания люминесцентных ламп // *Вестник-76 ГИУА*. – 2009. - Т. 1, №1. - С.253-257.
4. Геворкян С.А., Есаян А.М., Манлян А.Л., Саркисян С.К. Управление параметрами разряда в компактных флюоресцентных лампах // *Вестник ГИУА(П). Сер.Моделирование, оптим., управ.* - Ереван, 2009. - Вып.12, том 1. - С.131-137.
5. Геворкян С.А. Исследование ультрафиолетовой компоненты излучения разряда в компактных флюоресцентных лампах // *Вестник ГИУА(П): Сборник научных и методич. статей*. – Ереван, 2010. – Т.2, N 1. - С.147-151.
6. CONTROL of PLASMA PARAMETERS by ACOUSTIC WAVES. ISTC Project A-196.2. - Yerevan, 2003.
7. Каталоги фирмы International Rectifier, USA.
8. Грановский В.Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток. - М.: Наука, 1971. – 543 с.
9. Kenty C. Radiation from the discharge of mercury // *J.Appl.Phys.* -1950. - Vol.21. - P.1809-1815.
10. Федоренко А.С. Экспериментально-расчетные исследования характеристик положительного столба разряда и совершенствование люминесцентных ламп: Дис. ... к.т.н. - М., 1980. – 301 с.
11. Галечян Г.А., Мкртчян А.Р. Акустоплазма. - Ереван: Анага, 2005. – 350 с.
12. Мкртчян К.С. Об управлении свойствами низкотемпературной газоразрядной плазмы акустическими колебаниями: Дис. ... к.ф. - м.н. - Ереван, 2005. – 105 с.
13. Plasma Fluorophor Energy-Saving Lamps / A.R. Mkrtchyan, A.S. Abrahamyan, K.A. Abrahamyan, S.A. Gevorgyan et al // XIII Int. Conf. on Gas Disch. Applications. - Glasgow, 3-8 September, 2000. - Vol.2. - P.855-859.
14. Spectrum – Каталог ламп GE Lighting.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 10.04.2010.

Ս.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ, Ա.Լ. ՄԱՅԻԼՅԱՆ

ԿՈՄՊԱԿՏ ՖԼՅՈՒՐԵՆՑԵՆՏԱՅԻՆ ԼԱՄՊԵՐԻ ԼՈՒՍԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾԱՑՄԱՆ ՈՒՂԻՆԵՐԸ

Ընդհանրացված է ավանդական շիկացման լամպերին փոխարինող տասնամյա կոմպակտ ֆլուորեսցենտային լամպերի հետազոտման փորձը: Ցույց է տրված, որ բարձր լուսատվություն ստանալու համար անհրաժեշտ է օգտագործել ակուստապլազմային փոխազդեցությունը, ինֆրակարմիր տիրույթում ճառագայթման փոքր մասով լյումինաֆորներ և էլեկտրաէներգիայի քիչ սպառումով էլեկտրոնային դրայվերներ:

Առանցքային բառեր. ֆլուորեսցենտային լամպեր, ակուստոպլազմային փոխազդեցություն, լուսատվություն, լյումինաֆորներ, էլեկտրոնային դրայվերներ:

S.A. GEVORGYAN, A.L. MAYILYAN

WAYS OF INCREASING THE FLUORESCENT LAMP LUMINOUS EMITTANCE

The ten-year experience of investigating the compact fluorescent lamps substituting the traditional incandescent lamps is generalized. It is shown that to receive a high luminous emittance, it is necessary to use the acoustic and plasma interaction in the infrared range, luminophors with small radiation and electronic drivers with small power consumption.

Keywords: fluorescent lamp, acoustic and plasma interaction, luminophors, electronic drivers, emittance.

Б.М. МАМИКОНЯН, С.С. КАРАПЕТЯН, В.Г. МУРАДЯН

ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК СЕЙСМИЧЕСКИХ УСКОРЕНИЙ

Разработан пьезоэлектрический датчик-акселерометр для компьютерной регистрации и анализа сейсмической информации. Акселерометр предназначен для сейсмического мониторинга высоких плотностей больших водохранилищ. Основные характеристики акселерометра: пределы измерения ускорений - $0 \dots 10 \text{ м/с}^2$; частотный диапазон - $0,2 \dots 50 \text{ Гц}$; длина соединительного кабеля - 500 м ; основная погрешность - не более 5%; динамический диапазон - 70 дБ ; температурный диапазон эксплуатации - от -30 до $+50 \text{ }^\circ\text{C}$. Представлены электрическая схема датчика с предусилителем, произведены выбор и расчёт их параметров.

Ключевые слова: измерение, датчик, акселерометр, сейсмическое ускорение, преобразователь, пьезоэлемент, чувствительность, динамический диапазон.

Пьезоэлектрические датчики-акселерометры широко применяются в системах регистрации и анализа сейсмических колебаний для преобразования в электрический сигнал ускорения этих колебаний. Ключевые эксплуатационные требования, предъявляемые к этим датчикам, определяются наиболее существенными характеристиками и параметрами измеряемых сейсмических сигналов. В настоящей работе рассмотрена задача разработки пьезоэлектрического акселерометра для использования в информационно-измерительной системе сейсмического мониторинга высоких плотностей гидроэнергетических сооружений. Система осуществляет непрерывное слежение, обнаружение и регистрацию сейсмических событий в цифровом и графическом виде. Требуемые основные характеристики акселерометра:

- пределы измерения ускорений: $0 \dots 10 \text{ м/с}^2$;
- частотный диапазон: $0,2 \dots 50 \text{ Гц}$;
- длина соединительного кабеля: 500 м ;
- основная погрешность: не более 5%;
- динамический диапазон: не менее 70 дБ ;
- температурный диапазон эксплуатации: $-30 \dots +50 \text{ }^\circ\text{C}$.

Точность преобразования пьезодатчиком (ПД) сейсмического ускорения в электрический сигнал определяется сигналом смещения нуля, погрешностью полной шкалы (или чувствительности), нелинейностью коэффициента преобразования, поперечной чувствительностью, а также температурным и временным дрейфом этих параметров. Смещение нуля и чувствительность

акселерометра при нормальных условиях корректируются при изготовлении и калибровке на вибростенде с образцовым измерителем ускорения. Поперечная чувствительность характеризует "способность" датчика преобразовывать в электрический сигнал ускорение, направленное под углом 90° к измерительной оси датчика. У идеального акселерометра поперечная чувствительность равна нулю, у разрабатываемого - должна быть не более $\pm 2\%$ от номинальной чувствительности.

В основу разрабатываемого акселерометра положена традиционно используемая конструкция с инерционной массой и подвесной пружиной, создающей предварительное сжатие пьезоэлемента (ПЭ) вдоль чувствительной оси [1]. С целью выбора ПЭ произведён сравнительный анализ выпускаемых промышленностью пьезоэлектрических материалов. Большинство практически важных пьезоэлектрических материалов синтезируются (ниобат лития LiNbO_3 , пьезокерамика, пьезополимеры). Кристаллы LiNbO_3 выращиваются ориентированно вдоль определенных кристаллографических осей для приема продольных или поперечных акустических волн. Пьезокерамики (поликристаллические сегнетоэлектрики) после их поляризации в электрическом поле обладают устойчивыми и хорошо выраженными пьезоэлектрическими свойствами. Наиболее широко распространенными являются пьезокерамики группы цирконата-титаната свинца (ЦТС). К пьезополимерам относятся прежде всего поливинилиденфторид (ПВДФ) и сополимеры на его основе. ПЭ из этих материалов выпускают в виде пленок толщиной от 10 мкм до 1,5...2 мм, поляризованных по толщине. В табл. 1 приведены основные характеристики упомянутых пьезоэлектрических материалов.

В результате сравнительного анализа в качестве чувствительного элемента в разработке использован биморфный ПЭ из пьезокерамического материала общего назначения ЦТС-19, который обладает достаточной чувствительностью и обеспечивает работу преобразователя в температурном диапазоне до 200...250 $^\circ\text{C}$ [2]. Биморфный ПЭ составлен из двух идентичных пластин в виде шайб с размерами: внешний диаметр $D = 25$ мм, внутренний диаметр $d = 8$ мм, толщина $h = 2$ мм.

Применение биморфных ПЭ позволяет вдвое увеличить полезный сигнал практически при одном и том же уровне шумов. Пластины соединены последовательно-согласно. Расчётным путём определены внутреннее сопротивление и емкость одной пластины: $C_0 = 5090$ пФ, $R_0 = 10^9$ Ом. Из-за большой длины соединительного кабеля выбрана нетрадиционная схема преобразователя ускорение-напряжение: ПЭ подключен ко входу усилителя напряжения (вместо традиционно используемого усилителя заряда [2]), который вмонтирован непосредственно внутри ПД. Во избежание искажений выходного напряжения предусилителя при передаче по соединительному кабелю к выходу предусилителя подключён преобразователь напряжение-ток, также вмонтированный в ПД. В результате по соединительному кабелю передаётся выходной токовый сигнал ПД, поступающий в пункте регистрации

сейсмоколебаний на преобразователь ток-напряжение, на выходе которого подключены АЦП и регистрирующее устройство – персональный компьютер. Выходные кодовые сигналы АЦП вводятся в компьютер и обрабатываются с помощью специальной программы.

Таблица 1

Основные параметры некоторых пьезоэлектриков

Пьезо- электрик	Относ. диэл. прониц. ε , ед. ε_0	Плотность. ρ , 10^3 кг.м^3	Пьезомодуль. $d_{33} \cdot 10^{-12}$ К/Н	Модуль упругости. $E \cdot 10^9$ Н/м ²	Тангенс угла диэл. потерь (в слабых полях), $\text{tg} \delta$
Кварц	4,5	2,65	2,3	80	-
ТБ-1	1500	5,3	100	-	0,02
ТБК-3	1200	5,3	83,3	90-100	0,02
ТБКС	450	5,2	50	100-125	0,02
ЦТС-13	1100	7,3	283	-	-
ЦТС-19	1750	7,5	330	70	0,028
ЦТС-19М	2200	7,5	430	70	0,02
ЦТС-36	670	7,7	220	-	0,03
НЦТС-2	5700	7,8	650	-	0,03
ЦТСНВ-1	2250	7,3	400	64	0,02
PZT-2	990	7,6	152	86	0,05
(США)					
PZT-4	1300	7,5	389	80	0,04
(США)					
PZT-5Н	3400	7,5	593	60	0,02
(США)					
P6A	1300	-	80	-	-
(Япония)					
PXE-4	1500	7,65	265	-	0,058
(ФРГ)					
PXE-5	1750	7,6	365	-	0,02
(ФРГ)					

Благодаря такому техническому решению практически исключается влияние соединительного кабеля на метрологические характеристики сейсмометра. В качестве АЦП использована многофункциональная плата аналого-цифрового преобразования типа ЛА-20USB, предназначенная для IBM PC/AT совместимых компьютеров, подключаемая непосредственно на шину USB [3]. Используются серийные микросхемы с напряжением питания $\pm 15 \text{ В}$. Параметры электронной схемы выбраны таким образом, что при изменении ускорений в пределах $0 \dots 10 \text{ м/с}^2$ на входе АЦП напряжение постоянного тока меняется в пределах $0 \dots 10 \text{ В}$.

Усилитель напряжения (рис. 1) выполнен по схеме неинвертирующего усилителя на дифференциальном операционном усилителе (ОУ) с полевыми транзисторами на входе типа ОРА131UA. Данная микросхема отличается высоким входным сопротивлением (дифференциальное входное сопротивление 10^{10} Ом), низкими уровнями входного напряжения смещения (не более 1 мВ), входных токов (5 нА, который сохраняется во всем диапазоне входного синфазного напряжения и допустимом диапазоне напряжения питания), низким уровнем шумов: среднеквадратичное значение напряжения шумов, приведенное к входу при $U_n = 15$ В, не превышает $16 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ в полосе частот 0-100 Гц, высокими динамическими параметрами (скорость нарастания выходного напряжения 10 В/мкс). ОУ имеет внутреннюю частотную коррекцию, обеспечивающую устойчивую работу при любых режимах отрицательной обратной связи; температурный диапазон эксплуатации от -40°C до $+85^\circ\text{C}$ [4, 5].

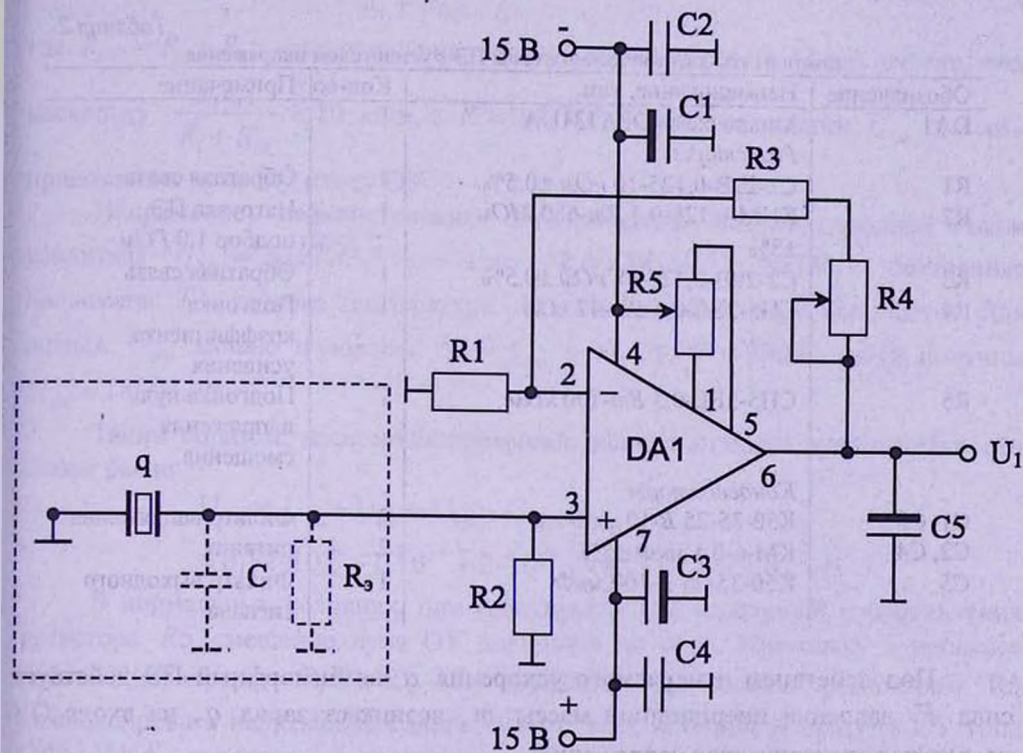


Рис. 1. Электрическая схема ПЭ с предусилителем напряжения

Типы и значения элементов схемы представлены в табл. 2. ПЭ изображён совместно со своей эквивалентной емкостью $C = C_0/2 = 2545 \text{ пФ}$ (последовательное соединение пьезопластин: входная емкость ОУ не более 1 пФ) и эквивалентным сопротивлением R_1 , которое учитывает сопротивление пьезопластин ($2R_0$), поверхностное сопротивление пластин и входное сопротивление прямого входа ОУ. В качестве нагрузки ПЭ включён резистор $R_2 = 1.0 \text{ ГОм}$. В результате расчёта получено значение эквивалентного сопротивления нагрузочной цепи ПЭ $R = R_1 // R_2 = 0.4 \cdot 10^9 \text{ Ом}$. Постоянная времени этой цепи (время, за которое заряд на конденсаторе спадает или возрастает в e раз): $\tau = RC = 1.018 \text{ с}$, которая определяет минимальную измеряемую частоту входного сигнала ПД: $f_{\min} = 1/2\pi\tau = 0.156 \text{ Гц}$, что удовлетворяет требованиям разработки.

Таблица 2

Компоненты электрической схемы ПЭ с усилителем напряжения

Обозначение	Наименование, тип	Кол-во	Примечание
DA1	Микросхема ОРА131UA <i>Резисторы</i>	1	
R1	C2-29B-0,125-10 кОм $\pm 0,5\%$	1	Обратная связь
R2	КИМ-0,125-0,5 Вт-680 МОм $\pm 5\%$	1	Нагрузка ПЭ, подбор 1,0 ГОм
R3	C2-29B-0,125-68 кОм $\pm 0,5\%$	1	Обратная связь
R4	СП5-2ВБ-0,5 Вт-47 кОм	1	Подгонка коэффициента усиления
R5	СП5-2ВБ-0,5 Вт-100 кОм	1	Подгонка нуля напряжения смещения
	<i>Конденсаторы</i>		
C1, C3	K50-35-25 В-10 мкФ	2	Фильтр напряжения питания
C2, C4	КМ-6-0,1 мкФ $\pm 5\%$	2	
C5	K50-35-25 В-100 мкФ	1	Фильтр выходного сигнала

Под действием измеряемого ускорения a на биморфный ПЭ действует сила F давления инерционной массы m , возникает заряд q , на входе ОУ появляется электрическое напряжение

$$U = \frac{2q}{C} = \frac{2d_{33}F}{C} = \frac{2d_{33}ma}{C}, \quad (1)$$

которое усиливается в K_1 раз: $U_1 = K_1 \cdot U = \left(1 + \frac{R_3 + R_4}{R_1}\right) U$.

Минимальный уровень измеряемого ускорения $a_{\min}$, обнаруживаемого ПД, можно оценить из равенства минимального напряжения на ПЭ напряжению электрических шумов схемы, то есть её порогом чувствительности. Здесь определяющими являются собственный шум, смещение и сдвиг нуля ОУ, напряжение найквистовских электрических шумов входной цепи в полосе пропускаемых частот. Все эти факторы вызывают аддитивные погрешности, которые являются систематическими. Оценим их значения.

Приведённый ко входу собственный шум ОУ (среднеквадратичное значение) в частотном диапазоне ПД (0,2...50 Гц) будет:
 $U_{\text{ш}} = 16 \cdot 10^{-9} \sqrt{50} = 0,12 \text{ мкВ}$. Входное напряжение смещения нуля ОУ:
 $U_{\text{см}} = 1 \text{ мВ}$. Напряжение смещения нуля, обусловленное входными токами ОУ, определяется по формуле

$$U_{\omega} = R \cdot i_{+} - \frac{R_1 R_{\text{OC}}}{R_1 + R_{\text{OC}}} \cdot i_{-} \approx R \cdot i_{+} = 0,4 \cdot 10^9 \cdot 5 \cdot 10^{-12} = 2 \text{ мВ},$$

где $R_{\text{OC}} = R_3 + R_4$ - сопротивление цепи обратной связи ОУ. Здесь учтено, что, поскольку $\frac{R_1 R_{\text{OC}}}{R_1 + R_{\text{OC}}} < 10 \text{ кОм}$, а $R = 0,4 \cdot 10^9 \text{ Ом}$, то напряжение U_{ω} целиком приложено к прямому входу ОУ.

Напряжение найквистовских электрических шумов входной цепи усилителя $U_{\text{нш}} = 2\sqrt{kTR\Delta f}$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ - постоянная Больцмана, T - рабочая температура, Δf - полоса регистрируемых частот. Для оценки $U_{\text{нш}}$ можно положить $\Delta f = f_{\text{max}} = 50 \text{ Гц}$, $T = 300 \text{ К}$, тогда получим $U_{\text{нш}} = 18,2 \text{ мкВ}$.

Таким образом, некомпенсированное значение порога чувствительности схемы равно

$$U_{0H} = U_{\text{ш}} + U_{\text{см}} + U_{\omega} + U_{\text{нш}} = 0,12 \cdot 10^{-6} + 1 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-3} + 18,2 \cdot 10^{-6} = 3,02 \text{ мВ}.$$

В нормальных условиях, при градуировке ПД, подгонкой сопротивления резистора $R5$ смещение нуля ОУ доводится до нуля. Поскольку в процессе работы параметры $R, R1, R_{\text{OC}}$ не меняются, то можно резистором $R5$ компенсировать напряжение сдвига нуля от всех источников сразу (в ОУ типа ОРА131UA посредством резистора $R5$ можно компенсировать входное напряжение сдвига до 20 мВ). Однако шумы остаются. К тому же в нормальных условиях существующими государственными стандартами допускается изменение температуры окружающей среды в пределах $+25 \pm 5^{\circ}\text{C}$, что вызывает температурный дрейф напряжений $U_{\text{см}}$ и U_{ω} . В результате появляется паразитный входной сигнал:

$$\Delta U_T = \left(\frac{\partial U_{\text{см}}}{\partial T} + \frac{\partial U_{\text{вх}}}{\partial T} \right) \Delta T = \left(\frac{\partial U_{\text{см}}}{\partial T} + R \cdot \frac{\partial I_{\text{вх}}}{\partial T} \right) \Delta T.$$

Для ОУ типа ОРА131UA максимальное значение $\frac{\partial U_{\text{см}}}{\partial T} = \pm 8 \text{ мкВ/град}$, а при изменении температуры от $+25^\circ\text{C}$ до $+30^\circ\text{C}$ изменение входного тока составляет $\Delta I_{\text{вх}}/5 \text{ град} = 0,25 \text{ нА}$ [4], в результате получаем $\Delta U_T = 8 \cdot 10^{-6} \cdot 5 + 0,4 \cdot 10^{-9} \cdot 0,25 \cdot 10^{-12} = 0,14 \text{ мВ}$. Таким образом, реальное значение порога чувствительности ПД будет

$$U_0 = U_{\text{см}} + U_{\text{вх}} + \Delta U_T = 0,16 \text{ мВ}.$$

Следовательно, минимальное значение действующей силы, которое может чувствовать датчик, следует из формулы (1):

$$F_{\text{min}} = ma_{\text{min}} = U_0 \cdot C / 2d_{33} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ Н}.$$

Учитывая, что по требованиям разработки $a_{\text{max}} = 10 \text{ м/с}^2$, определяем динамический диапазон измеряемых ускорений:

$$D_a = 20 \lg \frac{a_{\text{max}}}{a_{\text{min}}} = 20 \lg \frac{a_{\text{max}}}{a_{\text{min}}} = 20 \lg \frac{10 \text{ м}}{6 \cdot 10^{-4}} \geq 70 \text{ дБ},$$

откуда следует $m \geq 0,19 \text{ кг}$. Принимая во внимание, что в паспортных данных пьезоматериалов значения пьезомодуля относятся к режиму холостого хода, с некоторым запасом выбрано значение инерционной массы $m = 0,2 \text{ кг}$. Максимальный сигнал, возникающий при этом на входе усилителя при максимальном значении измеряемого ускорения $a_{\text{max}} = 10 \text{ м/с}^2$, следует из формулы (1): $U_{\text{max}} = 520 \text{ мВ}$. Подгонкой сопротивления резистора R4 (рис. 1) на выходе усилителя устанавливается напряжение $U_1 = 5 \text{ В}$, чему соответствует значение коэффициента усиления $K_y \approx 10$.

Основной динамической характеристикой акселерометра является полоса пропускания по уровню -3 дБ . Амплитудно-частотная (АЧХ) и фазочастотная (ФЧХ) характеристики определяются при действии на ПД синусоидальной силы $F_m \sin \omega t$, на гранях каждой пьезопластины возникают заряды $q = Q_m \sin \omega t = d_{33} F_m \sin \omega t$. Мгновенный пьезоток $i = dq / dt = d_{33} \omega F_m \cos \omega t$, а его комплексное значение $\dot{I} = j \omega d_{33} \dot{F}$. Выходное напряжение ПД будет

$$\dot{U}_1 = 2 \dot{I} \frac{R(1/j\omega C)}{R + 1/(j\omega C)} \cdot K_y = \frac{2d_{33} \dot{F} K_y}{C} \cdot \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}. \quad (2)$$

Как видно из полученного выражения, амплитуда U_{1m} выходного напряжения и сдвиг фаз φ между выходным напряжением и измеряемой силой зависят от частоты ω действующей на ПЭ силы:

$$U_{1m} = \frac{2d_{33}F_m K_y}{C} \cdot \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} = K_0 \cdot F_m \cdot \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}} = K \cdot F_m; \quad (3)$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} + \arctg \omega RC, \quad (4)$$

где $K_0 = \frac{2d_{33}K_y}{C}$ — номинальный коэффициент преобразования ПД;

$$K = K_0 \cdot \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + \omega^2 R^2 C^2}}.$$

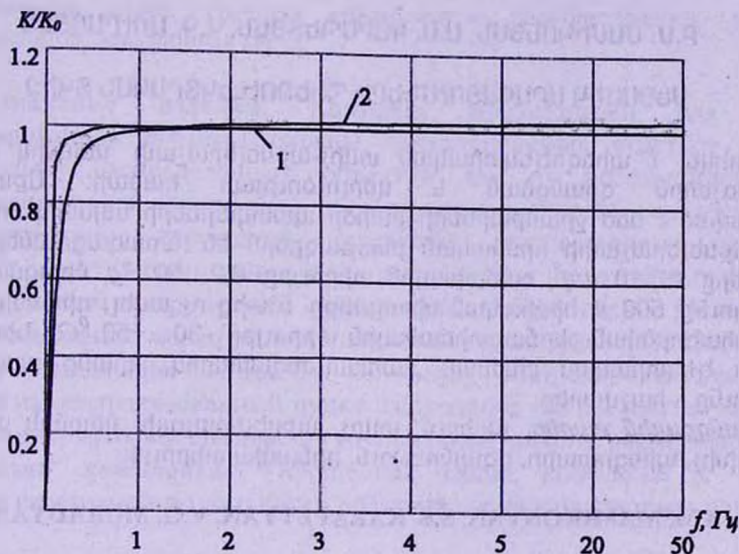


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика акселерометра

Построена АЧХ ПД в относительных единицах (рис. 2), где кривая 1 — теоретическая характеристика, кривая 2 — экспериментальная. Из (3) и (4) следует, что АЧХ и ФЧХ имеют частоту среза (нижний предел частоты) $\omega_0 = 1/RC$ ($f_0 = 1/2\pi RC$). При этой частоте входного сигнала ($\omega = \omega_0$) спад АЧХ (т.е. уменьшение уровня выходного сигнала) равен 3 дБ, а фазовый угол уменьшается на 45° . По полученным выше значениям параметров ПД

$f_0 = 0.156$ Гц, что подтверждается экспериментально и удовлетворяет требованиям разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левшина Е. С., Новикский П. В. Электрические измерения физических величин. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
2. Шарапов В. М., Мусиенко М. П., Шарапова Е. В. Пьезоэлектрические датчики / Под ред. В. М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.
3. LA-20USB. Многофункциональная плата аналогово-цифрового преобразования для IBM PC/AT совместимых компьютеров на шину USB / <http://centeradc.ru/produkcija/nizkочастотные-платы-sbora-dannyh-s/la-20usb>.
4. Руководство по выбору усилителей. – Texas Instruments. – 2006. – 44 с.
5. Нефедов А. В. Интегральные микросхемы и их зарубежные аналоги: Справочник. Том 2. – М.: ИП РадиоСофт, 1999. – 640 с.

ГИУА (П). Гюмрийский филиал. Материал поступил в редакцию 06.10.2010.

Բ.Ս. ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ, Ս.Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Վ.Գ. ՄՈՒՐԱԴՅԱՆ

ՍԵՅՍՄԻԿ ԱՐԱՊԱՅՈՒՄՆԵՐԻ ՊԻԵԶՈԷԼԵԿՏՐՈՎԱԿԱՆ ՏՎԻԶ

Մշակվել է պիեզոէլեկտրական տվիչ-աքսելերաչափ սեյսմիկ տեղեկության համակարգչային զրանցման և վերլուծության համար: Աքսելերաչափը նախատեսված է մեծ ջրամբարների բարձր պատվարների սեյսմիկ մոնիտորինգի համար: Աքսելերաչափի հիմնական բնութագրերն են արագացումների չափման սահմանները $0...10$ մ/վ², հաճախային տիրույթը $0.2...50$ Դց, միացման մալուխի երկարությունը 500 մ, հիմնական սխալանքը 5% -ից ոչ ավել, դինամիկ տիրույթը 70 դԲ, շահագործման ջերմաստիճանային տիրույթը $-30...+50$ °C: Ներկայացված են տվիչի էլեկտրական սխեման՝ նախաուժեղարարով, դրանց պարամետրերի ընտրությունը և հաշվարկը:

Առանցքային բառեր. չափում, տվիչ, աքսելերաչափ, սեյսմիկ արագացում, կերպափոխիչ, պիեզոտարր, զգայնություն, դինամիկ տիրույթ:

B.M. MAMIKONYAN, S.S. KARAPETYAN, V.G. MURADYAN

THE PIEZOELECTRIC SENSOR FOR SEISMIC ACCELERATIONS

A piezoelectric sensor-accelerometer for computer registration and seismic information analysis is developed. The accelerometer is aimed for seismic monitoring high dam of big water-storage basins. The basic characteristics of the accelerometer are acceleration measurement boundary $0...10$ m/s², frequency range $0.2...50$ Hz, connecting cable length 500 m, the basic error no more than 5% , dynamic range 70 dB, temperature range of exploitation from -30 to $+50$ °C. An electric circuit of sensor with preamplifier and selection and calculation of their parameters are presented.

Keywords: measurement, sensor, accelerometer, seismic acceleration, converter, piezoelectric cell, sensitivity, dynamic range.

Р. М. МАРТИРОСЯН, А. Г. ГУЛЯН, А. А. АБРАМЯН, Р. Г. СИМОНЯН,
Г. А. ПИРУМЯН, О. Ж. СЕВОЯН, А. А. САНОЯН

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ОХРАННЫЙ КОМПЛЕКС АРЦАХ-М1

Представлена автоматизированная охранная система, предназначенная для защиты территориально распределенных объектов. Указаны преимущества и перспективность применения подобных систем для решения специальных задач охраны, где требуются скрытность установки, оперативность изменения контролируемого рубежа и быстроразвертываемость. Оповещение о нарушении передается на централизованный пункт наблюдения (до 30 км), а также на носимый приемник группы оперативного реагирования (до 3 км) по одному из 640 цифровых препрограммированных радиоканалов.

Ключевые слова: средства обнаружения, радиопередатчик, радиоканал, радиоретранслятор, электронная карта.

Назначение изделия. Комплекс предназначен для создания автоматизированной системы охраны контролируемых участков местности территориально распределенных объектов как от несанкционированного проникновения людей (групп лиц), так и от автотранспортных средств.

Обнаружение нарушений (вторжений) осуществляется посредством применения средств обнаружения (СО), построенных на различных физических принципах (магнитометрических, сейсмических, обрывных) и расположенных на путях возможных маршрутов следования нарушителей [1]. Информация о нарушении немедленно передается по каналу ультракоротких волн (УКВ) радиосвязи на централизованный пункт наблюдения (ЦПН) или же на носимый радиоприемник, которым снабжается группа оперативного реагирования.

Состав комплекса. Упрощенная схема комплекса с указанием примерных расстояний по дальности действия элементов системы приведена на рис.1.

Комплекс состоит из набора нескольких типовых элементов:

- малогабаритный радиопередатчик сигналов тревоги (РСТ) в комбинации с одним из СО: сейсмическим, магнитным или обрывным;
- носимый приемник (НП) для приема и отображения сигналов тревоги;
- ЦПН - на основе персонального компьютера (ПК) со встроенным радиоприемным устройством и специальным программным обеспечением (ПО);
- многоканальный радиоретранслятор (МРР) для увеличения дальности связи.

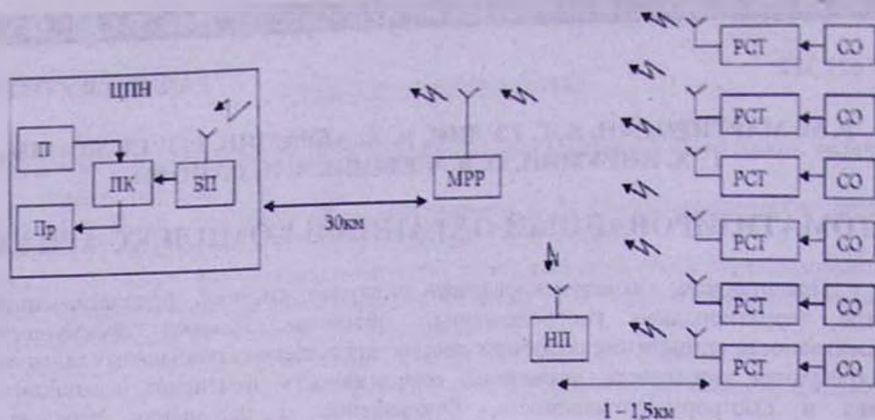


Рис.1. Схема дислокации комплекса

Ниже приведено краткое описание элементов и устройств, входящих в комплекс.

Сейсмический датчик (рис.2) предназначен для регистрации малых колебаний грунта и соответствующего извещения.

Технические данные:

Дальность обнаружения:

- пешехода до 30 м
- легкой техники до 100 м
- тяжелой техники до 200 м

Спектр колебаний

0,1...10 Гц

Коэффициент усиления

до 60 дБ

Ток покоя

50 мкА

Напряжение питания

7,5...10 ВДС

Вес

230 г

Магнитометрический датчик (рис.3) предназначен для регистрации возмущений магнитного поля Земли, вызванного присутствием металлического предмета.

Технические данные:

Дальность обнаружения:

до 50 м

Мощность, потребляемая в ждущем режиме

2 мВт

Амплитуда выходного сигнала

5 ВДС

Длительность выходного сигнала

5 с

Размеры

25х55х85 мм³

Вес

120 г

Датчик обрыва провода (рис.4) предназначен для фиксации нарушения границы охраняемого рубежа обрывом микропровода.

Технические данные:

Длина обрывного провода
Диаметр обрывного провода
Ток покоя
Напряжение питания
Габариты
Вес

до 100 м
0,05 мм
20 мкА
7.5...10 VDC
53x53x36 мм³
150 г



Рис.2. Сейсмический датчик

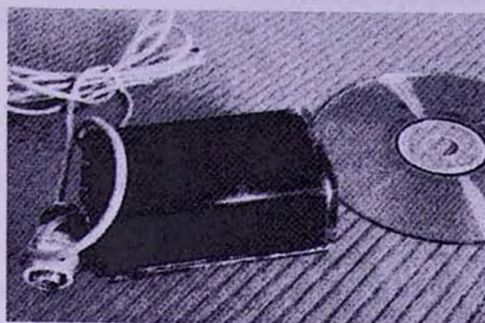


Рис.3. Магнитометрический датчик



Рис.4. Датчик обрыва провода

Радиоизвещатель сигнала тревоги (РСТ) (рис.5). РСТ совместно с любым из датчиков СО выполняет задачу обнаружения факта вторжения с передачей сигнала тревоги по радиоканалу на НП, ЦПН или ретранслятор. При размещении на местности устройство устанавливается скрытно в грунт на глубину до 10 см, за исключением передающей антенны, представляющей собой четвертьволновый штырь из стального провода диаметром 1 мм, что обеспечивает практически полную визуальную маскируемость передатчика (рис.5).

В целях увеличения дальности связи с высокой помехозащищенностью и при передаче пакета используется сверточное кодирование (Convolution Coding) с одним из видов Манчестерского кодирования [2]. Для проверки целостности пакета данных использован алгоритм CRC 32. При передаче сигналов тревоги, в целях исключения потерь связи в условиях сильных естественных или умышленных радиопомех, предусмотрены режим многократной передачи сообщений через программно-задаваемый интервал времени и режим последующей обработки принимаемого сигнала путем мажорирования.

РСТ предназначен для обнаружения факта вторжения с передачей сигнала тревоги по радиоканалу.

Технические данные:

Длительность передачи сигнала	0,2 с
Частотный диапазон	138...154 МГц
Передаваемая мощность (регулируемая)	до 3-х Вт
Количество радиоканалов	640
Питание	4x700 мА/ч
Габариты	114x90x82 мм
Вес	500 г

Предназначение носимого приемника (рис.6): прием, извещение, декодирование, отображение каждого из 640 радиоканалов и сохранение в архиве последних 10-ти извещений.

Технические данные:

Диапазон рабочих	-20...+ 55 °С
Питание	сменная батарея 2x700 мА/ч
Габариты	150x74x40 мм ³
Вес	490 г

Носимый приемник служит для приема и отображения сигналов тревоги от средств обнаружения, а также для обеспечения работы в полевых условиях. Он также может быть применен при монтаже и пусконаладке устройств комплекса. В рабочем режиме НП декодирует и выдает на дисплей извещение от любого СО, расположенного на рубеже охраны (в пределах допустимой дальности радиосвязи).

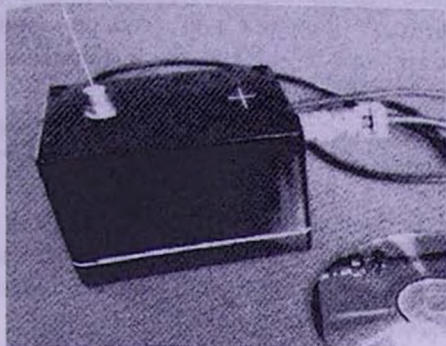


Рис.5. Радиозвещатель сигнала тервоги (РСТ)

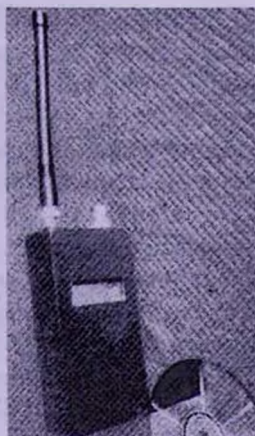


Рис.6. Носимый приемник

Многоканальный радиоретранслятор (МРР) (рис.7) предназначен для приема и ретрансляции радиосигналов из зоны расположения РСТ.

Технические данные:

Чувствительность канала приема

-120 dBm

Уровень излучения

до 5 Вт

Программируемые каналы

640

Частотный диапазон

138...154 МГц

Питание

12 В, 10 А/ч

Габариты

320x220x150 мм³

Вес

16 кг

Рабочая температура

-30...+55 °C

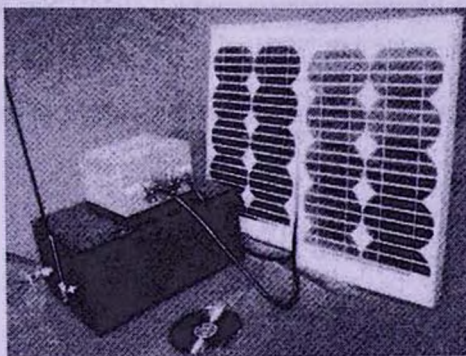


Рис.7. Многоканальный радиоретранслятор (МРР)

МРР служит для приема и ретрансляции радиосигналов из зоны расположения РСТ до пунктов приема, в качестве которых могут быть ЦПН, другой МРР или НП. МРР относится к классу автономных устройств и может длительное время не обслуживаться, если есть условия для своевременной автоматической подзарядки встроенной батареи от электросети, солнечной батареи или другого источника питания.

Центральный пункт наблюдения (ЦПН) является стационарной частью комплекса и фактически представляет собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, работающее непрерывно в круглосуточном режиме и обеспечивающее прием и обработку поступивших по радиоканалу извещений о нарушениях, а также контрольных сообщений о состоянии связи [3]. Основу АРМ оператора составляет ПК со встроенным в его процессорный блок радиоприемным устройством и специальным программным обеспечением.

Программное обеспечение комплекса функционирует на платформе Microsoft Windows XP Professional и обеспечивает:

- создание и иллюстрацию на экране монитора ПК электронной карты дислокации отдельных узлов комплекса по систематизированным адресам;
- отображение периферийных узлов на электронной карте местности;
- контроль состояния и параметров датчиков;
- декодирование, регистрацию и архивацию принятых сообщений с указанием адреса датчика в реальном масштабе времени.

На рис.8 и 9 приведены снимки с экрана монитора с изображениями электронной карты местности, где квадратиками отражены установленные СО, привязанные к координатам карты. Представлен также пример страницы архивированной информации. Поступление принятого сообщения о тревоге сопровождается звуком и световым сигналом.

В таблице представлены результаты сравнительного анализа характеристик комплекса «Арцах-М1», изготовленного в ИРФЭ НАН РА с максимально близкими по назначению современными аналогичными системами американского и российского производства «EMIDS» и «Радиобарьер»-МФ соответственно.

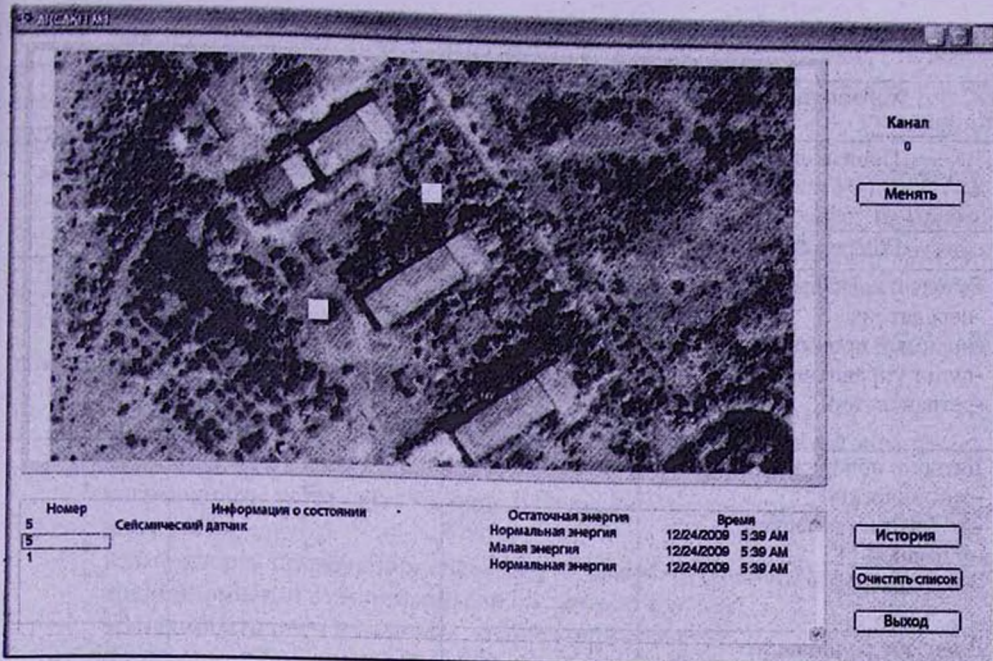


Рис.8. Электронная карта местности

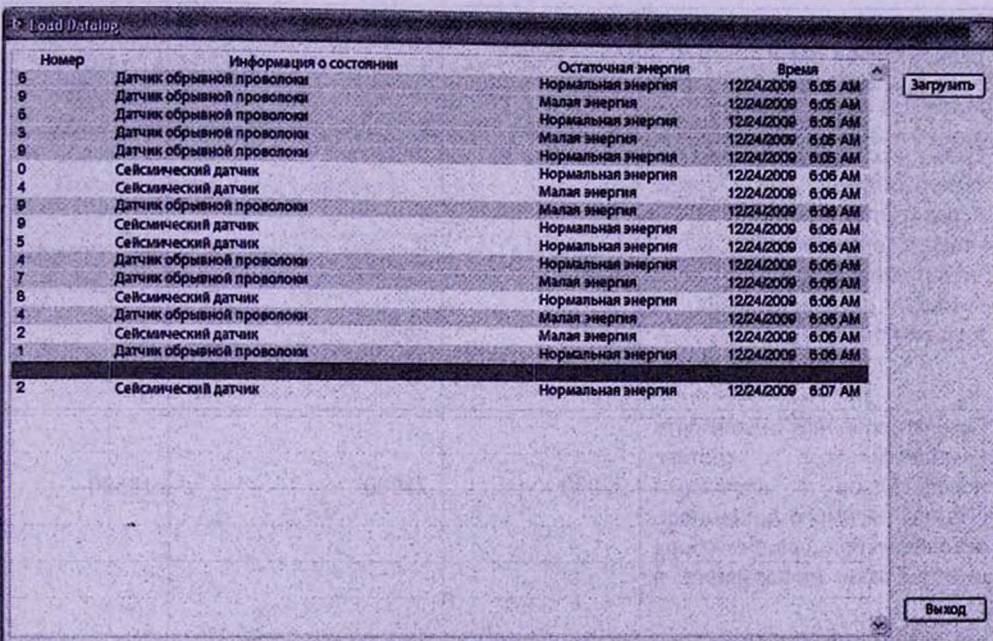


Рис.9. Архивированная информация

Характеристики	“EMIDS”	«Радиобарьер»-МФ	«Арцах-М1»
Производитель	«Qual-Trop, Inc» США	«ПОЛЮС-СТ» РФ	ИРФЭ НАН Армения
Год разработки	1995г.	2005г.	2008г.
Базовый комплект: -передатчик -носимый приемник -пульт управления -ретранслятор	+ + + +	+ + + +	+ + + +
Датчики обнаружения -сейсмический -магнитометрический -обрывной -инфракрасный	+ + + +	+ + + -	+ + + +
Диапазон радиочастот МГц	138...174	433...435	138...174
Число программируемых радиоканалов связи	640, 1600, 1920	3-5	640
Интервал каналов, кГц	25, 5, 6,25	?	25
Дальность передачи (км) от заглубленного в земле передатчика до: -носимого приемника -пульта оператора -между ретранслятором и пультом оператора	1 3 до 10	0,5 1,5 до 7	1,5 3 до 20
Ориентировочная стоимость комплекса в составе передатчиков с датчиками (10шт) носимого приемника, ретранслятора, средств сбора и обработки информации в \$USA	22000	28000	18500

Заключение. Комплекс относится к классу сравнительно новых и стремительно развивающихся так называемых быстроразвертываемых систем, имеющих автономное питание и осуществляющих передачу сигнала по радиоканалу.

Особенно перспективно применение таких систем для защиты рубежей в условиях горной местности, где сильная изрезанность рельефа и наличие скальных пород могут практически исключить возможность монтажа стационарной системы и прокладки протяженных кабельных линий связи и электропитания.

Основные отличия быстроразвертываемых систем как класса от традиционных систем охраны периметров:

- малое время установки элементов системы на местности;
- возможность быстрого изменения конфигурации элементов комплекса в зависимости от изменения обстановки;
- возможность установки на неподготовленной в инженерном отношении местности;
- возможность применения системы как самостоятельно, так и совместно с традиционными стационарными системами охраны;
- возможность осуществления технической разведки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юшин А.М. Цифровые микросхемы для электронных устройств. – М.: Высшая школа, 1993.
2. Оппенгейм А., Шафер Р. Цифровая обработка сигналов. – М.: Мир цифровой обработки, 2006.
3. Прокис Джон. Цифровая связь. – М.: Радио и связь, 2000.

Институт радиофизики и электроники НАН РА.. Материал поступил в
редакцию 11.07.2000.

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ա.Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՐԻՄՅԱՆ, Ռ.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ,
Հ.Ա. ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ, Օ.Ժ. ՍԵՎՈՅԱՆ, Ա.Ա. ՍԱՆՈՅԱՆ

ՀԱՎԱՄԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԼԻՐ «ԱՐՏԱԽ-Մ1»

Լեռնայացված է տարածքային բաշխվածությամբ տեղամասերի պաշտպանության ավտոմատ հսկման համալիր: Ցույց է տրված մեծ համալիրների կիրառման հեռանկարները հսկման հատուկ խնդիրների դեպքում, երբ պահանջվում են համալիրի հանգույցների տեղակայման թաքնվածություն, հսկման սահմանագծի օպերատիվ վերաձևափոխություն և տեղաբաշխման արագություն: Խախտումն արձանագրող ահազանքը 640 թվանշանին վերածրագրավորվող ռադիոուղիներից մեկով հաղորդվում է ազդանշանի ընդունման կենտրոնականան (մինչև 30 կմ), ինչպես նաև օպերատիվ խմբի դյուրակիր ընդունիչին (մինչև 3 կմ):

Առանցքային բառեր. հայտնաբերման միջոցներ, ռադիոհաղորդիչ, ռադիոուղի, ռադիովերահաղորդիչ, էլեկտրոնային քարտեզ:

R.M. MARTIROSYAN, A.G. GHULYAN, A.A. ABRAHAMYAN, R.H. SIMONYAN,
H.A. PIRUMYAN, O.ZH. SEVOYAN, A.A. SANOYAN

AUTOMATED GUARD COMPLEX "ARTSAKH-M1"

An automated security system meant for securing territorially allocated objects is presented. The advantages and perspectives of applying such a system for solving special problems of security where setup security, efficiency of controlled border changing and quick deployment are required. Notification on violation is transferred to the centralized observation point (up to 30 km), as well as to the receiver of the operational reaction group (up to 3 km) one by one from 640 digital reprogrammable radio channels.

Keywords: detection facilities, radio transmitter, radio channel, radiotranslator, electronic map.

Э.П. АЦИЯНЦ

**НЕСТАЦИОНАРНОЕ ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ
ЖИДКОСТИ В КРУГЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ**

Исследуется замедленное и ускоренное напорное ламинарное течение жидкости в круглой цилиндрической трубе. Используя уравнение Навье-Стокса, получены аналитические зависимости, в которых влияние конвективного члена отражается в явном виде.

Ключевые слова: разгон жидкости, скоростной напор, коэффициент затухания.

Исследование нестационарных процессов в напорных системах, возникающих при движении вязких жидкостей, необходимо для их надежного проектирования. В инженерной практике приходится сталкиваться с ламинарным режимом течения при движении в трубах нефти, керосина, смазочных масел и других жидкостей с повышенной вязкостью.

Математические модели течений вязких жидкостей несколько отличаются от моделей идеальных жидкостей. Достаточно полное представление об изменении структуры ламинарного течения можно получить, используя дифференциальное уравнение Навье-Стокса. Например, авторы работ [1,2], интегрируя указанные уравнения, рекомендуют зависимости, с помощью которых определяются гидравлические параметры ламинарного нестационарного движения. Недостатком этих зависимостей является то, что в них влияние скоростного напора или не учитывается, или же его трудно установить. Кроме того, дискуссионным является полученное в указанных зависимостях значение показателя степени при экспоненте затухания.

Целью работы является исследование структуры ламинарного течения в круглой цилиндрической трубе, возникающего при замедленном и ускоренном движениях вязкой несжимаемой жидкости, с помощью аналитических зависимостей, в которых влияние скоростного напора отражается в явном виде.

Рассмотрим сначала замедленное движение вязкой жидкости на некотором участке горизонтальной трубы (рис. 1), возникающее под действием внезапно созданной постоянной разности давлений ($\Delta H = H_0$) на концах рассматриваемого участка.

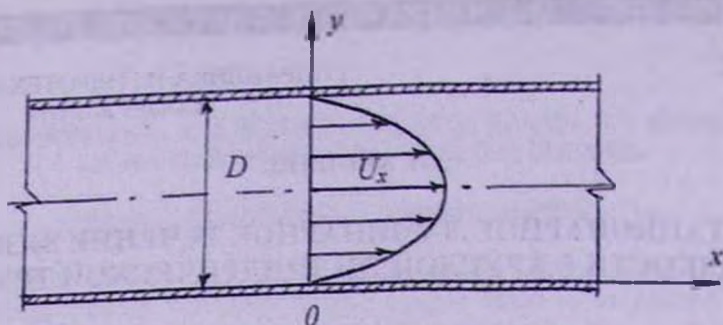


Рис. 1. Расчетная схема участка трубы

Для решения задачи используется уравнение Навье-Стокса, которое для плоскопараллельного движения ($U_y = U_z = 0$) имеет вид [3]

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2}, \quad (1)$$

где U_x - горизонтальная составляющая скорости течения жидкости; x - продольная координата низа трубы (рис.1); y - вертикальная ордината; P - давление жидкости в трубе; ρ - плотность жидкости; μ - динамическая вязкость; t - текущее время.

В уравнении (1) слагаемое $U_x \frac{\partial U_x}{\partial x}$ отражает влияние скоростного напора на нестационарный процесс. В случае аналитического решения задачи влияние этого слагаемого приходится учитывать приближенно. В работе [4] оно заменяется выражением $2RU_x$, где $2R = \sqrt{2gH_0}/l$, g - ускорение свободного падения, l - длина рассматриваемого участка трубы. В настоящей работе выражение $\sqrt{2gH_0}/l$ обозначено коэффициентом k .

При постоянном перепаде давления на концах рассматриваемого участка трубы выражение $\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}$ можно заменить и представить его в виде gH_0/l . С учетом указанных обозначений уравнение (1) примет вид

$$\frac{\partial U_x}{\partial t} + kU_x = -\frac{gH_0}{l} + \nu \frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2}, \quad (2)$$

где ν - кинематическая вязкость.

При стационарном ламинарном течении жидкости распределение местных скоростей по диаметру трубы имеет вид [3]

$$U_x(y, 0) = \frac{8V_c}{D^2}(Dy - y^2), \quad (3)$$

где D – диаметр трубы; V_c – средняя в живом сечении скорость течения жидкости.

Из (3) определяются те ординаты y_1 и y_2 , при которых скорость U_x равна V_c . Такими ординатами являются значения $y_1 = 0,146D$ и $y_2 = 0,854D$.

Выражение (3) используется в качестве начального условия при интегрировании уравнения (2), а граничные условия определяются исходя из того обстоятельства, что у стенок трубы ($y = 0$ и $y = D$) скорость течения равна нулю:

$$U_x(0, t) = 0, \quad U_x(D, t) = 0. \quad (4)$$

Интегрируя уравнение (2) методом Фурье при условиях (3) и (4), получается зависимость вида

$$\begin{aligned} U_x(y, t) = & \frac{64V_c}{\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^3} \left(\exp \left[t \left(-k - \frac{v(2n-1)^2 \pi^2}{D^2} \right) \right] \right) \times \\ & \times \sin \frac{(2n-1)\pi y}{D} - \frac{4gH_0}{l\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1) \left[k + \frac{v(2n-1)^2 \pi^2}{D^2} \right]} \times \\ & \times \left\{ 1 - \exp \left[t \left(-k - \frac{v(2n-1)^2 \pi^2}{D^2} \right) \right] \right\} \sin \frac{(2n-1)\pi y}{D}. \end{aligned} \quad (5)$$

Распределение местных скоростей течения по диаметру трубы (рис.2), построенных с помощью (5) при некоторых значениях t и y , показывает, как происходит изменение профиля скоростей в трубе при замедленном движении. При вычислениях приняты следующие численные значения расчетных параметров: $v = 85 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, $D = 0,05 \text{ м}$, $H_0 = 0,17 \text{ м}$, $\ell = 50 \text{ м}$, $V_c = 0,31 \text{ м/с}$, $k = 0,0365 \text{ 1/с}$.

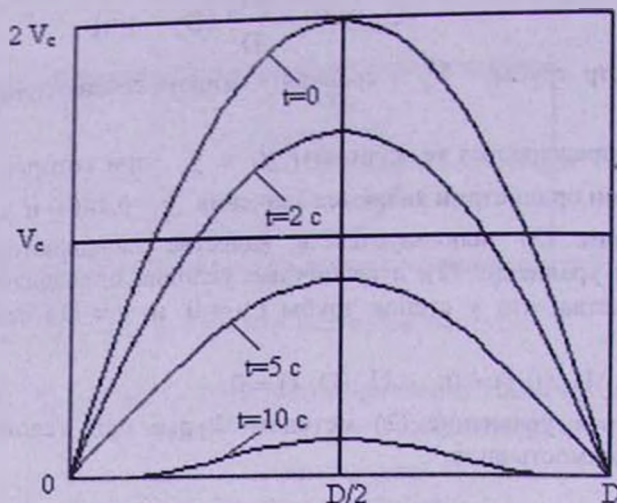


Рис.2. Изменение распределения скоростей при замедленном движении жидкости в трубе

Рассмотрим нестационарный процесс, возникающий при разгоне вязкой жидкости в трубопроводе из состояния покоя и перехода ее в стационарный режим движения. В этом случае начальные и граничные условия при интегрировании уравнения (2) будут иметь вид

$$U_x^p(0, y) = 0, \quad U_x^p(0, t) = 0 \quad \text{и} \quad U_x^p(D, t) = 0. \quad (6)$$

При указанных условиях интеграл уравнения (2) будет иметь вид

$$U_x(y, t) = \frac{4gH_0}{\ln} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1) \left[k + \frac{v(2n-1)^2 \pi^2}{D^2} \right]} \times \left\{ 1 - \exp \left[t \left(-k - \frac{v(2n-1)^2 \pi^2}{D^2} \right) \right] \right\} \sin \frac{(2n-1)\pi y}{D}. \quad (7)$$

Из (7) видно, что продолжительность существования переходного процесса зависит от численного значения выражения $k + \frac{v\pi^2}{D^2} (2n-1)^2$, где коэффициент k отражает влияние конвективного члена $U_x \frac{\partial U_x}{\partial x}$ в уравнении

(1) и $\frac{v\pi^2 (2n-1)^2}{D^2}$ - влияние вязкости жидкости и диаметра трубы.

На рис.3 показаны графики функции (7), построенные при различных значениях переменных y и t и вышеуказанных численных значениях расчетных параметров.

Как видно из графиков, значение скорости течения жидкости максимально при $y=D/2$, а при $y_1 = 0,146D$ и $y_2 = 0,854D$ оно стремится к средней в живом сечении трубы скорости V_c .

Следует отметить, что в случае использования квазистационарной модели движения жидкости зависимость изменения средней скорости течения от времени имеет вид гиперболического тангенса [3]. В этом случае продолжительность переходного процесса получается меньше, чем при расчетах по полученной зависимости (7), которая имеет вид экспоненциальной функции.

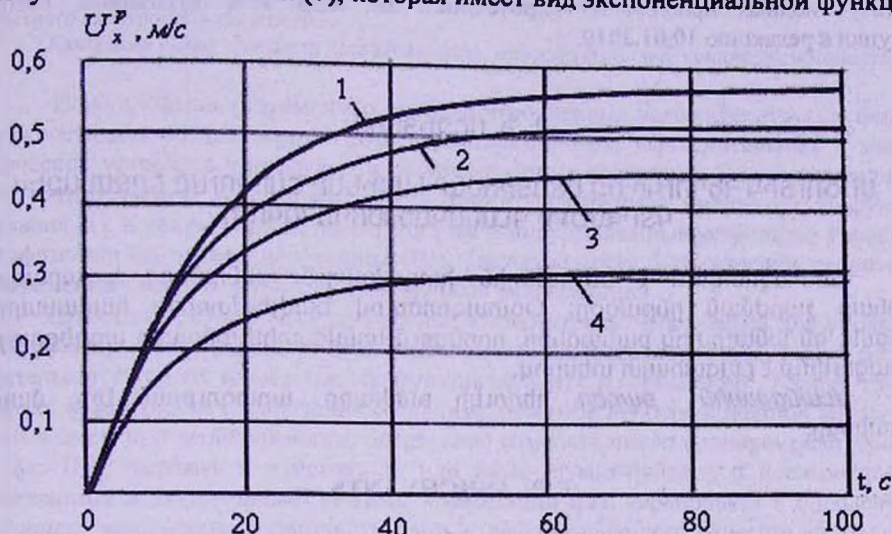


Рис.3. Зависимость $U_x^p = f(t)$ при: 1 - $t = 0,5D$; 2 - $y = 0,33D$; 3 - $y = 0,25D$; 4 - $y = 0,146D$

Однако при этом величина средней в живом сечении трубы скорости движения при $t \rightarrow \infty$ совпадает с численным значением V_c , определяемым по формуле Пуайзеля-Гагена [3].

Таким образом, расчеты показывают, что при исследовании ламинарного движения вязкой жидкости учет влияния конвективного члена в уравнении Навье-Стокса обязателен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.
2. Громека И.С. К теории движения жидкости в узких цилиндрических трубках. – М.: Изд-во АН СССР, 1952.
3. Альтшуль А.Д., Животовский, Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 414 с.
4. Ашянц Э.П. Общее аналитическое решение задачи разгона жидкости в трубопроводе // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2007. - Т. LX, N4. - С. 728-731.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егизарова. Материал поступил в редакцию 10.01.2010.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ՄԱՇՈՒՑԻԿ ԴԵՂՈՒԿԻ ՈՉ ՍՏԱՑԻՈՆԱՐ ԼԱՄԻՆԱՐ ԸՄՐԺՈՒՄԸ ԵՐԱՆԱԶԵՎ
ԿՏՐՎԱԾՔԻ ԳԼՆԱԿԱՆ ԽՈՐՈՎԱԿՈՒՄ

Դետազոտվում է ճնշումային խողովակում դանդաղող և արագացող լամինար շարժման ընթացքը: Օգտագործելով Նավյե-Ստոքսի հավասարումը՝ ստացվել են անալիտիկ բանաձևեր, որոնցում կոնվեկտիվ անդամի ազդեցությունը արտացոլվում է բացահայտ տեսքով:

Առանցքային բառեր. հեղուկի թափառք, արագության էջը, մարման գործակիցը:

E.P. ASHCYANTS

NON-STATIONARY LAMINAR FLOW OF VISCOSITY LIQUID
IN ROUND CYLINDRICAL PIPELINE

Slow and accelerated enforced laminar flow of liquid in a round cylindrical pipeline is studied. Using Navye-Stoks equation the analytical dependences in which the influence of covective member is reflected in a real form are obtained.

Keywords: liquid distance, ram action, damping coefficient.

В.Ш. АРУТЮНЯН, П.А. ШИРИНЯН

**МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ МНОГОРЕЖИМНОЕ УСТРОЙСТВО
УПРАВЛЕНИЯ ШЕСТИФАЗНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ**

Представлены схемы подключения, таблицы переключения фаз и управления шестифазным шаговым двигателем при различных (симметричном и несимметричном, однополярном и двухполярном, шеститактном и двенадцатитактном) режимах коммутации фаз. Предложено микроконтроллерное управление всеми этими режимами, а также управление всей системой дискретного электропривода в целом.

Ключевые слова: шаговый двигатель, фаза, микроконтроллер, усилитель мощности.

Использование современных микроконтроллерных устройств открыло большие возможности для создания различных радиоэлектронных, вычислительных и электротехнических устройств управления и регулирования с достаточно малыми габаритами, весом, потребляемой электроэнергией, а также повышенной надёжностью функционирования [1]. К таким устройствам относятся и многорежимные устройства управления многофазными шаговыми двигателями (ШД), которые могут быть успешно реализованы на современных микроконтроллерах различных модификаций.

Известные работы [2,3] по использованию микроконтроллеров для управления ШД посвящены обеспечению одного из возможных режимов коммутации фаз, что свидетельствует об их ограниченных функциональных возможностях. Между тем, как известно, возможность обеспечения различных режимов непосредственной коммутации фаз позволяет, при необходимости, оперативно изменять число одновременно включённых фаз ШД, задавать и изменять те или иные (симметричные и несимметричные, однополярные и двухполярные) режимы коммутации фаз, варьировать в определённых диапазонах величинами единичного шага и результирующего момента на валу ШД, частотой приёмистости и общей потребляемой энергией.

В зависимости от имеющихся технических возможностей (наличие соответствующих источников питания и ключевых усилителей мощности), а также исходя из особенностей соединения между собой фаз выпускаемых ШД, выходную силовую часть предлагаемой системы управления шестифазным ШД можно реализовать двумя равносильными способами.

При первом способе (рис. 1) используются два разнополярных источника питания $+V1$ и $-V2$ с общей заземлённой точкой, а для коммутации каждой из фаз – по два ключевых усилителя мощности, соединённых последовательно между собой и источниками питания. При этом фазы ШД подключаются между средними точками соединения каждой пары усилителей и общей нулевой шиной системы.

При втором способе (рис. 2) используются только один источник питания $+V1$ и шесть мостовых усилителей мощности, в диагоналях которых подключаются соответствующие фазные обмотки ШД.

На рис.3-6 приведены номограммы векторов результирующих моментов в различных режимах коммутации фаз шестифазного ШД.

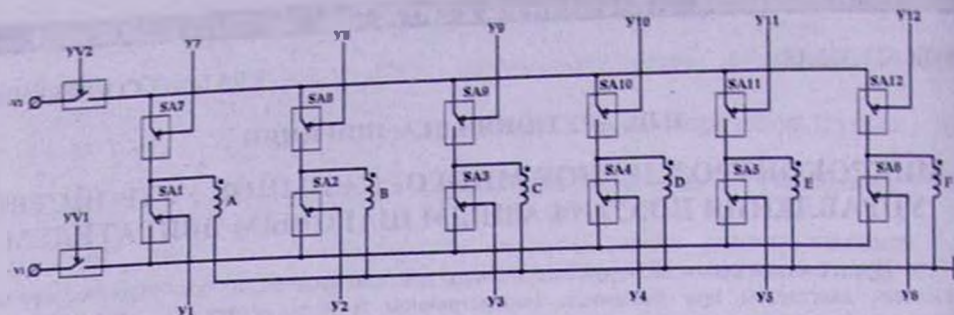


Рис.1. Схема подключения фаз ШД с двумя источниками питания

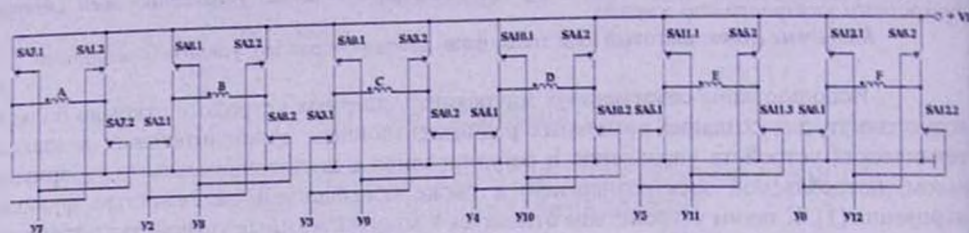


Рис.2. Схема подключения фаз ШД с одним источником питания

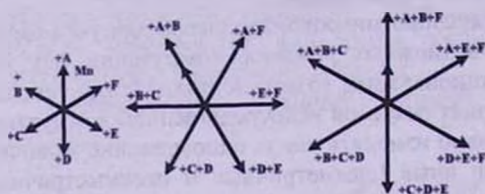


Рис.3. Шеститактные симметричные однополярные режимы

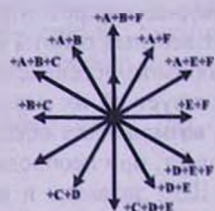


Рис.4. Двенадцатитактный несимметричный однополярный режим

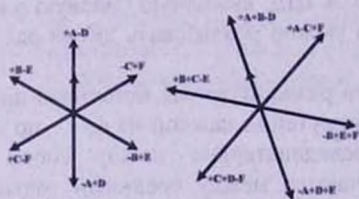


Рис.5. Шеститактные симметричные двухполярные режимы

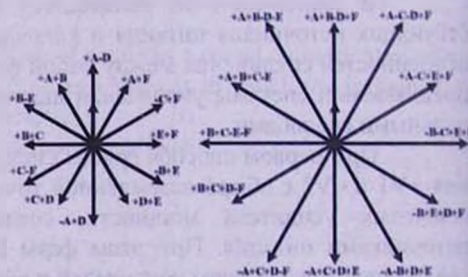


Рис.6. Двенадцатитактные симметричные двухполярные режимы

В табл. 1-4 приведены коды управления многорежимным устройством управления шестифазным ШД при различных наиболее оптимальных шеститактных и двенадцатитактных, симметричных и несимметричных, однополярных и двухполярных режимах коммутации фаз.

Шеститактные симметричные однополярные режимы

Таблица 1

Режим	№ такта	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Порядок переключения фаз
		A	B	C	D	E	F	-A	-B	-C	-D	-E	-F	
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+A +B +C +D +E +F +A+B
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+B+C +C+D +D+E +E+F +A+F
	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	6	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	7	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+A+B+C +B+C+D +C+D+E +D+E+F +A+E+F +A+B+F
	2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
	5	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	6	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	

Двенадцатитактный несимметричный однополярный режим

Таблица 2

Режим	№ такта	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Порядок переключения фаз
		A	B	C	D	E	F	-A	-B	-C	-D	-E	-F	
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+A+B +A+B+C +B+C +B+C+D +C+D +C+D+E +D+E +D+E+F +E+F +A+E+F +A+F +A+B+F
	2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	6	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	8	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	
	9	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	10	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
	11	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
	12	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	

Функциональная схема микроконтроллерного многорежимного управления шестифазным ШД представлена на рис.7. В ней в качестве микроконтроллера может быть использован, например, AT89C41CC03 семейства Intel-MCS51 с программным обеспечением для данного конкретного случая на языке Ассемблер.

Таблица 3

Шеститактные симметричные двуполярные режимы

Режим	№ такта	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Порядок переключения фаз
		A	B	C	D	E	F	-A	-B	-C	-D	-E	-F	
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	+A-D
	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	+B-E
	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	+C-F
	4	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	-A+D
	5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	-B+E
	6	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-C+F
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	+A+B-D
	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	+B+C-E
	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	+C+D-F
	4	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	-A+D+E
	5	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	-B+E+F
	6	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	+A-C+F

Таблица 4

Двенадцатитактные симметричные двуполярные режимы

Режим	№ такта	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Порядок переключения фаз
		A	B	C	D	E	F	-A	-B	-C	-D	-E	-F	
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	+A-D
	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+A+B
	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	+B-E
	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	+B+C
	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	+C-F
	6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	+C+D
	7	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	-A+D
	8	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	+D+E
	9	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	-B+E
	10	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	+E+F
	11	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	-C+F
	12	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	+A+F
2	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	+A+B-D+F
	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	+A+B-D-E
	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	+A+B+C-E
	4	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	+B+C-E-F
	5	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	+B+D+C-F
	6	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	-A+C+D-F
	7	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	-A+C+D+E
	8	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	-A-B+D+E
	9	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	-B+E+D+F
	10	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	-B-C+E+F
	11	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	+A-C+E+F
	12	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	+A-C-D+F

Аппаратурные ресурсы микроконтроллера распределены следующим образом: P3.2 - вход запроса внешнего прерывания (INT0) - установка скорости переключения ШД; P3.3 - вход запроса внешнего прерывания (INT1) - установка режима работы ШД; P1.6 - разрешение включения источника +V1; P1.7 - разрешение включения источника -V2; P0.6 - разрешение ввода параметров ШД; P0.7 - выбор схемы включения ШД; P3.4 - однократный/циклический (0-цикл, 1 - однократный); P3.5 - пуск; P3.6 - реверс (0-прям., 1-обрат.); P2 - порт ввода параметров режима; P0.0...5, P1.0...5 - порты вывода кода управления ШД; R5 - счетчик текущего числа шагов ШД.

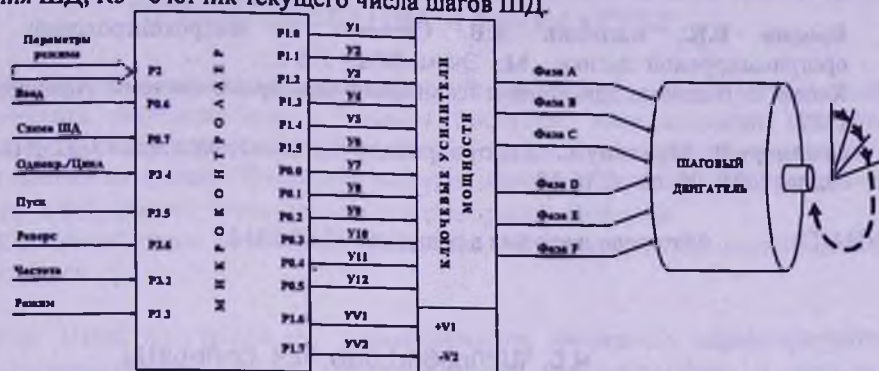


Рис. 7. Функциональная схема микроконтроллерного многорежимного управления шестифазным ШД

Описание алгоритма программы. Алгоритм управляющей программы приведен на рис.8. Управляющие коды тактов и число тактов каждого режима ШД заносятся в программную память (ROM) микроконтроллера в виде таблицы. Каждый код имеет размер слова (2 байта).



Рис.8. Алгоритм программы управления ШД

Таким образом, разработанное микроконтроллерное устройство для много-режимного управления шестифазным шаговым двигателем обеспечивает все возможные оптимальные режимы коммутации фаз, а также позволяет формировать все общесистемные команды управления дискретным электроприводом в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродин В.Б., Калинин А.В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. - М.: Эком, 2002.- 398 с.
2. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. - М., 1987.- 200 с.
3. Секриеру В., Мунтяну Е. Электропривод с шаговым двигателем ДШ5Д1МУЗ. - М.: Радио, 2005.- № 12.- С.16-18.

ГУИА(П). Материал поступил в редакцию 10.05.2010.

Վ.Շ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Պ.Հ. ՇԻՐԻՆՅԱՆ

ՎԵՑՓԱԹՈՒՅԹ ԲԱՅԼԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ՄԻԿՐՈԿՈՆՏՐՈԼԵՐԱՅԻՆ
ԲԱԶՄԱՈՒԺԻՄԱՅԻՆ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ ՍԱՐՔ

Ներկայացված են վեցփաթույթ քայլային շարժիչի փաթույթների միացման սխեմաները, դրանց փոխանջատման և ղեկավարման աղյուսակները զանազան սիմետրիկ և ոչ սիմետրիկ, միաբևեռ և երկբևեռ, վեցտակտային և տասներկու-տակտային փոխանջատման ռեժիմներում: Առաջարկված է միկրոկոնտրոլերային ղեկավարում՝ փաթույթների փոխանջատման այդ բոլոր ռեժիմների, ինչպես նաև ամբողջ համակարգի համար:

Առանցքային բառեր. քայլային շարժիչ, փաթույթ, միկրոկոնտրոլեր, հզորության ուժեղարար:

V.Sh. HARUTYUNYAN, P.H. SHIRINYAN

MULTIPLEMODE CONTROL OF SIX-PHASE STEPPER MOTOR BY MICROCONTROLLER

Connection diagrams the table of switching and guidance of six-phase phases stepper motor drive are presented at various modes of symmetrical and with unsymmetrical, unipolar and two-polar, six and twelve steps modes of phases switching. Microcontroller guidance of all these modes, and also guidance of all system of the discrete electric drive as a whole is proposed.

Keywords: stepmotor, phase, microcontroller, simulator, power amplifier.

Н.В. ГЕВОРКЯН

АВТОНОМНАЯ БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА С ИМПУЛЬСНЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ БИОМАССЫ

Приводится принцип построения биореактора с импульсным управлением для пневматического перемешивания раствора биомассы. Использование аналого-импульсного преобразователя позволяет задавать время перемешивания и остановки в широком диапазоне времен. Интенсифицируется процесс сбраживания и практически устраняется в биореакторе температурная неоднородность биомассы.

Ключевые слова: биогазовая установка, биореактор, аналого-дискретный, преобразователь.

Как известно, процессы перемешивания биомассы характеризуются двумя основными факторами: эффективностью перемешивания и расходом энергии. По мере приведения жидкости в движение работа все больше затрачивается на преодоление внутренних сопротивлений в жидкости (трения, вихревые движения, удары жидкости о стенки и т. д.) [1].

Недостатки механических мешалок: малая интенсивность перемешивания густых и вязких жидкостей и значительный расход энергии. В отличие от механического способа пневматическое перемешивание не требует сложных приспособлений, что особенно важно для малогабаритных биогазовых установок [2].

В разработанной автономной биогазовой установке (рис.1) при помощи трубопровода 2 (обратного контура), в котором установлен насос 4, вырабатываемый в биореакторе биогаз 11 подается через клапан 6 в барботер 8, далее биомасса 10 перемешивается по всему объему.

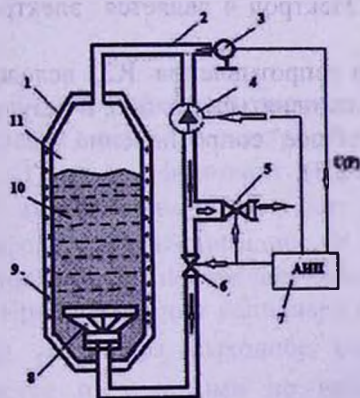


Рис.1. Биореактор с импульсным управлением для пневматического перемешивания раствора биомассы: 1-корпус биореактора, 2 – трубопровод обратного контура, 3- датчик давления, 4 - насос, 5 - клапан для подачи биогаза в газгольдер, 6- клапан обратной связи ферментатора, 7- аналого-импульсный преобразователь (АИП), 8 - барботер, 9 - нагреватель, 10 - раствор биомассы, 11 - биогаз

Для формирования и подачи последовательностей импульсов использован АИП (рис.2) на основе аналого-дискретного преобразователя (АДП) [3].

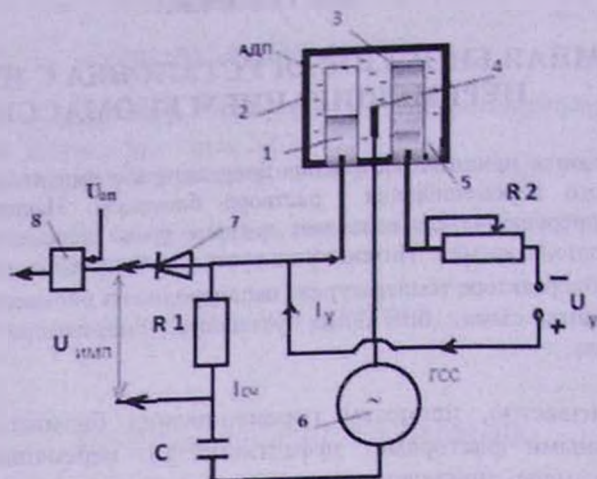


Рис. 2. Аналого-импульсный преобразователь: 1, 5 - капилляры с ртутными электродами управления, 2 - корпус АДП, 3 - раствор электролита, 4 - электрод считывания, R1 - сопротивление в цепи считывания, R2 - сопротивление для установки сигнала управления, 6 - генератор синусоидальных сигналов, 7- диод, 8 - дифференциальное реле

АИП состоит из схемы управления и считывания. Схема управления состоит из ртутных электродов 1 и 5. Электрод 1 находится в капилляре и заполнен частично электролитом и ртутью, а электрод 5 представляет собой капилляр, полностью заполненный ртутью. Электрод 4 является электродом считывания.

Ток управления I_y задается при помощи сопротивления R2, вследствие массопереноса капилляр электрода 1 начинает заполняться ртутью, в результате длина столба электролита в капилляре и общее сопротивление в цепи считывания линейному закону уменьшаются (рис.3).

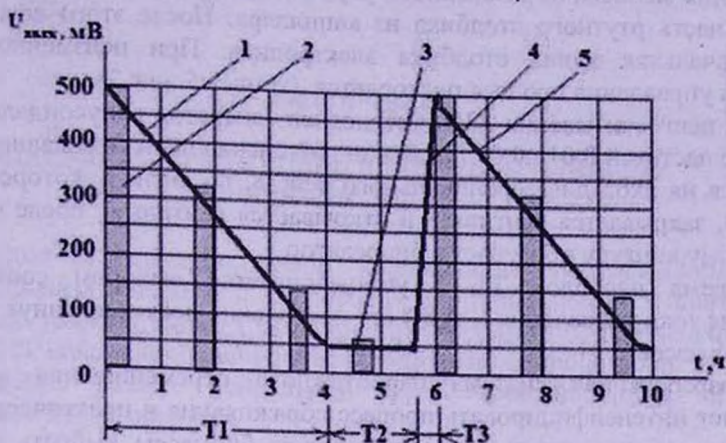


Рис. 3. Аналоговый сигнал АДП (1) и последовательность амплитуд импульсов (2-3) на выходе АИП: 1, 5 - аналоговые сигналы, 2 - амплитуда импульса, 3 - минимальная амплитуда импульса, 4 - кривая дискретизации сигнала, T1 - время линейного изменения выходного сигнала, T2 - время постоянного значения выходного сигнала (процесс образования ртутного мениска), T3 - время дискретизации выходного сигнала

Выходной сигнал АДП в период времени T1 изменяется в соответствии с выражением [4]

$$R(t) = \frac{1}{\chi_{эл} \cdot S_k^2} \cdot \left[K_{эл} \cdot \int_0^t I dt + 0.76 \cdot K_{рас} \cdot S_k \cdot \sqrt{S_k} \right], \quad (1)$$

$$K_{эл} = \frac{\eta \cdot A_{Hg}}{z \cdot F \cdot \gamma_{Hg}}, \quad (2)$$

где $K_{рас}$ - коэффициент растекания, зависящий от конфигурации перехода от капилляра с ртутным электродом к общему объему, заполненному электролитом ($K_{рас} \leq 1$); η - коэффициент выхода по току электрохимической реакции; A_{Hg} и γ_{Hg} - атомный вес и плотность ртути; z - валентность ионов, участвующих в электрохимической реакции; F - число Фарадея; $\chi_{эл}$ - электропроводность электролита; S_k - поперечное сечение капилляра; I - ток управления.

При заполнении капилляра ртутью и дальнейшем образовании мениска на торце капилляра выходное сопротивление $R(t)$ и, соответственно, $U_{вых}$ остаются постоянными по величине (период T2) до тех пор, пока силы

натяжения мениска образованного ртутного шара не извлекут его, а вместе с ним и часть ртутного столбика из капилляра. После этого восстанавливается первоначальная длина столбика электролита. При неизменной полярности сигнала управления процесс повторяется (кривая 5, рис.3).

В цепи считывания АИП установлен генератор синусоидальных сигналов (ГСС) с частотой 0.01...0.03 Гц. Выходной сигнал цепи считывания через диод 7 подается на вход дифференциального реле 8, по сигналу которого включается насос 4, закрывается клапан 5 и открывается клапан 6, после чего биогаз по обратному контуру поступает в биореактор.

Время периодов Т1-Т3 устанавливается выбором соответствующего значения тока управления I_у АДП (от нескольких десятков минут до нескольких десятков часов).

Разработанная система барботажного перемешивания в биореакторе позволяет интенсифицировать процесс сбраживания и практически устранить в биореакторе температурную неоднородность биомассы, выбрать длительность и частоту перемешивания в течение суток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веденеев А.Г., Маслов А.Н. Строительство биогазовых установок: Краткое руководство.-М.:Евро, 2006.-28 с.
2. Kazarian E., Gevorgyan N. System for hashig of the Biomass in Bioreactor of Biogas installation // Lraber-76 SEUA. V.1- Yerevan, 2009. - P.271-275.
3. Kazarian Ernest W., Ali Nader W., Khachatryan Rafael G. Measuring Information Complex of Data Gathering of Solar Collectors for the System of Automatic Design // Heinz Schulz Biogas-praxis. - Estec 2005 Freiburg. - P. 286-290.
4. Ղազարյան Է.Վ., Մարգարյան Ս.Հ. Այլընտրանքային էներգիայի աղբյուրներ: Ուսումնական ձեռնարկ.-Եր.:Հարտաշրագետ, 2008.-105 էջ:

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 11.06.2010.

Ն.Վ. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ԿԵՆՍԱԳԱԶԻ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԽԱՌՆՈՒՄՈՎ ԱՎՏՈՆՈՄ ԿԵՆՍԱԳԱԶԻ ՍԱՐԶ

Դիտարկված է կենսազազի սարք՝ կենսառեակտորում կենսազանգվածի ղխառնման համակարգ պնեմատիկ եղանակով, որն իրագործվում է բարբոտերի ձօգնությամբ, ինչի շնորհիվ աճում է կենսազանգվածի խմորման ինտենսիվացումը, իև բարելավվում են կենսազազի սարքի տեխնոլոգիական ցուցանիշները:

Առանցքային բառեր. կենսազազի սարք, կենսառեակտոր, դիսկրետ-ստորամաբանական փոխակերպիչ:

N.V. GEVORGYAN

AUTONOMOUS BIOGAS PLANT WITH A PULSE MIXING BIOMASS

The principle of the bioreactor with impulse control for pneumatic stirring the solution of the biomass is given. Using the analog-to-pulse converter allows you to set the mixing time and stop in a wide range of time. The process of fermentation is intensified and the temperature homogeneity of the biomass is practically eliminated in the bioreactor.

Keywords: biogas installation, bioreactor, analog-discrete converter.

ՎՐՈՒՅՐ ՍԱՐԳՍՅԱՆԸ 75 ՏԱՐԵԿԱՆ Ե



Լրացավ տեխնիկական գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարանի «Հիդրոշինարարություն, ջրային համակարգեր և հիդրոէլեկտրակայաններ» ամբիոնի վարիչ Վրույր Սարգսյանի ծննդյան 75-ամյակը, մանկավարժական գործունեության 50 տարին: Վ.Սարգսյանը ծնվել է 1935թ. դեկտեմբերի 27-ին: 1954 թվին ավարտելով Երևանի թիվ 45 դպրոցը՝ ընդունվել է Հայկական գյուղատնտեսական ինստիտուտի հիդրոմելիորացիայի ֆակուլտետը, որն ավարտել է 1959 թ. և ստացել հիդրոտեխնիկ-ճարտարագետի որակավորում: 1959-62թթ. աշխատել է Հիդրոտեխնիկայի և մելիորացիայի հայկական գիտահետազոտական ինստիտուտում:

1962-65թթ. Վ. Սարգսյանը սովորել է Մոսկվայի ջրամատակարարման, կոյուղու, ինժ. հիդրոերկրաբանության և հիդրոտեխնիկայի համամիութենական գիտահետազոտական ինստիտուտի ասպիրանտուրայում, որն ավարտելուց հետո աշխատել է Մոսկվայի միութենական ջրային տնտեսության «Հիդրոնախագիծ» գիտահետազոտական նախագծային ինստիտուտում, որպես խմբի ղեկավար և գլխավոր մասնագետ: Այստեղ նա մասնակցել է մի շարք կարևոր օբյեկտների նախագծմանը, նորմատիվային փաստաթղթերի մշակմանը, կազմակերպել հետազոտական-փորձարարական արդյունքների մշակումը հաշվիչ մեքենաների օգնությամբ և այլն:

1969-82թթ. Վ.Սարգսյանն աշխատել է Մոսկվայի «ВНИИВОДТЕО» ինստիտուտի հատուկ հիդրոտեխնիկական կառուցվածքների լաբորատորիայում, որտեղ զբաղվել է ժող. տնտեսության համար շատ կարևոր՝ արդյունաբերության ռադիոակտիվ թունավոր թափոնների թաղման և վնասագերծման հիմնահարցի լուծմամբ: Վ.Սարգսյանը մշակել է Երկրի կեղևի խորը շերտերում այդ նպատակով պահեստարանների ստեղծման և դրանց հիդրոդինամիկական հաշվարկման մեթոդներ: Այդ և այլ ուսումնասիրությունների արդյունքների հիման վրա նա գրել է իր դոկտորական ատենախոսությունը:

Վ.Սարգսյանի կողմից առաջարկվել են դիֆ.հավասարումների համակարգեր, որոնցով բնութագրվում են միմյանցից խտությամբ և մածուցիկությամբ տարբերվող հեղուկների՝ ծակոտկեն միջավայրում շարժման օրինաչափությունները: Այդ հավասարումների լուծման արդյունքները ակադեմիկոսներ Սեդովի, Տիխոնովի, Կոչինայի ներկայացմամբ տպագրվել են ԽՍՀՄ Գիտությունների ակադեմիայի «Զեկուլցներում»:

Հաշվի առնելով ռադիոակտիվ թափոնների տրոհումից ջերմաստիճանի բարձրացման վտանգը՝ 1976-77թթ. Վ.Սարգսյանի մասնակցությամբ մշակվել է նաև դրանց ջերմային ռեժիմի կանխագուշակումը:

Գիտության և տեխնիկայի պետական կոմիտեի հանձնարարությամբ Վ.Սարգսյանը 1977-82թթ. մասնակցել է Եվրոպական և Սիբիրի ջրային ռեսուրսների վերբաշխման հետ կապված հարցերի լուծմանը:

1982թ. Երևանի Պոլիտեխնիկական ինստիտուտի հրավերով Վ.Սարգսյանը տեղափոխվել է Երևան և անցել գիտամանկավարժական աշխատանքի: Նրա ակտիվ մասնակցությամբ ինստիտուտում կազմակերպվեց «Գրունտների մեխանիկա, հիմքեր և հիմնատակեր» ամբիոնը, որի հետ 2006թ. Է.Թոքմաջյանի առաջարկությամբ միավորվեցին «Հիդրոտեխնիկական շինարարություն» և «Ջրամատակարարում և ջրահեռացում» ամբիոնները: Ամբիոնում Վ.Սարգսյանի ղեկավարությամբ տարվում են բազմաբնույթ գիտական և ուսումնամեթոդական աշխատանքներ:

1985-87թթ. Հայաստանի ջրային տնտեսության նախարարության առաջարկությամբ Մասիսի շրջանում կատարվել են Երկրի մակերևույթի նստվածքների որոշման փորձարարական և տեսական ուսումնասիրություններ՝ պայմանավորված ստորգետնյա ջրերի հորիզոնի իջեցման հետ:

1989թ. նախարարների խորհրդի որոշմամբ Վ.Սարգսյանի ղեկավարությամբ մեթոդական մեծ օգնություն է ցույց տրվել մասնագետներին՝ տեղանքի հետազոտական աշխատանքների բարձր մակարդակով կատարելու և ջրածածկումից հիմքերը պաշտպանելու համար: 1990թ. Պետշինի «Ինժեներագիտ» ինստիտուտի առաջարկությամբ Լենինական (Գյումրի) քաղաքի տարածքում ստորգետնյա ջրերի հորիզոնի իջեցման ուղղությամբ կատարվել են հետազոտություններ, որոնք հնարավորություն են տալիս մեծացնել կառուցվածքների սեյսմակայունությունը: Աղետի գոտում ակտիվ և պարբերաբար աշխատանք կատարելու համար Վ.Սարգսյանը 1989թ. արժանացել է ԽՍՀՄ Պետշինի պատվոգրի:

Պրոֆ. Վ.Սարգսյանը գիտության հմուտ կազմակերպիչ է: Նրա ղեկավարությամբ բազմաթիվ ասպիրանտներ և հայցորդներ պատրաստել են իրենց թեկնածուական, իսկ երկու գիտության թեկնածու՝ դոկտորական ատենախոսությունները: Վ.Սարգսյանի հոդվածները պարբերաբար տպագրվում են ԳԱ «Ջեկույցներում» և «Տեղեկագրերում»:

Պրոֆ. Վ.Սարգսյանը ճանաչված մասնագետ է ջրային ռեսուրսների, երկրամեխանիկայի և երկրահիդրոմեխանիկայի ասպարեզներում, նրա գրչին են պատկանում 250-ից ավելի գիտական աշխատանքներ, հոդվածներ ու մենագրություններ, տպագրված Մոսկվայի և Հանրապետության հրատարակչություններում: Դրանց մի մասը թարգմանված է արտերկրում:

1971թ. Վ.Սարգսյանի մենագրությունը արժանացել է Ժողովրդական տնտեսության նվաճումների համամիութենական ցուցահանդեսի արծաթե մեդալի:

Պրոֆ. Վ.Սարգսյանը զեկուցումներով հանդես է եկել Համամիութենական և միջազգային համագումարներում, գազաթափողվներում և գիտաժողովներում ջրային ռեսուրսների, տեսական և կիրառական երկրահիդրոմեխանիկայի զանազան հարցերի վերաբերյալ:

Տեխնիկական գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր Վ.Ս.Սարգսյանը խոշոր ներդրում ունի տեսական և կիրառական երկրահիդրոմեխանիկայի և երկրամեխանիկայի ասպարեզներում: Նա գիտության այդ ասպարեզը հարստացրել է առաջնակարգ գիտական նշանակություն ունեցող արդյունքներով պատրաստել է բազմաթիվ գիտական կադրեր: Վ.Սարգսյանը երեք միջազգային կազմակերպությունների և 73 տեսական և կիրառական մեխանիկայի ազգային կոմիտեի, մի շարք նախարարությունների և ինստիտուտների խորհուրդների, ինչպես նաև 030 և 055 գիտական մասնագիտացված խորհուրդների, ԳԱ-ի «Տեղեկագրի» (տեխնիկական գիտություններ) խմբագրական կոլեգիայի անդամն է:

Տեղեկագրի խմբագրական կոլեգիան շնորհավորում է գործընկերոջ 75-ամյակը և ցանկանում հետագա բեղմնավոր աշխատանք.

ԲՈՎԱՆՂԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄՐԲԱՆՅԱՆ Ս.Գ., ԿԱՐՄՊԵՏՅԱՆ Գ.Խ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ս.Ս., ՄՐԲԱՆՅԱՆ Ս.Ս. ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ԽՏԱՑՈՒՄԸ	359
ՍՄՐԳՅԱՆ Լ.Ե., ՆԱԿԱՍԱՐԴՅԱՆ Վ.Ս., ԴՈՎԴՆՆՆԻՍՅԱՆ Ս.Ս., ՇԱԴՆԱԶԱՐՅԱՆ Վ.Ա. ՊՂՆԶԻ ԵՎ ԵՐԿԱԹԻ ՀԱՄԱՏԵՂ ԿՈՐԶՈՒՄԸ Mo/Fe/Cu/S ԽՏԱՆՅՈՒԹՅՈՒՆ ԶԻՂՐՈՔԼՈՐԱՅԻՆ ՏԱՐՐԱԼՈՒԾՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՈՎ	366
ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ Զ.Ա., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Բ.Վ., ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ Կ.Տ., ԻՄՐԱՅԵԼՅԱՆ Ռ.Վ. ՄԱԳՆԵՋԻՈՒՄԻ ՀԻՂՐՈՍԻԼԻԿԱՏԱՅԻՆ ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԶՐԱԿԱՅՈՒՆ ԿԱՊԱԿՑԱՆՅՈՒԹԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ	372
ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ռ.Զ., ՇԱՍԱՅԱՆ Ե.Ո. ԶԷԿ-ԵՐՈՒՄ ԼԱՎԱՐԿԱՅԻՆ ՎԱԿՈՒՈՒՄԻ ՈՐՈՇՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ՄՇԱԿՈՒՄ ՀԱՇՎԻ ԱՌԵԼՈՎ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐԻ ՆԵՐՔԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻՆ ՆՏՀԱԾՔԱԳՈՅԱՑՄԱՆ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ	379
ԵՂԱՆԱԶԱՐՅԱՆ Լ.Վ., ՄԱՆԱՐՅԱՆ Վ.Ս., ԿԱՐՍԽԱՆՅԱՆ Լ.Դ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Ս.Ս. ՀՈՐԻՋՈՆԱԿԱՆ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆ ՄԵՋ ԴԱՍԱԿՈՐԿԱԾ ՀԱՂՈՐԴԱԼԱՐԵՐՈՎ ԵՈԱՖԱՋ ԳԾԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԴԱՇՏԻ ՀԵՏԱՋՈՏՈՒՄԸ	386
ԲՈՒՆԱՅՅԱՆ Հ.Ս., ԷԼԲԱԿՅԱՆ Ս.Ֆ. ԶԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԱՅԱՎԱՐԳՈՒՄ ԱՇԽԱՏՈՂ ԶԷԿԻ ՆԵՐԿԱՅԱՆԱՅԻՆ ՈՒԺԻՄՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼԱՑՈՒՄԸ	394
ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ս.Ա., ՄԱՅԻԼՅԱՆ Ա.Լ. ԿՈՄՊԿԱՏ ՖԼՅՈՒՈՐԵՍՑԵՆՏԱՅԻՆ ԼԱՄՊԵՐԻ ԼՈՒՍԱՏՎՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾԱՑՄԱՆ ՈՒՂԻՆԵՐԸ	403
ՄԱՄԻԿՈՆՅԱՆ Բ.Ս., ԿԱՐՄՊԵՏՅԱՆ Ս.Ս., ՄՈՒՐԱՐՅԱՆ Վ.Գ. ՄԵՅՄԱԻԿ ԱՐԱԳԱՑՈՒՄՆԵՐԻ ՊԻԵՋՈՒԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՏՎԻԶ	410
ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Ռ.Ս., ԴՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ., ԱՐԱՐՅԱՅԱՆ Ս.Ա., ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ռ.Դ., ՓԻՐՈՒՄՅԱՆ Հ.Ա., ՍԵՎՈՅԱՆ Օ.Ժ., ՄԱՆՈՅԱՆ Ս.Ա. ՀՍԿԱՆ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑԱԿԱԾ ՀԱՄԱԼԻՐ «ԱՐՑԱԽ-Ս1»	419
ԱՇՉԻՅԱՆ Է.Պ. ՄԱԾՈՒՑԻԿ ՀԵՂՈՒԿԻ ՈՉ ՍՏԱՑԻՈՆԱՐ ԼԱՄԻՆԱՐ ՇԱՐԺՈՒՄԸ ՇՐՋԱՆԱԶԵՎ ԿՏՐԱԿԱԾՔԻ ԳԼԱՆԱԿԱՆ ԽՈՂՈՎԱԿՈՒՄ	429
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Վ.Շ., ՇԻՐԻՆՅԱՆ Պ.Հ. ՎԵՑՓԱՐԹՈՒՅԹ ՔԱՅԼԱՅԻՆ ՇԱՐԺԻԶԻ ՄԻԿՐՈԿՈՆՏՐՈԼԵՐԱՅԻՆ ԲԱԶՄԱՈՒԺԻՄԱՅԻՆ ՂԵԿԱՎԱՐՄԱՆ ՍԱՐՔ	435
ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ն.Վ. ԿԵՆՍԱԳԱՋԻ ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԽԱՌՆՈՒՄՈՎ ԱՎՏՈՆՈՄ ԿԵՆՍԱԳԱՋԻ ՍԱՐՔ ...	441
ՍՄՐԳՅԱՆ Վ.Ս. ԾՆՆԴՅԱՆ 75-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՐ	446

СОДЕРЖАНИЕ

АГБАЛЯН С.Г., КАРАПЕТАН Г.Х., ПЕТРОСЯН А.А., АГБАЛЯН А.С. КОМПАКТИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	359
САРГСЯН Л.Е., НАВАСАРДЯН В.С., ОГАНЕСЯН А.М., ШАХНАЗАРЯН В.А. СОВМЕСТНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕДИ И ЖЕЛЕЗА ИЗ Mo/Fe/Cu/S КОНЦЕНТРАТА МЕТОДОМ ГИДРОХЛОРНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ	366
ГЕОДАКЯН Д.А., ПЕТРОСЯН Б.В., ГЕОДАКЯН К.Т., ИСРАЕЛЯН Р.В. ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОСТОЙКОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ГИДРОСИЛИКАТНЫХ ПОРОД МАГНИЯ	372
МАРУХЯН В.З., ШАМАМЯН Е.Р. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАКУУМА НА ТЭС С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ НАКИПЕОБРАЗОВАНИЯ НА ВНУТРЕННИХ ПОВЕРХНОСТЯХ КОНДЕНСАТОРА	379
МЕГИАЗАРЯН Л.В., САФАРЯН В.С., КАРАХАНИЯН Л.О., АРУТЮНЯН А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНИИ С РАСПОЛОЖЕННЫМИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ ПРОВОДАМИ	386
БУРНАЧАЯН Г.А., ЭЛБАКЯН М.Ф. ОПТИМИЗАЦИЯ ВНУТРИСТАНЦИОННЫХ РЕЖИМОВ ТЭЦ, РАБОТАЮЩЕЙ В ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ	394
ГЕВОРКЯН С.А., МАИЛЯН А.Л. ПУТИ УВЕЛИЧЕНИЯ СВЕТООТДАЧИ КОМПАКТНЫХ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП	403
МАМИКОНЯН Б.М., КАРАПЕТАН С.С., МУРАДЯН В.Г. ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК СЕЙСМИЧЕСКИХ УСКОРЕНИЙ	410
МАРТИРОСЯН Р. М., ГУЛЯН А. Г., АБРАМЯН А. А., СИМОНЯН Р. Г., ПИРУМЯН Г. А., СЕВОЯН О. Ж., САНОЯН А. А. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ОХРАННЫЙ КОМПЛЕКС АРЦАХ-М1	419
АЩИЯНЦ Э.П. НЕСТАЦИОНАРНОЕ ЛАМИНАРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ В КРУГЛОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ	429
АРУТЮНЯН В.Ш., ШИРИНЯН П.А. МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ МНОГОРЕЖИМНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ШЕСТИФАЗНЫМ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	435
ГЕВОРКЯН Н.В. АВТОНОМНАЯ БИОГАЗОВАЯ УСТАНОВКА С ИМПУЛЬСНЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ БИОМАССЫ	441
САРКИСЯН В.С. К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ	446

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., KARAPETYAN G.X., PETROSYAN A.A., AGHBALYAN A.S. COMPACTION WEARPROOF ANTIFRACTIONAL POWDER MATERIALS	359
SARGSYAN L.YE., NAHASARDYAN V.S., HOVHANNISYAN A.M., SHAHN-AZARYAN V.A. THE JOINT RECOVERY OF COPPER AND IRON FROM Mo-Fe-Cu-S CONCENTRATE BY THE METHOD OF HYDROCHLORIDE LEACHING	366
GEODAKYAN J.A., PETROSYAN B.V., GEODAKYAN K.T., ISRAELYAN R.V. WATER-RESISTANT CLUSTER OBTAINING BASED ON HYDROSILICATE ROCKS OF MAGNESITE	372
MARUKHYAN V.Z., SHAMAMYAN YE.R. A METHOD FOR DEFINING THE OPTIMAL VACUUM DEVELOPMENT IN TPP DUE TO SCALE FORMATION DYNAMICS ON INNER SURFACES OF CONDENSER	379
YEGHIAZARYAN L.V., SAFARYAN V.S., KARAKHANYAN L.H., HARUTYUNYAN A.S. RESEARCH OF ELECTRIC FIELD OF A THREE-PHASE LINE WITH THE WIRES LOCATED IN A HORIZONTAL PLANE	386
BURNACHYAN H.A., ELBAKYAN M.F. OPTIMIZATION OF INTERNAL MODES OF TPP OPERATING IN THERMAL POWER SYSTEM	394
GEVORGYAN S.A., MAYILYAN A.L. WAYS OF INCREASING THE FLUORESCENT LAMP LUMINOUS EMITTANCE	403
MAMIKONYAN B.M., KARAPETYAN S.S., MURADYAN V.G. THE PIEZOELECTRIC SENSOR FOR SEISMIC ACCELERATIONS	410
MARTIROSYAN R.M., GHULYAN A.G., ABRAHAMYAN A.A., SIMONYAN R.H., PIRUMYAN H.A., SEVOYAN O.ZH., SANOYAN A.A. AUTOMATED GUARD COMPLEX "ARTSAKH-MI"	419
ASHCHYANTS E.P. NON-STATIONARY LAMINAR FLOW OF VISCOSITY LIQUID IN ROUND CYLINDRICAL PIPELINE	429
HARUTYUNYAN V.Sh., SHIRINYAN P.H. MULTIPLEMODE CONTROL OF SIX-PHASE STEPPER MOTOR BY MICROCONTROLLER	435
GEVORGYAN N.V. AUTONOMOUS BIOGAS PLANT WITH A PULSE MIXING BIOMASS	441
VRUYR SARGSYAN ON THE 75-TH ANNIVERSARY OF BIRTH	446