

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵԴԵԿԱԳԻՐ

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 ԿՈՂԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ (գլխ. խմբ. տեղակալ), Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱԴԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Վ. ԱՌՈՅԱՆ, Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Վ.Ս. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.А. ТЕРЗЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНИЯН (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. TERZIAN (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

© Издательство ГИУА

Известия НАН и ГИУ Армении (сер. техн. наук), 2010

С.Г. АГБАЛЯН, Г.Х. КАРАПЕТАН, А.А. ПЕТРОСЯН, А.А. ЗАКАРЯН

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Установлена зависимость несущей способности, износостойкости и коэффициента трения от продолжительности эксплуатации и пористости износостойких порошковых материалов антифрикционного назначения. Разработана технология их получения.

Ключевые слова: порошок, прессование, спекание, экструзия, отжиг, закалка, старение, износостойкость, антифрикционный материал.

Основным направлением экономического и социального развития страны на предстоящий период является дальнейшее расширение и обновление номенклатуры и ассортимента износостойких материалов. Весьма перспективны порошковые материалы и изделия из них, технологический процесс изготовления которых прост и экономичен.

Антифрикционные материалы с низким коэффициентом трения – наиболее распространенный вид продукции порошковой металлургии. Важным свойством, обуславливающим широкое применение этих материалов в технике, является их способность работать продолжительное время без дополнительной подачи смазки, т.е. в режиме так называемой “самосмазываемости”. Однако попытки применения пористых материалов в узлах трения при чрезмерно легких (нагрузки и скорости соответственно менее 0,1 МПа и 0,1 м/с) и тяжелых (соответственно более 10 МПа и 4...10 м/с) режимах работы не увенчались успехом.

Основной причиной выхода из строя пористых деталей машин является схватывание, возникающее при достижении внешней нагрузки или скорости скольжения критических величин. Это объясняется тем, что пленка смазочного материала либо разрушается, либо выгорает. Кроме того, наблюдается фильтрация смазки через поры, что существенно снижает гидродинамическое давление в зоне трения и, тем самым, несущую способность материала. В местах контакта возникают также температурные зоны, которые вызывают локальное разупрочнение и разрушение. К этому следует добавить, что структурная пористость резко снижает теплопроводность, а сами поры, являясь концентраторами напряжений, вызывают ускоренный износ.

Согласно молекулярно-механической теории трения, внешнее трение осуществляется с минимальной работой в том случае, когда прочность адгезионной связи между контактируемыми поверхностями меньше прочности нижележащих

поверхностных слоев, т.е. когда имеет место положительный градиент механических свойств по глубине. В этом случае вся деформация при трении будет сосредотачиваться в тонком поверхностном слое, предотвращая его от катастрофического разрушения и глубинного вырывания.

В связи с этим в подшипниках скольжения широкое применение находят твердые смазки (сульфиды, селениды, фториды, фосфиды и т.д.), которые образуют на поверхности трения защитные пленки (вторичные структуры) и сохраняют работоспособность узлов трения в возможно большем диапазоне скоростей и нагрузок, в том числе и экстремальных.

Исходя из вышеизложенного, целью настоящей работы является разработка технологии получения износостойких антифрикционных порошковых материалов (ИАПМ) с повышенным уровнем свойств.

Структура ИАПМ определяется условиями их работы. Под условиями работы подразумеваются величина и характер нагрузок (P), скорость скольжения (V), наличие и количество смазки, рабочая среда, срок службы и режим работы, допустимый износ (I) и коэффициент трения (f), состав и свойства материала сопряженной пары и конструктивные особенности узла трения.

При классификации условий работы узлов трения прежде всего нужно исходить из видов трения. В соответствии с ГОСТ 16429-70 по наличию смазки различают три вида трения: жидкостное, граничное и без смазки (сухое).

В работах [1, 2] осуществлена классификация несущей способности порошковых материалов, в основу которой положена оценка ее по критерию PV . Однако в реальных условиях имеет место "несоответствие" между значениями PV и данными эксперимента. Это дает основание сделать заключение, что ИАПМ в процессе эксплуатации должны обладать стабильностью триботехнических и физико-механических свойств.

В этом направлении исследования проводились на промышленных материалах (железографит и бронзографит). Как видно из рис. 1, антифрикционные и физико-механические свойства этих материалов изменяются в процессе испытания.

Интенсивность этих изменений обуславливается как внешними факторами, так и продолжительностью эксплуатации, в результате которых происходят структурные изменения, заключающиеся в образовании мелкозернистой структуры в процессе трения. С уменьшением зернистости снижается теплопроводимость материала [3], а следовательно, возрастает температура в зоне трения, что приводит, в свою очередь, к снижению твердости материала.

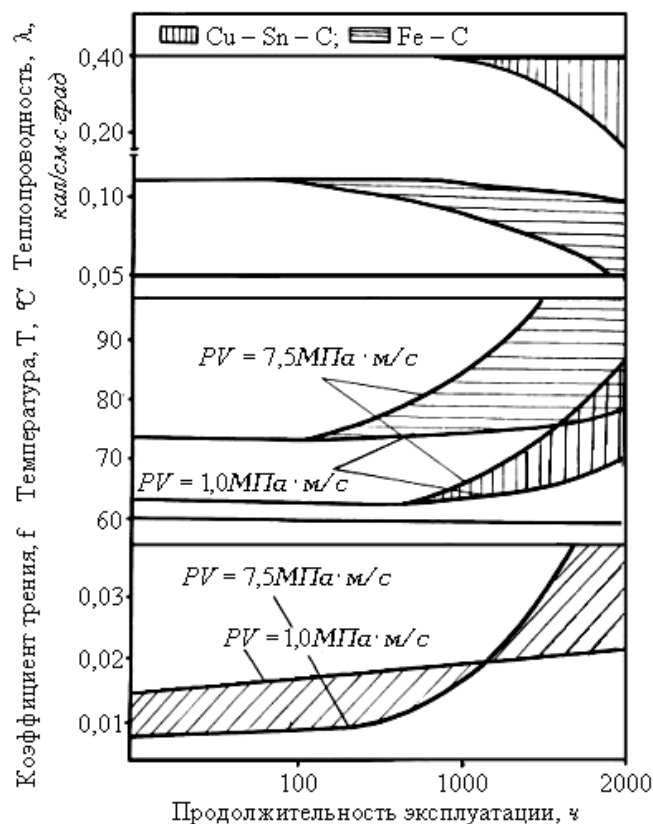


Рис. 1. Изменение физико-механических и триботехнических свойств материалов в зависимости от продолжительности эксплуатации и внешних факторов (пористость $\approx 15\%$, трение граничное)

Как и следовало ожидать, с повышением температуры работоспособность поверхностной пленки уменьшается, что приводит к ускорению диффузионных процессов в местах контакта. Подтверждением этому служат результаты микрорентгеноспектрального и химического анализов (рис. 2).

Фактор плотности, согласно нашим исследованиям, проявляется разрушением металлической связи между частицами, для определения которого использовался метод Салтыкова [4]. Результаты приведены на рис. 3, из которых видно, что если до 5% пористости количество и качество контактов остаются практически постоянными, то при пористости выше 25% эти значения существенно изменяются.

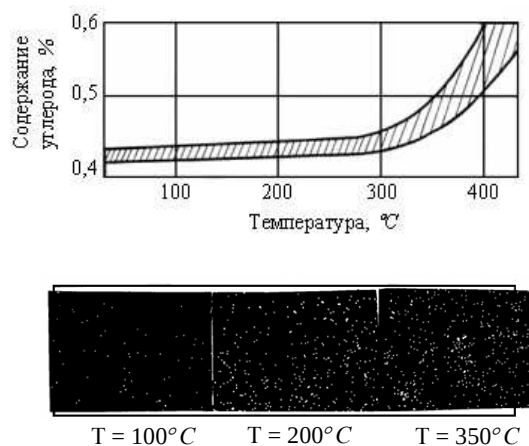


Рис. 2. Интенсивность диффузионных процессов при трении в зависимости от температуры трения (материал ЖГр2, $Q=1$ МПа, $V=1$ м/с, трение сухое)

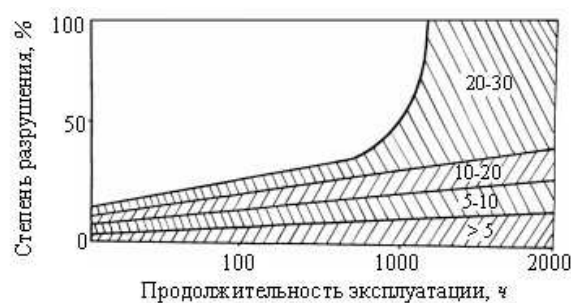


Рис. 3. Степень разрушения межчастичных контактов в структуре ИАПМ в зависимости от продолжительности эксплуатации при различных плотностях (материал ЖГр2, $Q=1$ МПа, $V=1$ м/с, трение сухое)

Приняв за основу классификацию несущей способности ИАПМ [1, 2] и используя результаты исследований, можно путем регулирования плотности ИАПМ классифицировать их для различных условий работы (см. табл.). Нами разработана общая технологическая схема, которая дает возможность получить изделия из ИАПМ с регулируемой пористостью (рис. 4).

Согласно технологии, изделия плотностью (80% получают прессованием-спеканием; плотностью $\approx 85\%$ - прессованием-спеканием или двойным прессованием-спеканием; плотностью $\approx 90\%$ - двойным прессованием-спеканием-термообработкой или горячим прессованием-термообработкой; плотностью более 95% - горячей экструзией-термообработкой.

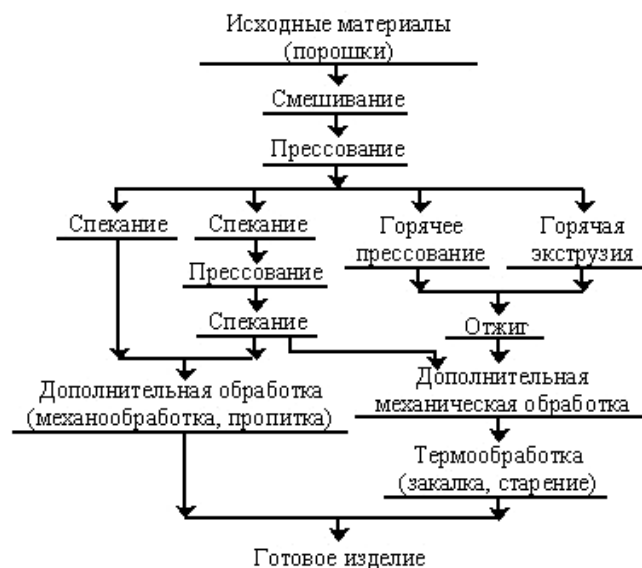


Рис. 4. Технологическая схема изготовления ИАПМ

Таблица

Параметры работоспособности материалов для различных режимов

Режим работы	Вид трения	Нагрузка, МПа	Скорость, м/с	Плотность, %	Предполагаемое значение, МПа·м/с
Легкий	Жидкостное	2,5	2	75	4
	Граничное	1,0	1		1
Средний	Жидкостное	7,5	3	85	15
	Граничное	3,0	2		5
Тяжелый	Жидкостное	45,0	3	100	50
	Граничное	35,0	1		10
Предельно тяжелый	Трение без смазки	5,0	40	95	25

Как отмечалось, в узлах трения с сухой и граничной смазкой высокие триботехнические свойства обеспечивают материалы с беспористой структурой. На рис. 5 представлены износные и прочностные характеристики порошкового материала (Fe-Mo-MoS₂) в зависимости от пористости. Как и следовало ожидать, с увеличением плотности антифрикционные и физико-механические свойства возрастают.

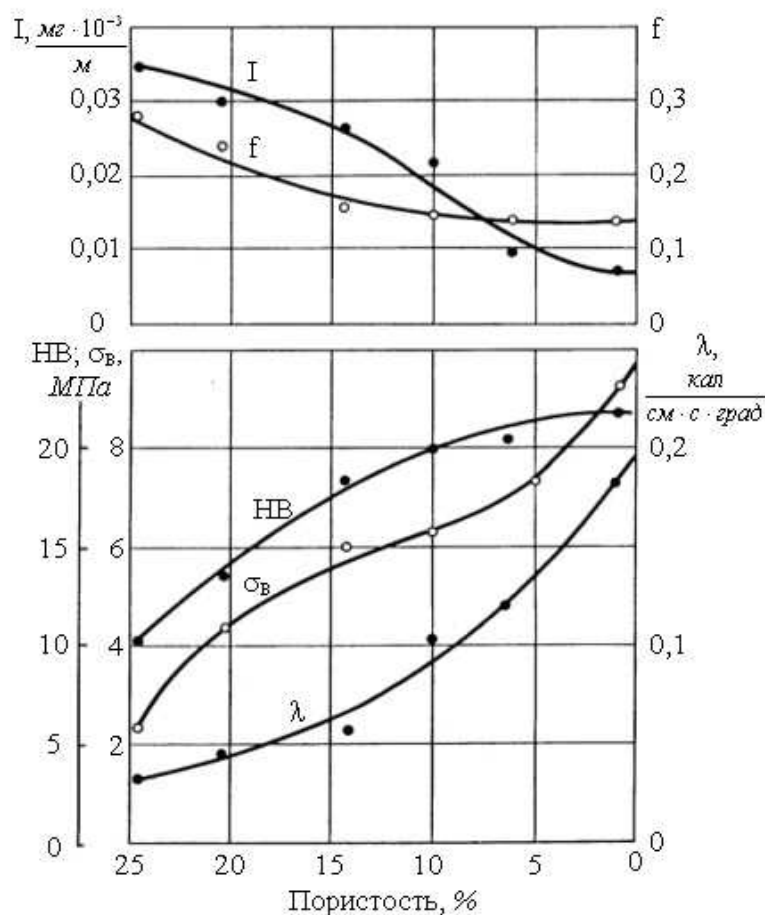


Рис. 5. Изменение фрикционных и физико-механических свойств ИАПМ (Fe-Mo-MoS₂) в зависимости от пористости ($Q=1 \text{ МПа}$, $V=1 \text{ м/с}$, трение сухое)

Выводы

1. Установлена взаимосвязь несущей способности, износостойкости и коэффициента трения от продолжительности эксплуатации и пористости износостойких порошковых материалов антифрикционного назначения.
2. Разработана общая технологическая схема получения износостойких антифрикционных порошковых материалов с регулируемой пористостью. Согласно

технологии, изделия плотностью: $\approx 80\%$ получают прессованием - спеканием; $\approx 85\%$ - прессованием – спеканием или двойным прессованием-спеканием; $\approx 90\%$ - двойным прессованием – спеканием - термообработкой или горячим прессованием-термообработкой; $\approx 95\%$ - экструзией-термообработкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Федорченко И.М.** Проблема антифрикционных материалов в современной технике // Повышение износостойкости и срока службы машин.- Киев, 1966.- Т.3.- С. 5 – 17.
2. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы.- Киев: Наукова думка, 1980.- 404 с.
3. Вестник металлопромышленности. Реф.: 1937.-№ 9.
4. **Салтыков С.А.** Измерение удельной поверхности порошков методами стереометрической металлографии // Порошковая металлургия и металлообработка.- Ереван, 1965.- С. 148 – 154.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 26.09.2010.

Մ.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Խ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ, Ա.Ա. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Ա.Ա. ԶԱԿԱՐՅԱՆ

ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ

Հաստատվել է հակաշփական նշանակության մաշակայուն փոշենյութերի մաշակայունության, շփման գործակցի և տարողունակության կախվածությունը շահագործման տևողությունից և ծակոտկենությունից: Մշակվել է դրանց ստացման տեխնոլոգիան:

Առանցքային բառեր. փոշի, մամլում, եռակալում, արտամղում, թրծում, մխում, ծերացում, մաշակայունություն, հակաշփական նյութ:

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

TECHNOLOGY OF OBTAINING WEARPROOF ANTIFRICTIONAL POWDER MATERIALS

The dependence of bearing ability, wear resistance and coefficient friction exploitation duration and porosity of wearproof on antifrictional powder materials is established. The technology of their obtaining is developed.

Keywords: powder, pressing, agglomeration, extrusion, annealing, tempering, ageing, durability, antifriction material.

Զ.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Ա.Ն. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ

ՀԱԳՈՒՍՏԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԼՎԱՑՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

Դիտարկվել են հազուստի բազմաշերտ կառուցվածքները: Կատարվել են գիտական հետազոտություններ և փորձարկումներ, որոնց արդյունքում բացահայտվել են լվացման ժամանակ նյութերի կառուցվածքի և հատկությունների փոփոխությունները: Հիմք ընդունելով գիտափորձերի արդյունքները՝ առաջարկվում է մշակել գիտականորեն հիմնավորված լվացման ռեժիմներ:

Առանցքային բառեր. հազուստ, բազմաշերտ, լվացում, փորձարկումներ, ռեժիմներ:

Կարի արտադրությունում օգտագործվող նյութերի տեսականին շատ բազմազան է: Գործնականում անհնար է ստեղծել այնպիսի լվացքի մեքենա, որը բավարարի բոլոր տիպի նյութերին ներկայացվող պահանջները: Այդ իսկ պատճառով այսօր լվացքի մեքենաներում մշակված են բամբակյա, բրդյա, մետաքսյա և սինթետիկ պաստառների լվացման ռեժիմներ: Սինթետիկ պաստառների լվացման ռեժիմները նախատեսված են նաև բոլոր տիպի խառնուրդային պաստառների լվացման համար:

Հազուստի լվացման ռեժիմները տարբեր տիպի ավտոմատ լվացքի մեքենաների համար տարբեր են, բայց յուրաքանչյուր տիպի նյութի համար գոյություն ունի մշակված, այդ նյութին բնորոշ լվացման ջերմաստիճան և ժամանակ:

Ժամանակակից լվացքի մեքենաներում հազուստի լվացման համար անհրաժեշտ պայմանները ստեղծվում և կարգավորվում են ավտոմատ կերպով: Կախված այն հանգամանքից, թե ինչպիսի նյութ է լվացվում, նախօրոք մշակված ծրագրի համաձայն, ընտրվում է լվացման ռեժիմը: Գրեթե բոլոր տիպի ավտոմատ և կիսաավտոմատ լվացքի մեքենաներում դրանց մեջ մտնում են լվացվող հազուստի նյութի տեսակը, լվացման ժամանակահատվածը, լվացման արագությունը, լվացման ընթացքում մեքենայի խցիկում բաքի կատարած մեխանիկական աշխատանքի ձևը, լվացող ջրի ջերմաստիճանը և քանակը:

Կատարված ուսումնասիրությունների արդյունքում պարզվել է, որ բոլոր տիպի ավտոմատ լվացքի մեքենաներում առանձնացված են լվացման ռեժիմներ բամբակյա, սինթետիկ և բրդյա հազուստների համար: Կան ռեժիմներ՝ նախատեսված նուրբ պաստառներից պատրաստված հազուստների լվացման համար, ինչը հիմնականում կիրառվում է մետաքսյա հազուստներ լվանալիս: Կախված լվացքի մեքենայի տեսակից՝ լվացման ռեժիմների մեջ ընդգրկված են արագ լվացման ռեժիմը, որը նախատեսված է հազուստի թարմացման համար, պարզաջրման և չորացման ռեժիմը, չորացման ռեժիմը, ջրի հեռացման ռեժիմը և այլն:

Լվացման ժամանակահատվածն ավտոմատ կերպով սևեռվում է ջրի ջերմաստիճանի և լվացման արագության ընտրության արդյունքում: Կան ավտոմատ լվացքի մեքենաներ, որոնցում լվացման ժամանակը, ջրի ջերմաստիճանը և արագությունը նյութի տեսակի ընտրության արդյունքում նույնպես սևեռվում են ավտոմատ: Մակայն նմանատիպ մեքենաներում հնարավորություն կա վերջինիս բերել ձեռքով կառավարման ռեժիմի:

Հագուստի լվացման որակը մեծ մասամբ կախված է լվացքի մեքենայում բաքի կատարված մեխանիկական աշխատանքից: Խցիկում իրականացվում են պտտական, տատանողական և այլ շարժումներ, որոնց ժամանակ այնտեղ գտնվող հագուստները միմյանց հարվածում են տարբեր ուժերով: Կախված նյութի տեսակից՝ այդ շարժումները կարող են լինել ակտիվ կամ պասիվ, ինչն էլ ինքնակարգավորվում է մեքենայի լվացման արագության ընտրման արդյունքում:

Հագուստի լվացման համար անհրաժեշտ ջրի քանակը նույնպես կարգավորվում է ավտոմատ կերպով, իսկ ջրի ջերմաստիճանի որոշման համար, ըստ նախօրոք մշակված ծրագրի, որոշակի միջակայքում նշված ջերմաստիճանների միջև ընտրություն կատարելու հնարավորություն կա:

Կատարված գիտական հետազոտություններից հետևում է, որ կարի արտադրությունում արտադրվող հագուստի կառուցվածքում կան մի շարք տեղամասեր, որոնք կազմված են մի քանի տիպի նյութերից պատրաստված գործվածքներից և միջադրվածքներից, որոնք բազմաշերտ կառուցվածքներ են: Նմանատիպ տեղամասերի քանակը, ինչպես նաև տվյալ տեղամասում կիրառվող պաստառների շերտերի քանակը, կախված են հագուստի նշանակությունից: Օրինակ, վերարկուների պատրաստման ժամանակ որպես հիմնական նյութեր օգտագործվում են բարակ, ցածր որակի գործվածք, տաքացնող միջադրվածք, աստառ և ստվարաթուղթ: Վերարկուների հիմնական նյութը կոշտ է և հետևաբար դժվարությամբ է դեֆորմացիայի ենթարկվում: Որպեսզի այն լավ պահպանի իր ձևը հաճախ եզրային մասերը մշակվում են բարակ ստվարաթղթով, ինչը ստանում են չիլուսված պաստառների արտադրությունում: Որպես հիմնական նյութ օգտագործվում են հաստ բրդյա կամ կիսաբրդյա գործվածքները, տրիկոտաժային կամ չիլուսված պաստառները, արհեստական կամ բնական մորթիները:

Այս նյութերը լվացման ժամանակ ենթարկվում են դեֆորմացիայի: Իսկ դեֆորմացիայի չափը և ձևը կախված են տվյալ նյութի հատկություններից, հետևաբար, բազմաշերտ կառուցվածքներում այդ դեֆորմացիաները լինում են տարբեր: Որպեսզի նմանատիպ դեֆորմացիաների չափը հասցվի նվազագույնին, կատարվում են փորձարկումներ, ինչի ժամանակ ուսումնասիրվում են տվյալ պաստառի հատկությունների փոփոխությունների կախվածությունը լվացման ժամանակ ընտրված ռեժիմներից:

Բազմաշերտ հագուստների համար լվացման ռեժիմների մշակման ժամանակ որպես փորձանմուշներ ընտրվում են բամբակյա, բրդյա, կիսաբրդյա, մետաքսե, վուշե, սինթետիկ գործվածքները և միջադրվածքային նյութերը:

Դրանք են. ամառային և միջսեզոնային հագուստի պատրաստման համար նախատեսված բամբակյա գործվածք (արտիկուլը՝ 831213), միջսեզոնային հագուստի պատրաստման համար նախատեսված վուշե գործվածք (արտիկուլը՝ 831223), ամառային և միջսեզոնային հագուստի պատրաստման համար նախատեսված մետաքսե գործվածք (արտիկուլը՝ 832320), միջսեզոնային հագուստի պատրաստման համար նախատեսված

կիսաբոլորային գործվածք (արտիկուլը՝ 835210), աշնանային կոստյումների և վերարկուների համար նախատեսված բոլոր գործվածք (արտիկուլը՝ 835310), ամառային և միջնագոնային հագուստի կարման համար նախատեսված շտապելային մանրաթելերից գործված սինթետիկ գործվածք (արտիկուլը՝ 838131), աստառացու միջադրվածքների պատրաստման համար նախատեսված սինթետիկ պաստառ՝ կազմված ացետատային մանրաթելերից (արտիկուլը՝ 838551), բամբակյա հիմքով, պոլիամիդային ծածկույթով սոսնձային միջադրվածք (արտիկուլը՝ 837067) և տաքացնող միջադրվածքների պատրաստման համար նախատեսված սինթետիկ չիլոսված պաստառ (արտիկուլը՝ 934506):

Ժամանակակից ավտոմատ լվացքի մեքենաների լվացման ռեժիմները որոշվում են հետևյալ գործոնների միջոցով՝

- արագություն,
- ջերմաստիճան,
- ժամանակ,
- նյութի տեսակ:

Կատարված հետազոտությունների արդյունքում պարզվել է, որ բամբակյա և վուշե հագուստները անհրաժեշտ է լվանալ 80...90°C ջերմաստիճանում՝ 4...5 րոպե: Բամբակյա հագուստները կարելի է լվանալ նաև 100°C ջերմաստիճանում մոտ 2 ժամ: Մետաքսե և բրդյա հագուստները լվանում են 35...45°C ջերմաստիճանից ոչ բարձր ջերմաստիճանում, լվացման ժամանակահատվածը տևում է 5...10 րոպե: Սինթետիկ մանրաթելերից պատրաստված հագուստները պետք է լվանալ 40...50°C-ից ոչ բարձր ջերմաստիճանում:

Հիմք ընդունելով վերը նշվածը՝ կազմվում են լվացման ռեժիմների փոփոխման մակարդակները (աղ.): Աղյուսակում ընտրվել են հագուստի լվացման ջերմաստիճանի, արագության և ժամանակի առավելագույն, միջին և նվազագույն արժեքների համակցությունները: Քանի որ բամբակյա և վուշե հագուստների լվացման պայմանները բավականին տարբերվում են բրդյա, մետաքսե և սինթետիկ հագուստների լվացման պայմաններից, մշակվել են առանձին ռեժիմներ՝ դրանց առանձին խմբերի համար: Փորձերը կազմակերպվում են այնպիսի կարգով, որ, կախված նյութի տեսակից, վերը նշված սկզբունքին համապատասխան, ընտրվում են տվյալ նյութերի լվացման ռեժիմների տարբեր խմբեր, որոնցում ընդգրկված են աղյուսակում նշված գործոնների բոլոր հնարավոր համակցությունները:

Աղյուսակ

Հագուստի լվացման ռեժիմների փոփոխման մակարդակները						
Գործոններ	Նյութի տեսակը					
	Բամբակ, վուշ			Բուրդ, մետաքս, սինթետիկ		
Մակարդակը	նվ.	միջ.	առ.	նվ.	միջ.	առ.
Ջերմ. (°C)	60	80	100	20	30	40
Արագ. (սլոտ/ր)	600	800	1000	600	800	1000
Ժամ. (ր)	80	100	120	30	50	70

Փորձարկումների ժամանակ որպես փոփոխվող գործոն ընտրվում է նաև լվացքի փոշու տեսակը:

Փորձարկումներն իրականացվել են կոնստրուկտիվ դասի «Տիրատեստ 2200» սարքավորման վրա: Այն նախատեսված է պինդ նյութերի մեխանիկական և դեֆորմացիոն հատկությունների որոշման համար: Փորձերը կատարվել են հագուստի լվացման ժամանակ նյութի կառուցվածքի և հատկությունների փոփոխությունները ուսումնասիրելու նպատակով, որպեսզի պարզվի, թե լվացման ռեժիմները ինչպիսի ազդեցություն ունեն հագուստի վերոհիշյալ հատկությունների վրա:

Փորձանմուշները տարբեր տիպի գործվածքներ են, որոնց չափերը ընտրվել են ԳՈՍՏ 28966.1-91-ի համաձայն:

Փորձերի ընթացքում «Տիրատեստ» սարքավորման միջոցով չափվել են պաստառների խզման բացարձակ երկարացումը ($L_{\text{խզ}}$) և խզման բեռնվածքը ($P_{\text{խզ}}$) լվացումից առաջ և հետո:

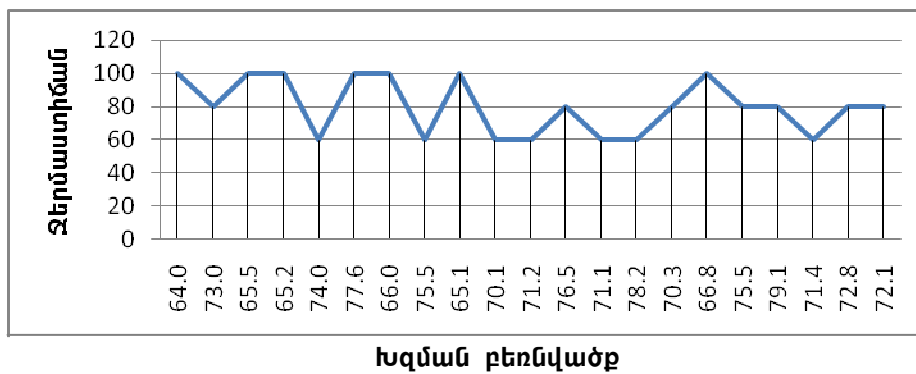
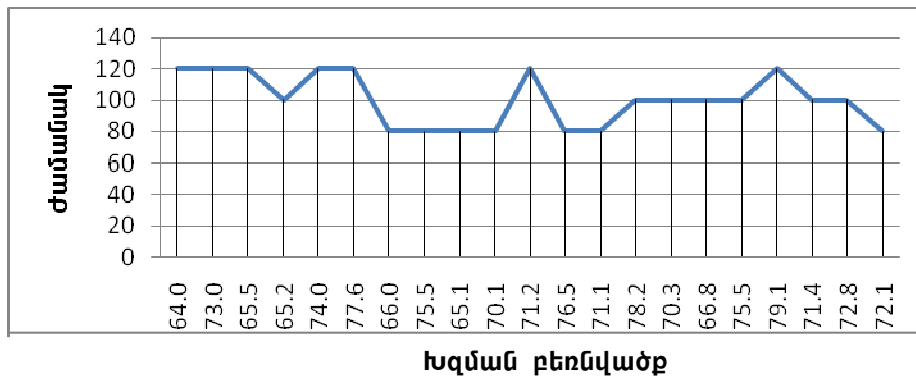
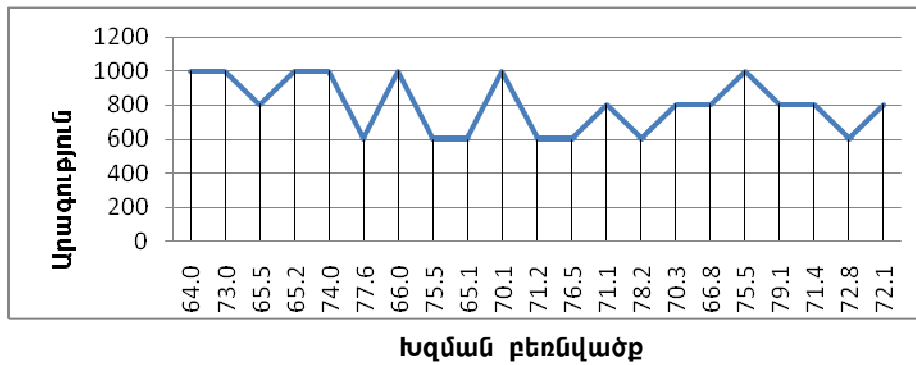
Փորձերի տվյալները ներկայացված են գրաֆիկների տեսքով (նկ.):

Հոդվածի շրջանակներում որպես օրինակ ներկայացված է բամբակյա պաստառի լվացման ժամանակ նախօրոք ընտրված լվացման ռեժիմների և խզման բեռնվածքի միջև կապը՝ գրաֆիկների տեսքով: Պարզվում է, որ արագության, ժամանակի և ջերմաստիճանի մեծ արժեքների դեպքում նմուշի խզման բեռնվածքի արժեքը փոքր է, ինչից հետևում է, որ նվազել է վերջինիս ամրությունը: Իսկ նշված ռեժիմների փոքր արժեքների դեպքում պաստառի խզման բեռնվածքի արժեքները մեծ են, այսինքն՝ մեծ է նյութի ամրությունը:

Նմանատիպ փորձարկումներ կատարվել են 21 տարբեր տիպի նմուշների հետ: Այս նմուշները եղել են և՛ միաշերտ, և՛ բազմաշերտ: Արդյունքում պարզվել է, որ նմանատիպ կախվածություններ առկա են բոլոր նմուշների մոտ:

Փորձերի արդյունքում պարզվել է նաև, որ նմուշների չափսերն ըստ երկարության մեծացել են, իսկ ըստ լայնության՝ նվազել: Աստառացու միջադրվածքների մոտ այս փոփոխությունը նկատվում է նաև որոշակի անկյան տակ, իսկ միջադրվածքային նյութերը ավելի շատ են ենթարկվել դեֆորմացիայի, քան հիմնական նյութերը: Լվացման ընթացքում հիմնական նյութերը երկար ժամանակ պահպանում են իրենց նախկին տեսքը, իսկ միջադրվածքները մեկ անգամ լվանալուց հետո բավականաչափ դեֆորմացվում են: Մեծ տարբերություն կա նաև հիմնական նյութերի համար մշակված լվացման ռեժիմների և սոսնձային միջադրվածքների լվացման համար անհրաժեշտ պայմանների միջև: Օրինակ՝ ժամանակակից սոսնձային միջադրվածքներն իրենց սոսնձող հատկությունը կորցնում են մոտ 30°C ջերմաստիճանում, իսկ ավտոմատ լվացքի մեքենաներում լվացման ջերմաստիճանը հիմնականում տատանվում է $30...80^{\circ}\text{C}$ -ում: Լվացման վերջում սոսնձային միջադրվածքով մշակված տեղամասերը դեֆորմացվում են, կորցնում իրենց սոսնձող հատկությունը: Սա հիմնականում հանդիպում է անդրավարտիքների և շրջագգեստների փեշի մշակման դեպքում:

Կատարվել է նաև պաստառի ուսումնասիրություն մանրադիտակի միջոցով: Արդյունքում պարզվել է, որ պաստառի ներքին կառուցվածքում նույնպես առկա են նկատելի փոփոխություններ: Լվացման ժամանակ մեխանիկական ազդեցության հետևանքով տեղի է ունենում միջնաթելի և հենքաթելի որոշակի տեղաշարժ, որի արդյունքում գործվածքի բացակային դաշտերը մեծանում են, նվազում է նյութի խտությունը, թուլանում են կապի դաշտերը, մանրաթելերը որոշ տեղամասերում կտրտվում են և խճճվում, ինչն էլ վերջինիս ամրության կրճատման պատճառ է հանդիսանում և հանգեցնում է պիլինգի առաջացմանը և մաշակայունության նվազմանը:



Նկ. Լվացման ռեժիմների և խզման բեռնվածքի փոխադարձ կապը

Կատարված փորձերի տվյալների ուսումնասիրության արդյունքում պարզվում է, որ մշակված ժամանակակից ռեժիմները չեն բավարարում բազմաշերտ հագուստի լվացման համար անհրաժեշտ պայմանները: Դրանք միջադրվածքային նյութերի որակական հատկությունների պահպանման համար չեն ստեղծում անհրաժեշտ պայմաններ: Նշված թերությունները վերացնելու համար անհրաժեշտ է մշակել նոր, օպտիմալ լվացման ռեժիմներ, որոնք կբավարարեն և հիմնական, և միջադրվածքային նյութերին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Бузов Б., Модестова Т., Алыменкова Н. Материаловедение швейного производства // Легкая индустрия. – М., 1978. – С. 351-410.
2. Мартынова А., Андреева Е. Конструктивное моделирование одежды // Легкая промышленность. – М., 2006. – С. 10-137.
3. ГОСТ НСО 5089-2001. Материалы текстильные. Подготовка проб для химических и стиральных испытаний // Изд. офиц. (Межгосстандарт). – М., 2006.
4. ГОСТ 28966.1-91, ГОСТ 28996.2-91 Клеи полимерные. Методы определения прочности при расслаивании и отслаивании // Изд. офиц. (Государственный комитет СССР). – М., 1996.
5. Устройство для испытания на прочность конструктивной серии ТиРАтест 2200 R 1/90.

ՀՊՃՀ (Պ)-ի Վանաձորի մասնաճյուղ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.02.2010:

Յ.Ա. МИНАСЯН, А.Н. МЕЛИКСЕТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ОДЕЖДЫ ВО ВРЕМЯ СТИРКИ

Рассматривается многослойное строение одежды. Проведены научные исследования и испытания, в результате которых обнаружено изменение строения и свойств материала одежды. На основе результатов научного исследования предлагается разработать научно обоснованные режимы стирки.

Ключевые слова: одежда, многослойное строение, стирка, испытание, режим.

Z.A. MINASYAN, A.N. MELIKSETYAN

STUDY OF CHANGES IN STRUCTURE AND QUALITY OF CLOTHES MATERIALS DURING WASHING

Multi-layer structures of clothes have been studied. Scientific researches and experiments have been conducted and changes in structure and quality of the materials during the wash have been revealed. Based on the research results it is suggested to develop scientifically grounded washing regimes.

Keywords: clothes, multi-layer, washing, experiment, regime.

Լ.Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ն.Ռ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ՊԻՐԻՏԱՅԻՆ ՊԱՐՓԱԿ ՈՍԿՈՒ ԵՎ ԱՐԾԱԹԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ
ԿՈՐԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Հետազոտված է պղինձ-կոլչեդանային հանքաքարի խալկոպիրտային ֆլոտացման պոչանքից ստացված պիրիտային խտանյութից ոսկու և արծաթի կորզման գործընթացը: Ցույց է տրված, որ պիրիտի սուլֆատային փոխակերպումը բովման ժամանակ կարող է դառնալ լավագույն նախադրյալը նրա հատիկներում պարփակված ոսկու և արծաթի արդյունավետ կորզման համար:

Առանցքային բառեր. պիրիտային խտանյութ, պարփակված ոսկի և արծաթ, սուլֆատացնող բովում, բովվածք, տարրալուծում:

Պղինձ-կոլչեդանային հանքաքարի խալկոպիրտային ֆլոտացման պոչանքի վերաֆլոտացմամբ ստացված երկրորդային խտանյութի (աղյուսակ 1) հիմնական բաղադրիչը, ռենտգենֆազային վերլուծության (ժՀԿՑ-2,0, Cu-K α - ճառագայթմամբ) տվյալներով, պիրիտն է (FeS₂): Մնացածը SiO₂, CaO, MgO ապարներն են և չնչին քանակությամբ խալկոպիրտ (CuFeS₂), սֆալերիտ (ZnS) ու այլ միներալներ:

Աղյուսակ 1

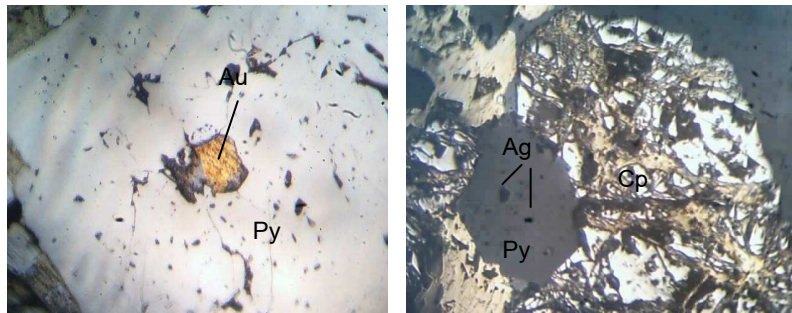
Պիրիտային խտանյութի քիմիական վերլուծության արդյունքներ*

Տարրերի պարունակությունը, %						
Au, գ/տ	Ag, գ/տ	Cu	Zn	Pb	Fe	S
5,80	7,05	0,41	0,42	0,033	20,40	20,77

* Վերլուծությունը կատարված է Լեննամետալուրգիայի ինստիտուտի ՓԲԸ – ում:

Խտանյութի միներալոգիական վերլուծության տվյալներով բնածին ոսկու մանրագույն մասնիկները՝ 0,08 մմ և 0,004 մմ չափերով ներփակված են պիրիտի հատիկներում (նկ.1ա): Բնածին արծաթի մասնիկները՝ միջին հաշվով 0,04 մմ չափերով նկատվում են պիրիտի հատիկներում, համակցված խալկոպիրտի հետ և դասավորված անկանոն ձևով (նկ.1բ):

Ոսկու և արծաթի պարունակությունները հետազոտվող խտանյութում բավարար են՝ տնտեսապես շահավետ վերամշակման արտադրություն կազմակերպելու համար: Սակայն, ինչպես հայտնի է [1], եթե ոսկին պարփակված է պիրիտի հատիկներում, այն զրկված է տարրալուծման գործընթացում ցիանիդ-իոնների հետ փոխազդեցության մեջ մտնելու հնարավորությունից: Հետևաբար այս տեսակի միներալ պարունակող խտանյութը պետք է կա՛մ ուղղակիորեն ենթարկվի հալման (եթե ոսկու պարունակությունը բավականին բարձր է), կա՛մ բովվի՝ որպեսզի միներալում գոյանան բազմաթիվ ծակոտիներ ու կանալներ, ցիանիդ-իոնների (CN⁻) թափանցման համար:



ա (x 400)

բ (x 250)

Նկ. 1. Բնածին ոսկու (ա) և բնածին արծաթի (բ) տեղաբաշխումը պիրիտային հատիկներում

Թվարկված երկու ուղղություններից առաջինի դեպքում, ինչպես ցույց է տվել արտադրական փորձը (մասնավորապես Ալավերդու պղնձաձուլարանում), պիրիտի բարձր պարունակությամբ պղնձային խտանյութի «հեղուկ վաննայում» հալման ժամանակ, չնայած բովախառնուրդի հմտորեն նախապատրաստմանը, նրանում առկա պիրիտը զգալի խնդիրներ է առաջ բերում արտադրական գործընթացում, այդ թվում՝ կապված հեղուկ վաննայի մուտքի շեմին դժվարահալ եռակաված խարամագանգվածների գոյացման հետ, որոնք պարբերաբար պետք է հեռացվեն՝ վառարանի անխափան աշխատանքն ապահովելու համար: Ընդ որում, տեսական և փորձարարական վերլուծության տվյալներով նշված պինդ զանգվածների կուտակումը հալման վաննայի նախաշեմին պայմանավորված է պիրիտի (FeS_2) օքսիդացման հետևանքով երկաթի դժվարահալ օքսիդների գոյացման հետ, ըստ հետևյալ ռեակցիաների [2]՝



Բացի դրանից, եթե պիրիտը վառարանի մուտքի մոտ քայքայվի նույնիսկ պիրոթիտի (FeS) գոյացմամբ, ապա վերջինս օդի թթվածնով օքսիդանալով նույնպես կփոխակերպվի դժվարահալ մագնեթիտի [1]՝



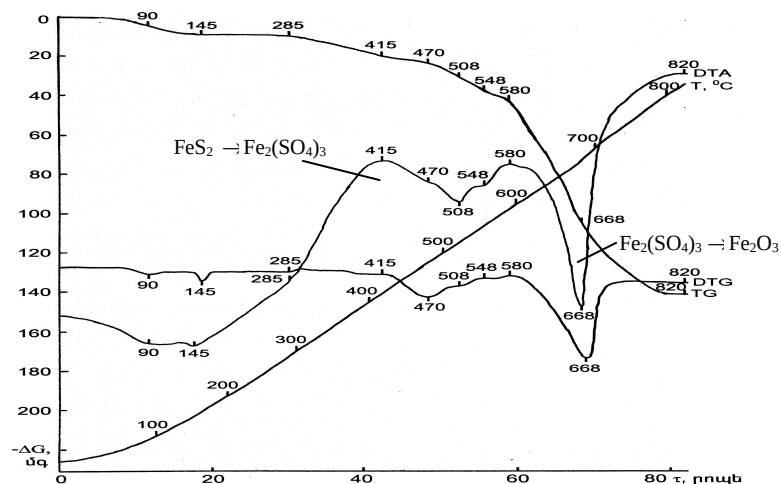
Եվ քանի որ բովախառնուրդի միջոցով վառարան տրվող ֆլյուսը (SiO_2) անկարող է մագնեթիտի կամ հեմաթիտի հետ դյուրահալ խարամներ գոյացնել (ինչպես օրինակ, վյուսթիտի հետ՝ $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ կամ $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$), ապա, հավանաբար, հենց ծծմբազրկված մագնեթիտն է եռակավվում ֆլյուսով ու պինդ զանգվածի տեսքով կաչում վաննայի թեք հատակին:

Սակայն խնդիրը միայն մեխանիկական անհարմարությունը չէ: Պիրիտը զգալի քանակությամբ մանրահատիկ ոսկի է պարփակում իր մասնիկներում, և եթե դրանք չեն միահավում բովախառնուրդի մյուս բաղադրիչների հետ հեղուկ վաննայում, ուրեմն պիրիտային ոսկին, ինչպես նաև արծաթը, ուղղակիորեն կարող են կորչել խարամագոյացման ճանապարհով:

Աշխատանքում փորձ է արվել խտանյութի սուլֆատացնող բովման միջոցով պարփակ ոսկու զգալի բարձր պարունակությամբ պիրիտի հատիկների ֆագային

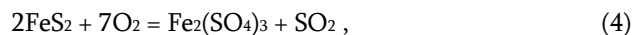
փոխակերպմամբ ձեռք բերել դրանցում տարրալուծման տեսակետից առավել հարմարավետ, ծակոտիներով ու միջանցիկ կանալներով լեցուն սուլֆիդազուրկ կառուցվածք՝ բաղկացած գերազանցապես ջրում լուծելի եռավալենտ երկաթի սուլֆատից և օքսիդային ֆազերից:

Այդ նպատակի համար, նախ ուսումնասիրվել են պիրիտում տեղի ունեցող ֆազային փոխակերպումները ոչ իզոթերմիկ տաքացման պայմաններում, օգտվելով 43,12% FeS₂ (մնացածը՝ CuFeS₂, CuS, ZnS, SiO₂ և այլն) պարունակությամբ խտանյութի ջերմաձանրաչափական և դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծության բնութագրերից, հանված Q-1500D դերիվատոգրաֆի օգնությամբ (նկ. 2) [3]:



Նկ. 2. Պիրիտի 43,12% պարունակությամբ խտանյութի դերիվատոգրեր. TG – նմուշի զանգվածի փոփոխությունը, DTG – զանգվածի փոփոխության դիֆերենցիալը, DTA – դիֆերենցիալ-թերմիկական վերլուծությունը, T- ջերմաստիճանը, °C

Դերիվատոգրի բնութագրերի համադրումը իզոթերմիկ պայմաններում (250, 400, 500, 650, 700 °C) ստացված բովվածքների ռենտգենաֆազային վերլուծության տվյալներին թույլ է տալիս հաստատելու, որ նմուշի զանգվածի փոփոխությունը 285...508 °C ջերմաստիճանային տիրույթում և համապատասխան ջերմանջատիչ էֆեկտը 415 °C մաքսիմումով պայմանավորված են պիրիտի սուլֆատացմամբ ըստ հետևյալ ռեակցիայի՝



$$\Delta G_T^0 = -2554,5 + 0,97T, \text{ կՋ/մոլ} :$$

Գոյացած եռավալենտ սուլֆատը պահպանում է իր կայունությունը ընդհուպ մինչև 640 °C, որից ի վեր այն ենթարկվում է ջերմային դիսոցման՝

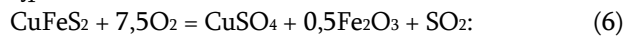


$$\Delta G_T^0 = 568,11 - 0,59T, \text{ կՋ/մոլ} ,$$

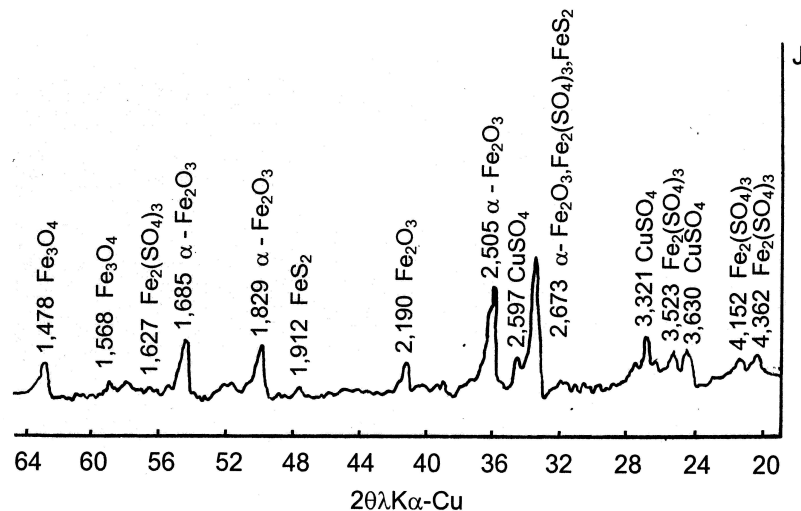
ինչի մասին վկայում է բավականի խորը ջերմակլանիչ էֆեկտի հանդես գալը DTA կորի վրա 640...700 °C տիրույթում և նմուշի զանգվածի համապատասխան փոփոխությունը: DTA կորի զգալի սրությունը 668 °C – ում իր հերթին վկայում է, որ երկաթի եռավալենտ սուլֆատի փոխակերպումը հեմաթիտի է (Fe₂O₃) տեղի է ունենում թոփչքաձև, նեղ ջերմաստիճանային տիրույթում, ինչը հատուկ է դիսոցման ռեակցիաներին:

Վերլուծության արդյունքներից հետևում է, որ պիրիտի սուլֆատացված վիճակի պահպանման համար խտանյութի բովման ջերմաստիճանը չպետք է գերազանցի 640°C -ը: Այդ առումով, հետազոտման ենթակա երկրորդային պիրիտային խտանյութի վերահսկիչ բովումն իրականացվել է 480°C - ում, 3 ժամ տևողությամբ: Զուգահեռաբար կատարվել է նաև խտանյութի բովում ավանդական ռեժիմով (700 և 900°C)՝ տարրալուծման աստիճանների համեմատման համար:

Նկ. 3 - ում պատկերված դիֆրակտոգրի վրա հստակորեն երևակված են բովվածքի հիմնական բաղադրիչի՝ երկաթի եռավալենտ սուլֆատի ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) բնորոշ դիֆրակցիոն արտացոլումները $0,4362$ նմ, $0,4152$ նմ, $0,3523$ նմ և $0,2673$ նմ միջհարթությունային հեռավորություններով: Նկատվում է նաև հեմաթիտի (Fe_2O_3), ինչպես նաև պղնձի սուլֆատի առկայությունը բովվածքում: Դրանց միաժամանակյա առկայությունը կարող է հետևանք լինել խտանյութում պարունակող ուղեկից խալկոպիրիտի ուղղակի սուլֆատացման, ըստ հետևյալ ռեակցիայի՝



CuSO_4 - ը առանձնապես անհանգստություն չի պատճառում, քանի որ այն նույնպես ջրում լուծելի սուլֆատ է:



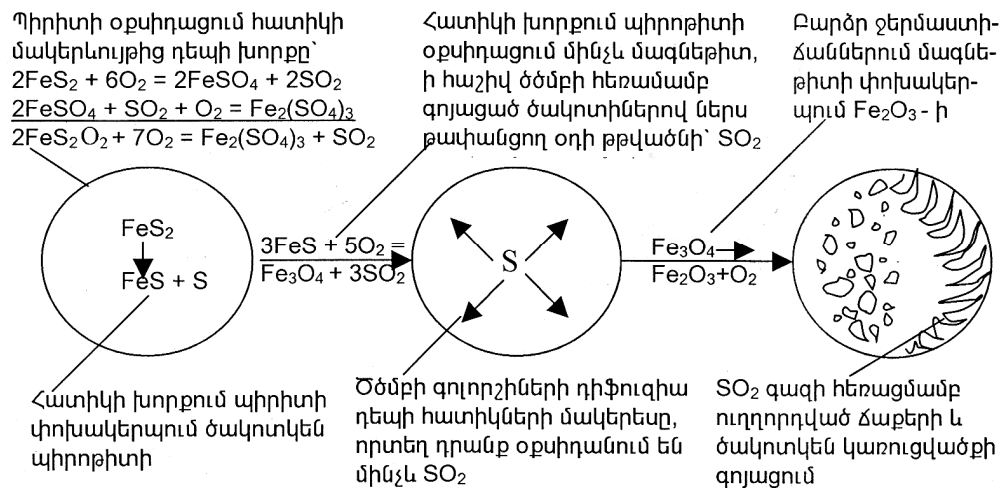
Նկ. 3. Պիրիտային խտանյութի սուլֆատացված բովվածքի ռենտգենագիրը

Սակայն, ինչպես ցույց տրվեց, բովված նմուշի պետրոգրաֆիկական վերլուծությամբ, հեմաթիտը և պղնձի սուլֆատը ոչ թե հոծ կուտակումներ են, այլ բաշխված են $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ - ի զանգվածում, մանրագույն անջատվածքների տեսքով (նկ. 4): Դրանք կարող են հեշտությամբ առանձնանալ եռավալենտ սուլֆատի տարրալուծման ժամանակ: Բացի դրանից, այս նմուշի հատիկներն աչքի են ընկնում մեծ ծակոտկենությամբ և լեփ-լեցուն են տարանցիկ կանալներով, որոնցով դեպի տարրալուծվող ոսկու մասնիկները հեշտությամբ կարող են թափանցել ցիանիդ-իոնները:

Ի տարբերություն սուլֆատացված բովվածքի, օքսիդացված արգասիքների հիմնական բաղադրիչը, սովորաբար, հեմաթիտն է (Fe_2O_3), որը լուծելի չէ նույնիսկ ծծմբական թթվի ջրային լուծույթներում: Այսպիսի բովվածքների հատիկներում

մեծամասամբ առկա են փակ ծակոտիներ (հատկապես 900 °C-ում բովված նմուշներում), որոնք բարձր ջերմաստիճաններում հատիկների մասնակի եռակալման հետևանք են: Այդ է պատճառը, որ օքսիդացված բովվածքներից ոսկու կորզման աստիճանն ավելի ցածր է, քան սուլֆատացվածից (աղյուսակ 2):

Այսպիսով, պիրիտային պարփակ ոսկու առավելագույն կորզման աստիճանի ապահովման համար խտանյութի բովումը պետք է կատարվի սուլֆատացնող ռեժիմում՝ ջերմաստիճանը 480...500 °C, տևողությունը 3 ժամ:



Նկ. 4. Բովման գործընթացում պիրիտի աստիճանական փոխակերպման մեխանիզմը ըստ պետրոգրաֆիկական վերլուծության տվյալների

Աղյուսակ 2

Բովման արգասիքների ցիանիդային տարրալուծման արդյունքները*

Բովման արգասիքը	Ջերմաստիճանը, °C	Պարունակությունը բովվածքում, գ/տ		Կորզումը դեպի լուծույթ, %	
		Au	Ag	Au	Ag
Սուլֆատացված	480	5,8	7,11	80,4	85,6
Օքսիդացված	700	6,1	8,4	65,8	69,2
Օքսիդացված	900	6,6	8,8	59,2	61,3

* Վերլուծությունները կատարվել են «Լեռնամետալուրգիայի ինստիտուտ» ՓԲԸ – ում:

Արտադրական պայմաններում այդպիսի բովում կարող է իրականացվել «եռացող շերտով» վառարաններում, որոնք լայն կիրառում են գտել “Компер Хилл” (ԱՄՆ) և СУМЗ (Նախկին ԽՍՀՄ) ընկերություններում: Դրանք օգտագործվում էին նաև Ալավերդու լեռնաքիմիական կոմբինատում [4]: Այդպիսի վառարաններում խտանյութը բեռնվում է

ավտոմատացված ձևով ժապավենային կամ ափսեաձև սնուցիչներով: Խտանյութը 20...25% ջրի պարունակությամբ մատուցվում է բոցամուղով վառարանի կամարից և փոշեցրվում է խտացրած օդով [5]: Սուլֆատացնող բովման տևողությունը այդպիսի վառարանների կիրառման դեպքում հնարավոր է կրճատել մինչև 0,5...1,0 ժամ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Mardsen J. and House I.** The Chemistry of Gold Extraction.- Ellis Horwood Limited, Chichester, England, 1992. - 597 p.
2. **Coleman R.B.** Roasting of refractory gold ores and concentrates // Proc. of Gold Symp. AIME. – 1990. - P. 381-388.
3. **Саргсян Л.Е., Оганесян А.М.** Фазовые превращения в медном концентрате с высоким содержанием пирита при политермическом нагреве // Цветные металлы.- 2006.- №7. - С. 16-18.
4. **Зеликман А.Н., Крейн О.Е., Самсонов Г.В.** Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1978. - 560 с.
5. **Гудима Н.В., Шейн В.П.** Краткий справочник по металлургии цветных металлов.- М.: Металлургия, 1975. - 536 с.

ՀՊՃՀ (Պ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.04.2010:

Л.Е. САРГСЯН, Н.Р. МАНУКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭФФЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ В ПИРИТЕ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

Исследован процесс извлечения золота и серебра из пиритного концентрата, полученного из хвостов халькопиритной флотации медно-колчедановой руды. Показано, что сульфатное превращение пирита при обжиге может стать хорошей предпосылкой для эффективного извлечения золота и серебра, вкрапленных в его зернах.

Ключевые слова: пиритный концентрат, вкрапленное золото и серебро, сульфатизирующий обжиг, огарок, выщелачивание.

L.YE. SARGSYAN, N.R. MANUKYAN

INVESTIGATION OF EFFECTIVELY RECOVERY PROCESS IN PYRITE-LOCKED GOLD AND SILVER

The recovery process of gold and silver out of pyrite concentrate obtained from copper-pyrite ore chalcopyrite-flotation tailings is investigated. It is shown that the sulphate conversion of pyrite at roasting can become a good precondition for effectively recovery of gold and silver locked in its grains.

Keywords: pyrite concentrate, locked gold and silver, sulphatizing roasting, roast calcine, leaching.

MOATASEM M.KH.

CYANIDE LEACHING OF POLYMETALLIC ORE TREATMENT RESIDUUM AND THE RECOVERY OF NOBLE METALS FROM LEACH LIQUOR

The particularities of cyanide leaching of a gold-bearing residuum remaining after removing copper, zinc and lead from Cu/Zn/Pb/Fe sulphatized roast-calcine by its hydrometallurgical treatment, and electrowinning of gold and silver from obtained leach liquor are investigated. The optimum technological regimes of these processes are established.

Keywords: residuum, cyanide leaching, sodium cyanide, potential, anodic and cathodic reactions, electrowinning, current density, current efficiency.

The tested gold-bearing residuum (oxide concentrate with 74.2 mg/kg Au and 1034.2 mg/kg Ag) of about – 0,071 mm particle size, had the following main mineral composition (%): 47.9 Fe₂O₃, 20.7 SiO₂, 10.9 Al₂O₃, 5.5 Fe(OH)₃, (CaO + MgO) and the rest. It was obtained from Cu/Zn/Pb/Fe sulphatized roast-calcine after removing from it copper and zinc (by acid leaching) and lead (by the method of sodium chloride leaching) [1]. Due to these processes gold and silver grains become in a free condition without any ties with chalcopryrite, sphalerite and galena [2, 3].

To recover gold and silver from this residuum, the cyanide leaching with the followed electrowinning can be used as a preferable method [4]. Cyanide (NaCN, KCN or Ca(CN)₂) is more acceptable complexant among a limited number of ligands which form complexes of sufficient stability in aqueous solutions. It is universally used in gold extraction processes because of its relatively low cost and great effectiveness for gold dissolution. On the other hand, despite some concerns over the toxicity of cyanide, it can be applied with a little risk to health and environment. The oxidant most commonly used in cyanide leaching is oxygen, supplied from air, which contributes to the attractiveness of the process. In relevance to electrowinning, it is usually used for treatment of high-grade gold solutions, however there is some potential for its application to dilute leach solutions, i. e. without solution concentration by carbon adsorption and elution.

The analysis of gold and silver in liquid phases after each test was carried out by using an Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS) method (on AA240FS analyzer). Leach residues at the end of each stage were also analyzed for gold and silver to establish mass balance and determine both precious metals recovery rates. For this aim an Emission Spectral analysis is used on a DFC-13 spectrograph (Russia) at the “Spectroscopic” laboratory of Institute of Geological Sciences NAN RA.

Ionic concentration of free CN⁻ in cyanide solutions was determined by titration with silver nitrate using rhodamine as an indicator.

Cyanide leaching experiments (with leach samples of 125 g) were carried out in Central Laboratory of Kapan Processing Plant which is the unique producer of Cu/Zn/Pb/Fe - sulphide concentrates with very high content of gold and silver. Leaching tests (24 h) with

constantly missing slurry (S:L=1:8) were performed in a glass reactor of 1 liter capacity equipped with a pitched blade turbine impeller rotating at 600 rotary/min (Fig. 1). Sodium cyanide salt (NaCN) concentration was maintained at 0.4; 0.5 or 0.6 g/l over the leaching period and the consumption of cyanide was recorded. The solution temperature was controlled by a mercury thermometer.

Metal recovery tests were carried out in a model packet-bed electrowinning cell with two perforated stainless steel plate anodes and a steel wool cathode basket of 16 mm thick (Fig. 2). The cell operated with solution and current having parallel flow directions. The useful contact area of the cathode is approximately 10 cm². The pregnant solution is continuously circulated from a storage tank through the electrowinning cell and back into the storage tank. The flow rate was controlled by a tap placing on the exit tube of the cell, and the electrolyte temperature was controlled by a mercury contact thermometer.

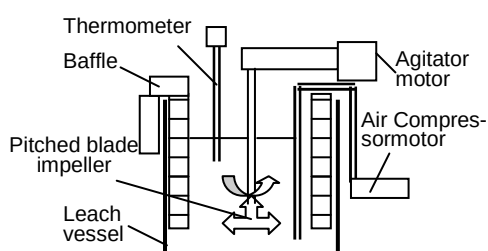


Fig. 1. An experimental set-up for cyanide leaching of the oxide residuum

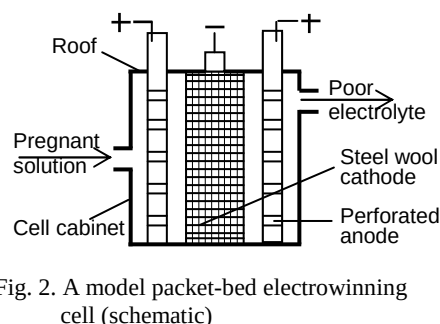


Fig. 2. A model packet-bed electrowinning cell (schematic)

Fig. 3 shows the effect of cyanide concentration on gold dissolution from the tested residuum over the leach time. It is seen that increasing the concentration of cyanide salt promotes the gold dissolution. The highest gold dissolution was obtained with 0.6 g/l sodium cyanide salt concentration. It is relevant to note that in these conditions over an initial leaching period of 6.5 hours approximately 97 % of gold was dissolved and while over the following 17.5 hours the extraction of gold is negligible.

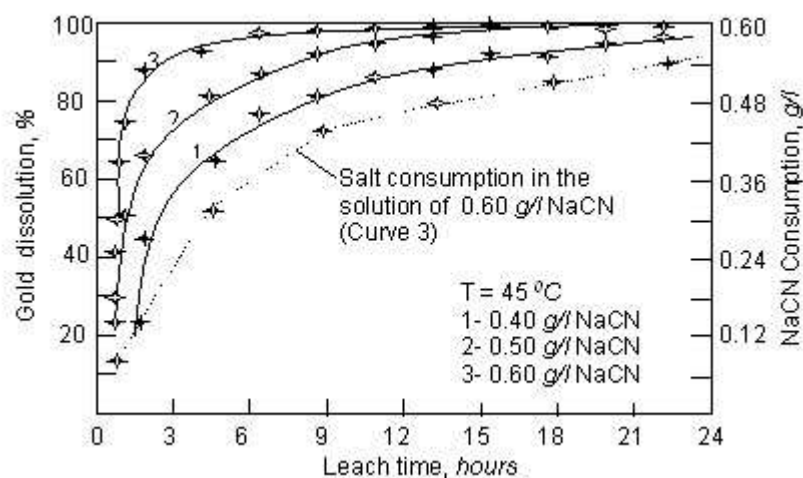


Fig. 3. The effect of cyanide concentration on gold dissolution (curves 1-3) and cyanide consumption over the leach time

High gold recoveries suggested the presence of very negligible quantities of encapsulated gold particles which did not come into contact with cyanide solution. This fact is due to previously sulphatizing roasting of raw material (polymetallic concentrate) which completely converts the sulphide minerals into porous water-soluble sulphates (thus exposes the locked-up gold in these minerals). Therefore after base metals recovery from corresponding roast calcine, gold and silver in process residue are actually present predominantly in free conditions.

It should be noticed that the cyanide salt (NaCN) consumption and the leach time are spend mainly to dissolve gold and silver because the base metal contents are very small. Consequently the cyanide concentration depends on its quantities in oxide residuum. On the other hand, spare cyanide quantities are not quite disturbed, since the leach liquor can be recycled after gold and silver are recovered from it by electrowinning. Practically 0.55...0.58 g/l of NaCN is enough to leach 74.2 mg/kg Au and 1034.2 mg/kg Ag from the tested oxide concentrate for about 22 hours.

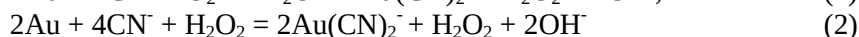
The analytical results of liquid and solid products obtained from cyanide leaching of the tested residuum in comparison with primary concentrations of gold and silver as well as other components are represented in Table.

Table

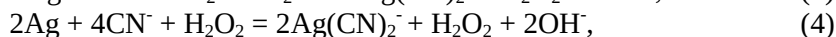
AAS analysis of the liquid product and mineralogical analysis of solid residual obtained from cyanide leaching of oxide residuum in comparison with its primary composition

Primary oxide residuum	Main mineralogical composition, %: Fe ₂ O ₃ – 47.9, SiO ₂ – 20.7, Al ₂ O ₃ – 10.9, (CaO+MgO) – 15.0, Fe(OH) ₃ – 5.5, CuFeS ₂ – 0.03, ZnS – 0.02, PbS – 0.05, PbSO ₄ – 0.01, Au – 74.2 mg/kg, Ag – 1034.2 mg/kg
Liquid product (cyanide leaching solution)	Main ionic concentration, mg/l (in 1,0 liter filtered cyanide leach solution): Cu ²⁺ - 11.2, Zn ²⁺ - 12.0, Pb ²⁺ - 12.1, Fe ²⁺ - 10.1, Fe ³⁺ - not, Cd ²⁺ - not, Bi ²⁺ - not, Sb ²⁺ - not, As ²⁺ - not, Au ⁺ - 9.1, Ag ⁺ - 124.9, CN ⁻ - 25.0
Solid residual (tailings)	Main mineralogical composition (after Au and Ag recovered), %: Fe ₂ O ₃ – 47.7, SiO ₂ – 20.55, Al ₂ O ₃ – 10.73, (CaO+MgO) – 15.02, Fe(OH) ₃ – 5.6, CuFeS ₂ – 0.01, ZnS – 0.01, PbS – 0.02, PbSO ₄ – not, Au – 0.17 mg/kg, Ag – 4.3 mg/kg

From the results of this experimental series it is seen that gold and silver containing in this oxide product are quite leachable in dilute sodium cyanide solutions. This applies more accurately of course to its direct interactions with free cyanide-ions (CN⁻) by the following reaction equations [4], proceeding in parallel:



and



the result of cyanide-complexes in leach liquor is in complete conformity with well known E_h-pH equilibrium diagram for the system Au-H₂O-CN.

Cyanide concentration is relatively easy to control by the addition of concentrated cyanide solution, or a solid cyanide salt. The control of the oxidant concentration (i.e. dissolved oxygen) is not so easy because of the low solubility of oxygen in water under atmospheric conditions. Consequently the maximum rate of gold dissolution for processes that use air to provide oxygen in solution is determined by the conditions of temperature and pressure under which the process operates.

At sea level and at 25 °C the saturated concentration of dissolved oxygen in solution is 8.2 mg/l [5]. This value decreases with increasing altitude and increasing temperature. The corresponding cyanide concentration that gives maximum dissolution rate of gold at this oxygen concentration is approximately 0.005 %. Of course, for industry cases pure oxygen, oxygen enriched air, hydrogen peroxide or another oxygen source can be used in place of air to supply oxygen to the solution.

The full absence of Si, Ca and Mg in leach liquor means that its oxides are absolutely non-soluble in NaCN solution, and they completely remain in solid phase.

As to solution temperature, it is well known that the gold dissolution rate increases with temperature, as a result of increased activities and diffusion rates of reacting species, up to maximum at approximately 85 °C. Above this temperature the decrease in oxygen

solubility outweighs the benefits of increased ionic activity and diffusion rates. Therefore, taking into account the experimental results [6] and experience of Ararat Gold Recovery Company during last years, optimum leaching temperature for this case was established as 45 °C.

The influence of gold and silver concentration, solution flow rate and temperature on the recovery efficiency of these metals, as well as the current efficiency of electrowinning process is examined. The tests were performed with summary gold and silver content of: 26.8; 53.6; 80.4; 107.2 or 134.0 *mg/l*, and at flow rate of: 10; 20; 30; 40 or 50 *ml/min.cm²*. The solution temperature was chosen: 30, 60 or 90 °C. The cell current was 2.4 - 2.5 A. In all cases essential solution pH was kept at the level of 12.5...13.0 which was not changed during the electrolysis.

The metal recovery coefficient K_{rec} for the 1st passage of the solution through the electrowinning cell, and the current efficiency E_{curr} for each experiment were determined by the equations:

$$K_{rec} = (1 - M_{rem} / M_{in}).100 \% \quad (5)$$

The current efficiency for each experiment was determined by the equation

$$E_{curr} = (M_{in} - M_{rem})/M_t .100 \%, \quad (6)$$

where M_{rem} is the summary quantity of gold and silver in the reservoir at the end of the 1st passage, M_{in} is the initially gold and silver content, $M_t = m(0.2A_{Au} + 0.8A_{Ag})$ is the summary molecular mass of Au and Ag for the case of Au : Ag = 1 : 4 in the solution which can be reduced on the cathode under the current I (A) in a time t (s); m is the amount of these molecules excused by the Faraday law: $m = it / nF$ ($n = 1$ is the quantities of the electrons taking part in reaction, $F = 96500$); $A_{Au} = 196.96$ and $A_{Ag} = 107.86$ are the atomic masses of gold and silver, correspondingly.

The experimental results are presented in Figs 4, 5 and 6. These images show that the changes of gold and silver summary concentration in limits from 26.8 to 134 *mg/l* in solution has linear increasing influence on the metal recovery coefficient at its 1st passage through the cell (Fig. 4). The solution with (Au + Ag) concentrations lower than 10 *mg/l* is treated with very small efficiency, which is connected with decreasing of equilibrium potentials of $Au(CN)_2^- \rightarrow Au$ and $Ag(CN)_2^- \rightarrow Ag$ couples at low concentrations of cyanide complexes [7].

The recovery coefficient increases with increasing the solution temperature. This is explained first by increasing diffusion coefficient of the cyanide complexes, and second increasing the electrolyte conductivity. Besides the oxygen solubility decreases due to which decreases the amount of oxygen molecules striving to the cathode. The excessive temperatures are also not lucky with the environment requirements. The optimum solution temperature chooses is 90 °C.

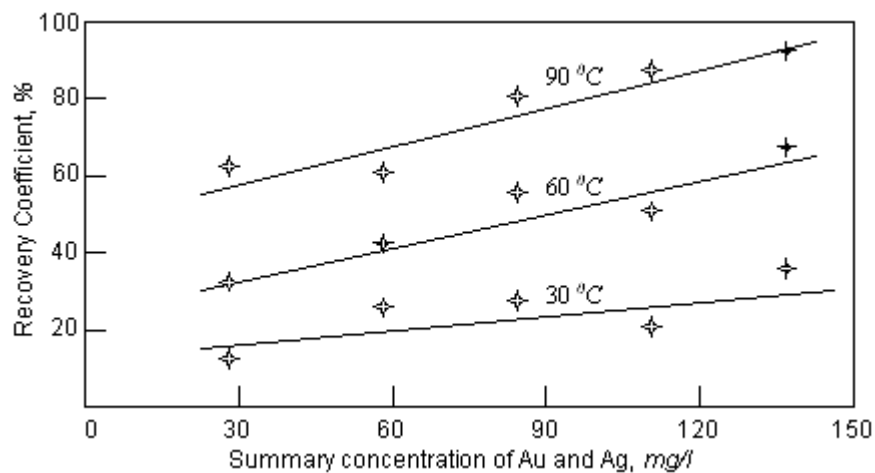


Fig. 4. Influence of gold and silver summary concentration on the recovery coefficient of metals from the solution at the 1st passage through the model electrowinning cell in different temperatures

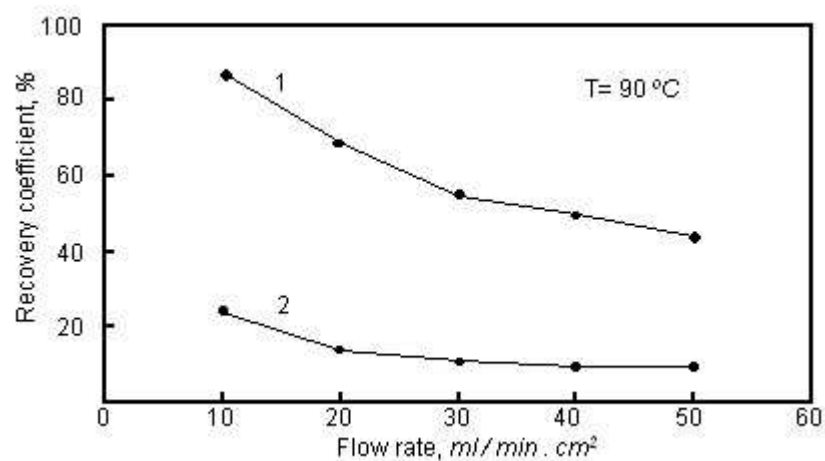


Fig. 5. Influence of solution flow rate on the metal recovery coefficient at the 1st passage through the model electrowinning cell with summary Au and Ag concentrations: 1 – 26.8 mg/l; 2 – 134 mg/l

From the graphics on Fig. 5 it is seen that increasing the flow rate of the solution through the cell leads to decreasing the metal recovery coefficient especially with high concentration of gold and silver.

However, from the point of view of electrolysis capability this does not mean that the process will be carried out at low flow rates. Therefore, as optimum solution flow rate it should be 30 ml/min.cm^2 at which metal recovery coefficient curves begin to be linear, and which is well agreed with the data of international practice. This may be recommended for the industry electrowinning cells.

In order to establish the optimum cell current (or current density), the experimental dependencies of current efficiency – cell current and metal recovery coefficient – cell current (Fig. 6) were joined. As it is seen, the current efficiency (E_{curr}) of the cell decreases with increase of cathode current (up to 2 % at 5 A), while the metal recovery coefficient (K_{recov}) increases to a maximum. The optimum operating current is, therefore, the value at which both of dependencies are in the same position. It equals approximately to 4 A which corresponds to the current density of 40 A/m^2 . At such current approximately 16.5 % of current efficiency which is higher than average industry indicator (5 % is typical for many gold recovery plants [8]).

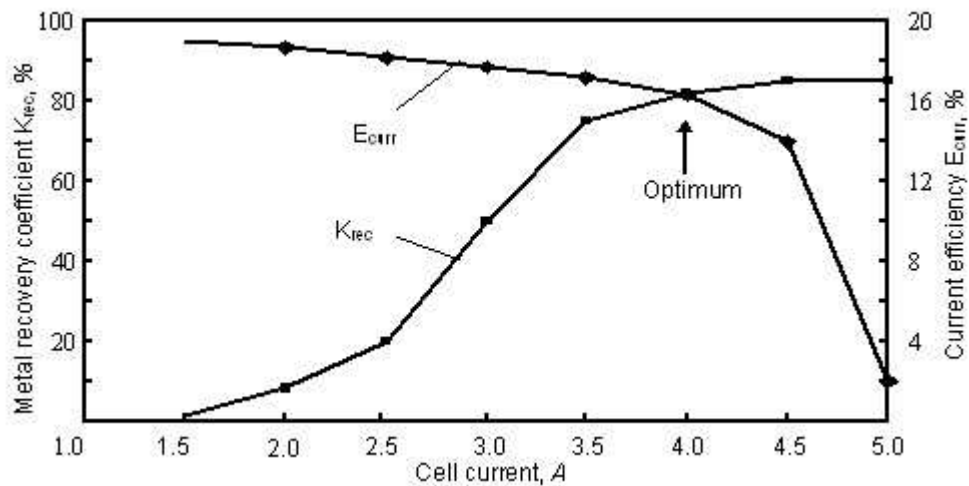


Fig. 6. The effect of increasing cell current on the current efficiency and metal recovery coefficient of the tested model electrowinning cell

So, by the time of experiments the optimum regimes can be chosen for the:

- oxide residuum cyanide leaching – solution temperature 45°C , sodium cyanide salt consumption $0.55\ldots0.58 \text{ g/t}$, leach time $22\ldots24 \text{ hours}$, air innings;
- electrowinning - electrolyte temperature 90°C , flow rate 30 ml/min.cm^2 , current density 40 A/m^2 .

REFERENCES

1. **Sargsyan L.Ye., Tovmasyan D.L., Moatasem M.KH.** Study of the Process to Recover Base Metals from Gold-Bearing Cu/Zn/Pb-Sulphide Concentrate // Proceedings of the National Academy of Sciences and State Engineering University of Armenia. Series of TS.- 2009.- T. LXII, N 4.- P. 394-401.
2. **Sargsyan L.Ye., Moatasem M.KH.** Mineralogy Particularities of Gold-Bearing Sulphidic Polymetallic Ores // Proceedings of the National Academy of Sciences and State Engineering University of Armenia. Series of TS.- 2009.- T. LXII, N⁰ 2.- P. 145-149.
3. **Sargsyan L.Ye., Tovmasyan D.L., Moatasem M.KH.** Perfection of Polymetallic Ore Flotation Cycle to Obtain an Effective Concentrate for Recovery of Metals // Proceedings of the National Academy of Sciences and State Engineering University of Armenia. Series of TS.- 2009.- T. LXII, N 3.- P. 295-301.
4. **Marsden J., House I.** The Chemistry of Gold Extraction.- Chichester, England.- Ellis Horwood Limited, 1992.- 597 p.
5. **Jackson E.** Hydrometallurgical Extraction and Reclamation. Chichester: Ellis Horwood Limited, 1986.- 266 p.
6. **Cathro K.J., Koch D.F.A.** The anodic dissolution of gold in cyanide solutions // J. Electrochem. Soc.- 1964.- N⁰ 111.- P. 1416-1420.
7. **Paul R.L., Filmer A.O., Nicol M.J.** The recovery of gold from concentrated aurocyanide electrolytes. Hydrometallurgy – Research, Development, and Plant Practice // Proceedings of 3rd Int. Symp. Hydromet.- Metall. Soc. AIME.- 1982.- P. 689-704.
8. The Extractive Metallurgy of Gold in South Africa / Edited by **G.G. Stanley**.- Johannesburg: South Afr. Inst. of Min. and Metal.- 2001.- V. 1, 2.- 1132 p.

SEUA. The material is received on 17.02.2010.

ՄՈԱՏԱՍԵՄ Մ.Խ.

**ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԻ ՎԵՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ՍՈՐԱԽՑՈՒԿԻ ՑԻԱՆԻԴԱՅԻՆ
ՏԱՐԴԱԼՈՒԾՈՒՄԸ ԵՎ ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՈՒՄԸ ԼՈՒԾՈՒՅԹԻՑ**

Հետազոտվել են Cu/Zn/Pb/Fe սուլֆատացված բովվածքի հիդրոմետալուրգիական վերամշակմամբ պղնձի, ցինկի ու կապարի հեռացումից հետո մնացած ոսկետար սորախցուկի ցիանիդային տարրալուծման և ստացված լուծույթից ոսկու և արծաթի էլեկտրակորզման օրինաչափությունները: Հաստատագրվել են այդ գործընթացների լավարկային տեխնոլոգիական ռեժիմները:

Առանցքային բառեր. սորախցուկ, ցիանիդային տարրալուծում, նատրիումի ցիանիդ, պոտենցիալ, անոդային և կաթոդային ռեակցիաներ, էլեկտրակորզում, հոսանքի խտություն, հոսանքի արդյունավետություն:

ՄՕԱՏԱՏԵՄ Մ.Խ.

**ЦИАНИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ КЕКА ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ
РУДЫ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРА**

Исследованы закономерности цианидного выщелачивания золотоносного кека, оставшегося после удаления меди, цинка и свинца, из сульфатизированного Cu/Zn/Pb/Fe огарка при его гидрометаллургической переработке и электроизвлечении из полученного раствора золота и серебра. Установлены оптимальные технологические режимы этих процессов.

Ключевые слова: кек, цианидное выщелачивание, цианид натрия, потенциал, анодные и катодные реакции, электроизвлечение, плотность тока, эффективность по току.

Լ.Վ. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ, Ս.Գ. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Գ.Վ. ՂԱՐԻԲՅԱՆ,
Գ.Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Գ.Հ. ԳԱԼՍՏՅԱՆ

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ
ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՈՐ
ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՆՁՆԵԼՈՒ
ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ**

Ներկայացված է Հայաստանի և ԱՄՆ-ի էներգահամակարգերում վերջին ժամանակաշրջանում տեղի ունեցած համակարգային խոշոր վթարների հետևանքով առաջացած էներգահամակարգերի աշխատանքի կայունության խախտումների նկարագիրը: SIEMENS ֆիրմայի PSSTME-31 ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ Հայաստանի էներգահամակարգի համար մշակվել է հաշվարկային մոդել և կատարվել են անցումային էլեկտրամեխանիկական պրոցեսների հաշվարկներ: Մոդելի ճշտությունը ստուգվել է իրական անցումային ռեժիմների պարամետրերի չափագրումների և դրանց հաշվարկային վերարտադրման արդյունքների համադրության միջոցով: Հետազոտություններով բացահայտվել են Հայաստան-Իրան գործող էլեկտրահաղորդման գծերի թողունակության տիրույթները ստատիկ և դինամիկ կայունության պահանջների կատարման պայմանով և նոր ջերմային էներգաբլոկների շահագործման դեպքում:

Առանցքային բառեր. էլեկտրաէներգետիկա, համակարգ, կայունություն, ստատիկ, դինամիկ, էլեկտրահաղորդում, գիծ, աշխատանք, պարամետր, հզորություն, հաճախություն, լարում, տատանում, ճոճում, կարգավորում, ասինքրոն, էներգաբլոկ:

Էլեկտրաէներգետիկական համակարգի (ԷԷՀ) աշխատանքի կայունության (այսուհետև՝ կայունություն) խախտումը հանգեցնում է ասինքրոն ռեժիմի [1], որի ընթացքում տեղի են ունենում հաճախականության, լարման և հզորության վտանգավոր շեղումներ: Առաջանում է վտանգ թե՛ ԷԷՀ-ի կենսունակության, թե՛ սարքավորումների (հատկապես՝ տուրբինների) անվտանգության համար: Բացի դրանից, կայունության պահպանման անհրաժեշտությունն ստիպում է սահմանափակել ԷԷՀ-ի տնտեսապես արդյունավետ ռեժիմների տիրույթը և առաջացնում է տնտեսական վնաս:

Սինքրոն մեքենայի անցումային պրոցեսի մաթեմատիկական մոդելը, Պարկ-Գորնի ձևափոխության [2] համաձայն, ներկայացվում է հետևյալ I կարգի ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի տեսքով.

$$\begin{cases} (\rho_d + P)U_d + PU_r + (1 + S)U_q = U_s \sin \theta, \\ -(1 + S)U_d + (\rho_q + P)U_q - (1 + S)U_r = -U_s \cos \theta, \\ \mu_d PU_d + (\rho_r + P)U_r = \frac{M_d e_r}{L_r}, \\ P\theta - S = 0, \\ J\omega_s^2 S + \frac{3}{2} \left[\frac{1}{x_q} (U_d + U_r)U_q - \frac{1}{x_d} U_d U_q \right] = \omega_s M_m. \end{cases} \quad (1)$$

որտեղ $\rho_d = \frac{r}{x_d}$, $\rho_q = \frac{r}{x_q}$, $\rho_r = \frac{r}{x_r}$, $x_d = \omega_s L_d$ –ն ՄՄ –ի ստատորի փաթույթների ռեակտիվ դիմադրությունն է d առանցքով, $x_q = \omega_s L_q$ –ն՝ q առանցքով, $x_r = \omega_s L_r$ –ն՝ ռոտորի փաթույթի ռեակտիվ դիմադրությունը, $s = \frac{\omega_r}{\omega_s} - 1$ –ը՝ ՄՄ –ի սահքը, $\mu = \frac{3}{2} \frac{M_d^2}{L_d L_r}$ –ն՝ ստատորի և ռոտորի փաթույթների փոխհնդուկցիայի գործակիցը, J –ն՝ ՄՄ –ի ռոտորի իներցիայի մոմենտը, M_m –ը՝ ռոտորին կիրառված արտաքին մեխանիկական մոմենտը, $P = \frac{d}{\omega_s dt}$, $U_d = x_d i_d$, $U_q = x_q i_q$, $U_r = \omega_s M_d i_r$, ω_s –ը՝ ստատորի փաթույթներին կիրառված էլշու –ների եռաֆազ համակարգի ստեղծած պտտվող մագնիսական դաշտի պտտման անկյունային արագությունը, U_s –ը՝ ստատորի փաթույթներին կիրառված լարման մոդուլը, θ –ն ռոտորի q առանցքի և սինքրոն պտտվող առանցքի կազմած անկյունը, e_r –ը՝ ռոտորի փաթույթին կիրառված հաստատուն էլշու –ն:

(1) համակարգի լուծումը հնարավոր է իրագործել միայն թվային մեթոդներով (Ռունգե–Կուտտա, Ադամս և այլն):

ՀՀ ԷԷՀ –ում 2001–2006 թվականներին տեղի են ունեցել կայունության խախտման և ինքնաճոճման 3–ական դեպք:

Կայունության խախտման դրդապատճառներ են հանդիսացել.

– 2002թ. –ին՝ 110 կՎ ցանցում երկարատև եռաֆազ կարճ միակցումը,

– 2003թ. –ին՝ բարդ եղանակային պայմաններում ԱԷԿ –ից դուրս եկող 220 կՎ էլեկտրահաղորդման երեք գծերի (ԷՀԳ) անջատումը,

– 2006թ. –ին՝ Հայկական ատոմային էլեկտրակայանի (ԱԷԿ) ռեակտորային բլոկի վթարային անջատումը:

ԷԷՀ –ի կայունության խախտման հետևանքով խաթարվել է համակարգի բնականոն աշխատանքը, հաճախականությունը նախ բարձրացել է մինչև 52,6Հց, հետո իջել մինչև 47,5Հց, հաճախականային ավտոմատ բեռնաթափման համակարգի գործունեության արդյունքում սպառողների 50 տոկոսը հոսանքազրկվել է:

2001թ. –ի ապրիլին, մայիսին և 2006թ. –ի հունիսին ՀՀ ԷԷՀ –ում տեղի են ունեցել ինքնաճոճումներ, դրանց պատճառը եղել է Հայկական ԱԷԿ–ի գեներատորների հնացած գրգռման համակարգի անկատարությունը:

Ինքնաճոճման հետևանքով ԷԷՀ –ում առաջացել են երկարատև ճոճումներ, որոնք մարել են միայն 5 թույլե անց: 2003թ.–ին ճոճումներն ընթացել են մեծ ամպլիտուդով և ունեցել են աճող բնույթ, դրանք մարել էին միայն 3 թույլե անց ռելեական պաշտպանության գործողությունից հետո, որն անջատել է 220 կՎ Հայաստան-Իրան ԷՀԳ –ը: Այս ընթացքում վտանգի սպառնալիք է ստեղծված եղել առանձնապես ԱԷԿ –ի տուրբինների համար:

Համեմատության համար նշենք, որ ԱՄՆ –ում 1965–2003 թվականների ընթացքում տեղի է ունեցել կայունության խախտման 8 դեպք, որոնցից ամենածանր հետևանքներ է ունեցել 2003թ. –ի օգոստոսի վթարը, որը համարվում է աշխարհի էներգետիկայի պատմության մեջ ամենամեծ վթարը: Մասնավորապես, մի քանի ժամվա ընթացքում վնասվելու պատճառով հաջորդաբար վթարային անջատվել է 3 բարձրավոլտ օդային ԷՀԳ (ՕԳ), որը հանգեցրել է այլ բարձրավոլտ ՕԳ–երի գերբեռնման և համակարգի առանձին հանգույցներում լարման իջեցման: Գծերի գերբեռնման և լարման իջեցման հետևանքով հեռահար պաշտպանության III գոտու գործունեության հետևանքով 5 թույլե ընթացքում անկանխատեսելիորեն կասկադաձև անջատվել է 17 բարձրավոլտ ՕԳ: Այնուհետև՝ խորը սինքրոն ճոճումների ժամանակ հեռահար պաշտպանության I գոտու գործունեության հետևանքով 1 վրկ –ի ընթացքում, առանց ժամանակի հապաղման, անկանխատեսելիորեն կասկադաձև անջատվել է 5 բարձրավոլտ ՕԳ, քանի որ ԱՄՆ –ում այն կատարում է ոչ միայն կարճ միացումից պաշտպանության ֆունկցիա, այն՝ ասինքրոն ընթացքից: Սկսված ասինքրոն ընթացքը կանխվել է այն սկսվելուց միայն 4 ցիկլ հետո, որը հանգեցրել է բազմաթիվ գեներատորների անջատման՝ որպես հետևանք լարման և հաճախականության վտանգավոր տատանումների: Արտադրվող հզորության մեծ պակասի հետևանքով ԱՄՆ –ի ԷԷՀ –ն բաժանվել է մի քանի մասի: Այս վթարի հասցրած վնասը չափվում է միլիարդավոր դոլարների գումարով:

Էներգահամակարգերի նախագծման և շահագործման ընթացքում կայունության հաշվարկների արդյունքների հիման վրա կատարվում են ԷԷՀ –ի սխեմայի և սարքավորումների ընտրություն, աշխատանքի ռեժիմների պլանավորում, կայունության բարձրացմանն ուղղված միջոցառումների ընտրություն, ռելեական պաշտպանության և կարգավորման համակարգերի պարամետրերի հաշվարկ: Խնդրի հիմնարարությունից բխող ակնհայտ լրջությունը պահանջում է ապահովել կայունության հաշվարկների բարձր ճշտություն:

,Էներգետիկայի գիտահետազոտական ինստիտուտե ,ՓԲԸ–ում կատարվել են ՀՀ ԷԷՀ –ի ստատիկ և դինամիկ կայունության հաշվարկներ SIEMENS ֆիրմայի PSSTME–31 ծրագրով, որը կայունացված և անցումային ռեժիմների հաշվարկի ամենաժամանակակից ծրագրերից է, ունի բարձր ճշտություն և լայն տարածում է գտել աշխարհի շատ երկրներում: Ծրագրով մոդելավորվել են Հայաստանի էներգահամակարգն իր բոլոր կայանների գեներատորներով և դրանց կարգավորիչներով (արագության և գրգռման),

բեռնվածքներով (ըստ լարման և հաճախականության բնութագրերի), հաճախականային ավտոմատ բեռնաթափման համակարգով (ՀԱԲ) և այլն:

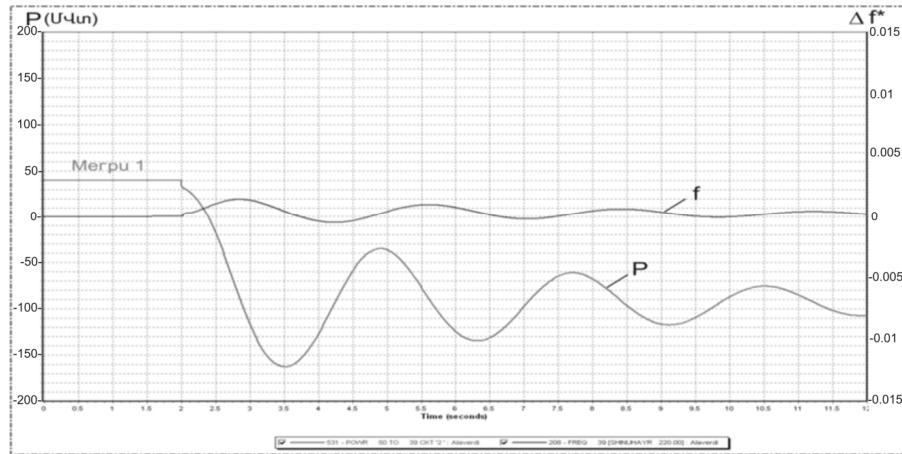
Նկատի ունենալով, որ անցումային պրոցեսների ուսումնասիրման համար ԷԷՀ –ի մոդելավորումը (իր բազմաթիվ պաշտպանության, կարգավորման և ղեկավարման համակարգերով) բարդ խնդիր է, PSS^{TME}–31 ծրագրով իրականացվող հաշվարկների արդյունքների հավաստիությունը ստուգելու համար ԷԷՀ –ի մոդելի վրա կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատվել են ՀՀ –ի ԷԷՀ –ում տեղի ունեցած անցումային պրոցեսների ժամանակ հատուկ չափիչ–գրանցող սարքերի օգնությամբ ֆիքսված ռեժիմային պարամետրերի հետ: Համեմատության արդյունքները ցույց են տալիս հաշվարկային և ֆիքսված մեծությունների համընկնման բարձր ճշտությունը:

Ստորև բերված են Հայաստանի էներգահամակարգում տեղի ունեցած 2 վթարների՝ հաշվարկային և գրանցող սարքերով գրանցված կորերը և դրանց համադրումը:

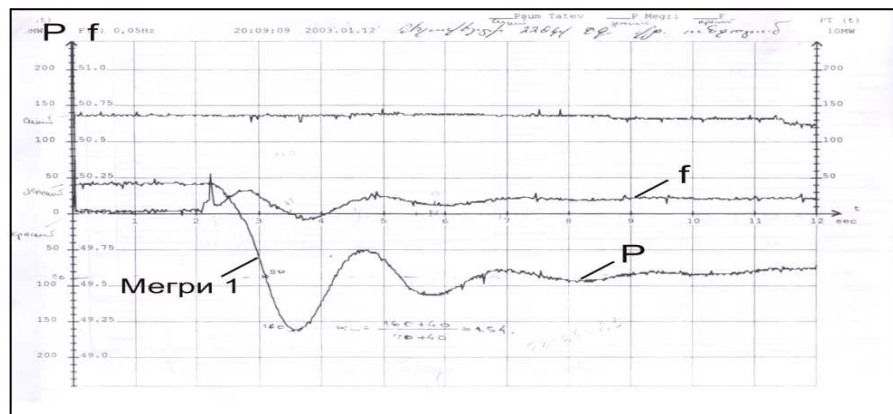
1. Դիտարկվել է ՀՀ ԷԷՀ –ը Վրաստանի ԷԷՀ –ի հետ կապող, Ալավերդի 220 կՎ ԷՀԳ –ի անջատումը, երբ դրանով հաղորդվում էր 140 ՄՎտ հզորություն (12.01.2003թ.): Իրանից հաղորդվող հզորության հոսքը դեպի ՀՀ ԷԷՀ եղել է 47 ՄՎտ: “Ալավերդի” 220 կՎ ԷՀԳ –ն անջատելուց հետո հոսքը Մեղրի 220 կՎ ԷՀԳ –ով փոխել է իր ուղղությունը դեպի Իրան, հզորությունն աճել է մինչև 160 ՄՎտ և հաստատվել է մոտ 90 ՄՎտ –ի շրջակայքում, իսկ հաճախականությունը տատանվել է $50 \pm 0,1$ Հց –ի սահմաններում: Հաշվարկի արդյունքները մեծ ճշտությամբ համընկել են իրական չափված պարամետրերի հետ (նկ.1):

2. Դիտարկվել է Էջմիածին ենթակայանի մոտ 110 կՎ լարման Շահումյան–1 ԷՀԳ –ի վրա 19.04.2002 –ին տեղի ունեցած կարճ միակցումը, որը տևել է 3,2 վրկ:

Լարման իջեցումից Հայկական ԱԷԿ –ում գործել է ռեակտորի 1 –ին կարգի վթարային պաշտպանությունը (A3–1), որը Հայկական ԱԷԿ –ում և Շահումյան–2 ե/կ –ում առաջացրել է բեռնվածքի ավտոմատ անջատում (գործել է բեռնվածքի անջատման հատուկ ավտոմատիկան): Կարճ միակցումը սկսվելուց 1,3 վրկ անց Մեղրի գծով սկսվել է ասինքրոն ընթացք, որի պատճառով ասինքրոն ռեժիմի ավտոմատ վերացման (ԱՌԱՎ) համալիրից անջատվել է Մեղրի ԷՀԳ –ը: Ճոճումների կենտրոնը գտնվել է Եղեգնաձոր ե/կ –ի մոտ: Հաճախականությունը Մարաշ ե/կ –ում բարձրացել է միջինը մոտ 2 Հց –ով, Շինուհայրում այն իջել է մոտ 0,5 Հց –ով: Հաշվարկի արդյունքները մեծ ճշտությամբ համընկել են իրական չափված պարամետրերի հետ (նկ.2):

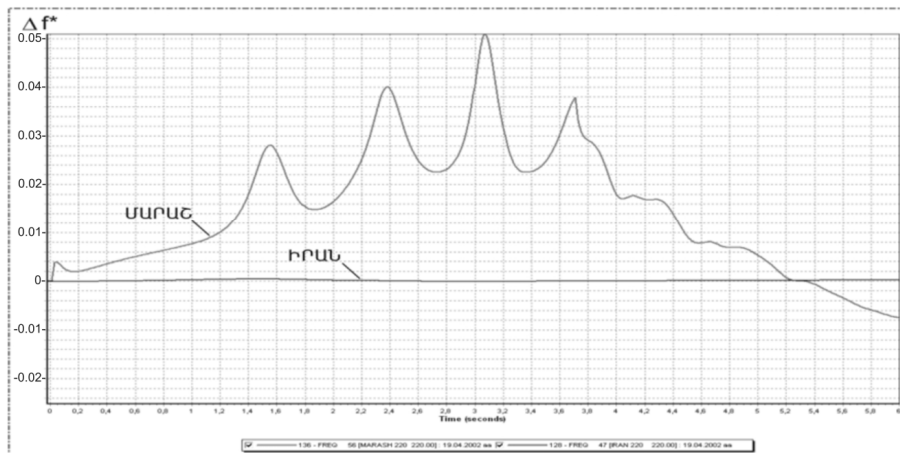


ա)

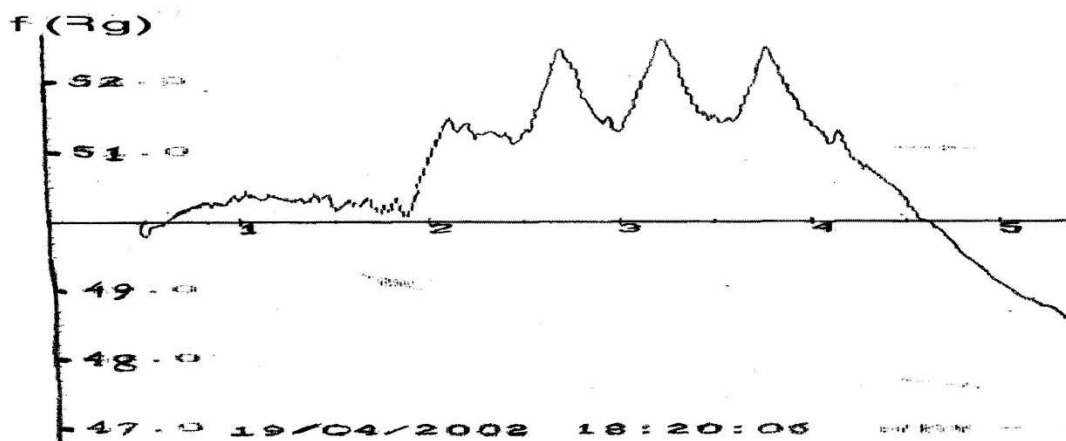


բ)

Նկ.1. Ալավերդի 220 կՎ ՕԳ –ի վթարային անջատումից հետո էներգահամակարգի
հաճախականության և Մեդրի ՕԳ –ով փոխհոսքի փոփոխման կորերը՝ ա)
հաշվարկային, բ) գրառված



ա)



բ)

Նկ.2. Էներգահամակարգում 19.04.2002թ.տեղի ունեցած վթարի ժամանակ հաճախականության փոփոխման կորերը՝ ա) հաշվարկային, բ) գրառված

Մոդելի ճշտությունն ըստ կայունության հաշվարկի տվյալների ստուգելուց հետո կատարվել են ՀՀ ԷԷՀ –ի ստատիկ և դինամիկ կայունության հաշվարկներ՝ մոդելում ներառելով առաջիկայում շահագործման հանձնվող Երևանի և Հրազդանի ցերմաէլեկտրակայանների նոր էներգաբլոկները:

Այդ նոր էներգաբլոկները շահագործման հանձնելուց հետո, ստուգվող հզորությունների հաշվեկշիռներից պարզվում է, որ գարնանը և ամռանը ՀՀ ԷԷՀ –ում առաջանում են համապատասխանաբար՝ 1050 և 700 ՄՎտ ազատ հզորություններ, որոնք կարող են հաղորդվել Իրան: Այդ հզորությունների հաղորդման հնարավորությունը

պարզելու նպատակով կատարվել են Հայաստան-Իրան ԷՀԳ –ի թողունակության հաշվարկներ Հայաստանի միացյալ (Իրանի հետ) համակարգի բնականոն, նորոգման և հետվթարային ռեժիմներում՝ հաշվի առնելով միացյալ համակարգի ստատիկ կայունության և համակարգերը կապող ԷՀԳ –երի ջերմային կայունության ապահովմանն անհրաժեշտ պայմանները:

Բնականոն և նորոգման սխեմաներով աշխատող էներգահամակարգի ստատիկ կայունության ապահովման պահուստի նորմատիվային գործակիցներն ընդունված են ըստ ԷԷՀ –ի դիտարկվող հատվածում փոխհոսքի ակտիվ հզորության՝ ոչ պակաս 0,2 –ից և ըստ նրա հանգույցներում լարման ոչ պակաս 0,15 –ից [3], այսինքն՝

$$K_p = \frac{P_{սահ} - (P + \Delta P_{անկ.տ})}{P_{սահ}} \geq 0,2,$$

$$K_U = \frac{U - U_{կրիտ}}{U} > 0,15,$$

որտեղ $P_{սահ}$ –ը ստատիկ կայունության սահմանային ակտիվ հզորությունն է, որը հաշվարկվում է ԷԷՀ –ի մոդելի վրա ռեժիմի աստիճանաբար ծանրացման եղանակով, P – ն՝ փոխհոսքի ակտիվ հզորությունը տվյալ հատվածում, $\Delta P_{անկ.տ}$ – լարման տատանումների նորմատիվային առավելագույն արժեքը, U –ը՝ տվյալ հանգույցի հաշվարկված լարումը դիտարկվող ռեժիմում, $U_{կրիտ}$ –ը՝ կրիտիկական լարումը, որն ընդունվում է 0,7 Սանվ կամ 0,75 Սանվ մեծության: ԷԷՀ –ի կարճատև (20 րոպեից քիչ) հետվթարային հաստատված ռեժիմում ստատիկ կայունության ապահովման պահուստի նորմատիվային գործակիցներն ըստ փոխհոսքի հզորության ընդունված են 0,08 և 0,1՝ ըստ հանգուցային լարման [3], այսինքն՝

$$K_p = \frac{P_{սահ} - (P + \Delta P_{անկ.տ})}{P_{սահ}} \geq 0,08,$$

$$K_U = \frac{U - U_{IRG}}{U} > 0,1:$$

Վերոհիշյալից հետևում է, որ՝

$$P_{թույլ}^{նորմ} = 0,8P_{սահ} - \Delta P_{անկ.տ},$$

$$P_{թույլ}^{հետ.վթ.} = 0,92P_{սահ} - \Delta P_{անկ.տ} :$$

Նորմատիվային վթարների դեպքում [4] էներգահամակարգի դինամիկ կայունությունը պետք է ապահովվի բնականոն և նորոգման սխեմաներով աշխատանքի ժամանակ:

Ըստ հետազոտությունների՝ ԷԷՀ–ի բնականոն սխեմայի դեպքում Հայաստան–Իրան ԷՀԳ –ով երկարատև (հաշվի առած 20 տոկոս պահուստը՝ ստատիկ կայունության ապահովման պայմանից) էլեկտրաէներգիա հնարավոր է հաղորդել մինչև 430 ՄՎտ հզորությամբ: Կապի գծերից որևէ մեկի նորոգման կամ նրանցից որևէ մեկի վթարային

անջատման դեպքում ստատիկ կայունության սահմանը փոքրանում է: Մասնավորապես նորոգման ռեժիմներում ստատիկ կայունության սահմանը կարող է իջնել մինչև 330 ՄՎտ, իսկ հետվթարային ռեժիմներում՝ մինչև 260 ՄՎտ:

Հաշվարկներով պարզվել է, որ, ելնելով դինամիկ կայունության ապահովման պայմանից, դեպի Իրան հնարավոր է հաղորդել միայն 280 ՄՎտ հզորությամբ էլեկտրաէներգիա, ինչը սահմանափակման ենթակա այլ էլեկտրակայանի բացակայության պայմաններում կստիպի սահմանափակել Երևանի ՋԷԿ –ի և Հրազդանի ՋԷԿ –ի նոր կառուցված էներգաբլոկների օգտագործվող հզորությունը:

Հայաստան–Իրան միջհամակարգային կապով էներգափոխանակման թույլատրելի տիրույթը մեծացնելու նպատակով, որը պայմանավորված է Հայաստանի էներգահամակարգում նոր արտադրող հզորությունների մուտքով, համակարգում գործող ավտոմատիկայի և ռելեական պաշտպանության համակարգերի վերանայման անհրաժեշտություն է առաջանում. անհրաժեշտ է մշակել կայունության խախտման ավտոմատ կանխարգելման (ԿԽԱԿ) նոր համակարգ, որը թույլ կտա մեծացնել կապի թողունակությունը և ջերմակայանների նոր էներգաբլոկների օգտագործվող հզորությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Веников В.А.** Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш.шк., 1985. – 536 с.
2. **Горев А.А.** Переходные процессы синхронной машины. –Л.: Наука, 1985. –502с.
3. Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем МЭ и Э СССР: Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Часть 1.– М.: Союзтехэнерго, 1979. – 184с.
4. **Андерсон П., Фуад А.** Управление энергосистемами и устойчивость / Пер. с англ.; Под ред. Я. Н. Лугинского. – М.: Энергия, 1980. – 568 с.

«Էներգետիկայի ԳՀԻ» ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 13.04.2010:

Л.В. ЕГИАЗАРЯН, С.Г. АКОБЯН, Г.В. КАРИБЯН, Г.С. АРУТЮНЯН,
Г.Г. ГАЛСТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ АРМЯНСКОЙ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВВОДА В
ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ

Представлен обзор нарушений устойчивости работы энергосистем в Армении и в США в последнее время вследствие крупных системных аварий. Для Армянской энергосистемы с использованием программного пакета PSSTME-31 фирмы SIEMENS разработана расчетная модель и произведены расчеты переходных электромеханических процессов. Точность модели проверена путем сопоставления замеров параметров реальных переходных процессов с их расчетными результатами. Определены пределы пропускной способности действующих линий электропередачи Армения–Иран при условии выполнения требований по статической и динамической устойчивости и эксплуатации новых тепловых энергоблоков.

Ключевые слова: электроэнергетика, система, устойчивость, статический, динамический, электропередача, линия, работа, параметр, мощность, частота, напряжение, колебание, качание, регулирование, асинхронный, энергоблок.

L.V. YEGHIAZARYAN, S.G. HAKOBYAN, G.V. GHARIBYAN, G.S.
HARUTYUNYAN, G.H. GALSTYAN

THE ARMENIAN POWER SYSTEM OPERATION STABILITY INVESTIGATION
ACCOUNTING PUTTING NEW POWER SYSTEMS INTO OPERATION

The description of the power systems operation stability failure caused by the system significant emergency states occurred during the last working period in Armenian and USA power systems is performed. With the use of PSSTME-31 software portfolio of Siemens Firm a design model is developed and transient electromechanical process calculations for Armenian power system are performed. The accuracy of the model is checked by comparing real-time transient state parameters and their reproduction calculation results. The Armenia - Iran current power transmission lines permissible limit under the condition of the static and dynamic stability requirements and in case of the new thermal power units' maintenance are defined.

Keywords: power energetics, system, stability, static, dynamic, power transmission, line, operation, parameter, capacity, frequency, voltage, fluctuation, swinging, regulation, asynchronous, power unit.

В.П. АРАКЕЛЯН, Л.А. АКОПЯН

ОЦЕНКА САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 110-220 КВ

Предлагается оценка влияния линий электропередач в санитарно-защитных зонах и за их пределами путем расчета их электрических полей.

Ключевые слова: линия электропередачи, напряженность электрического поля, конструктивные параметры, санитарно-защитная зона.

Использование человеком в возрастающих масштабах электромагнитной энергии привело к тому, что в окружающей среде активно появляется один из видов энергетического загрязнения, а именно - электромагнитный. Значительно увеличилось количество источников и объектов энергоснабжения. Технологии передачи и распределения электрической энергии не связаны с преднамеренным процессом излучения, однако сопровождаются электромагнитным загрязнением окружающей среды [1].

Исследования проводились с учетом важности оценки влияния линий электропередач (ЛЭП) как важнейшей проблемы государственного назначения в ряде стран и сложности методов расчета электрических полей (ЭП) ЛЭП [2,3].

Существующие частные решения проблемы определения влияния ЛЭП путем расчетов их ЭП дают только приближенное представление о влиянии ЛЭП [4,5].

В настоящей работе предлагается оценка влияния ЛЭП в их санитарно-защитных зонах (СЗЗ) и за их пределами, которая позволяет определить:

- реальную распределенность ЭП ЛЭП в СЗЗ и за их пределами, обусловленную наложением ЭП разных проводов ЛЭП;
- конструктивные параметры ЛЭП с точки зрения энергобезопасности;
- влияние ЛЭП с учетом реальной конструкции ЛЭП;
- влияние ЛЭП внутри жилых помещений.

Определение напряженности ЭП ЛЭП производится исходя из рис.1.

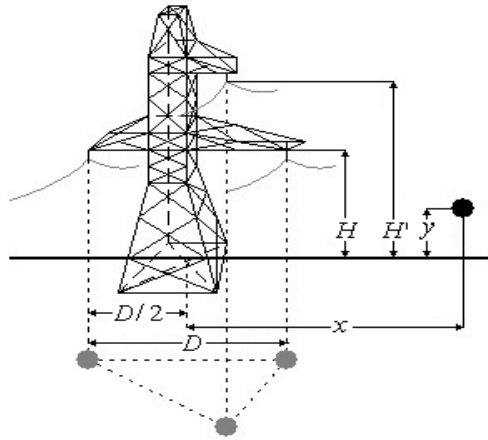


Рис.1. Графическое представление метода зеркальных изображений

На рис.1 представлено графическое пояснение метода зеркальных изображений, где r - радиус провода, D - межфазное расстояние проводов ЛЭП, H - высота подвеса проводов.

Высота подвеса провода фазы в H' определяется в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{D\sqrt{3}}{2} \text{ при расположении проводов ЛЭП на вершинах правильного} \\ \text{треугольника;} \\ 0 \text{ при горизонтальном расположении проводов ЛЭП.} \end{array} \right. \quad (1)$$

С помощью рис.1 определяются собственные и взаимные потенциальные коэффициенты α_{kk} и α_{ik} ЛЭП [6,7]:

$$\alpha_{11} = \alpha_{33} = \ln \frac{2H}{r}, \quad \alpha_{22} = \ln \frac{2(H + H')}{r}; \quad (2)$$

$$\alpha_{12} = \alpha_{21} = \alpha_{23} = \alpha_{32} = \ln \frac{\sqrt{(D/2)^2 + (2H + H')^2}}{D}; \quad (3)$$

$$\alpha_{13} = \alpha_{31} = \ln \frac{\sqrt{D^2 + (2H)^2}}{D}; \quad (4)$$

$$\bar{\alpha}_{11} = (\alpha_{11} + \alpha_{22} + \alpha_{33})/3; \quad (5)$$

$$\bar{\alpha}_{12} = (\alpha_{12} + \alpha_{23} + \alpha_{31})/3. \quad (6)$$

В расчетах для проводов ЛЭП применяется следующая система напряжений:

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{vmatrix} = U_\phi \begin{vmatrix} -1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{vmatrix}. \quad (7)$$

В точке с координатами $(x; y)$, отдаленной от ЛЭП на произвольное расстояние, горизонтальная E_x и вертикальная E_y составляющие ЭП ЛЭП определяются как частные производные потенциала φ данной точки от абсциссы x и ординаты y данной точки:

$$E_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad E_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y}. \quad (8)$$

После соответствующих математических преобразований E_x и E_y можно представить в виде

$$E_x = \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} [-k_{Ax} + (0.5 + j0.87)k_{Bx} + (0.5 - j0.87)k_{Cx}]; \quad (9)$$

$$E_y = \frac{U_\phi}{\alpha_{11} - \alpha_{12}} [-k_{Ay} + (0.5 + j0.87)k_{By} + (0.5 - j0.87)k_{Cy}], \quad (10)$$

где коэффициенты $k_{Ax}, k_{Bx}, k_{Cx}, k_{Ay}, k_{By}, k_{Cy}$ определяются в зависимости от конструктивных параметров ЛЭП и координат рассматриваемой точки:

$$\begin{cases} k_{Ax} = \frac{x + D/2}{(H + y)^2 + (x + D/2)^2} + \frac{x + D/2}{(H - y)^2 + (x + D/2)^2}, \\ k_{Bx} = \frac{x}{(H + H' + y)^2 + x^2} + \frac{x}{(H + H' - y)^2 + x^2}, \\ k_{Cx} = \frac{x - D/2}{(H + y)^2 + (x - D/2)^2} + \frac{x - D/2}{(H - y)^2 + (x - D/2)^2}; \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} k_{Ay} = \frac{H+y}{(H+y)^2 + (x+D/2)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (x+D/2)^2}, \\ k_{By} = \frac{H+H'+y}{(H+H'+y)^2 + x^2} + \frac{H+H'-y}{(H+H'-y)^2 + x^2}, \\ k_{Cy} = \frac{H+y}{(H+y)^2 + (x-D/2)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (x-D/2)^2}. \end{cases} \quad (12)$$

Результирующая напряженность ЭП ЛЭП в рассматриваемой точке определяется в виде

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}. \quad (13)$$

С помощью выражения (13) оценивается влияние ЛЭП в свободном пространстве определением модуля напряженности ЭП ЛЭП.

На основе рассчитанных значений, а также допустимых нормативных значений напряженностей ЭП ЛЭП в населенных пунктах и жилых зданиях оценивается влияние ЛЭП внутри помещения [8].

Ослабляющее воздействие стандартных строительных блоков определяется в виде

$$k_{\text{ослб}} = 20 \lg \frac{E_0}{E_1}, \quad (14)$$

где E_0 - нормативное значение ЭП в населенном пункте; E_1 - нормативное значение ЭП внутри помещения. Значение коэффициента ослабления составляет около 20 дБл. Это означает, что напряженность ЭП ЛЭП внутри помещения ослабляется приблизительно в 10 раз по сравнению со своим значением в свободном пространстве.

Исследования проводились для ЛЭП 220 кВ "Арег", отходящей от подстанции "Арагат-2". Исходные данные ЛЭП приведены в таблице. На рис. 2 и 3 приведены распределенности напряженностей ЛЭП 220 кВ с расположением проводов на вершинах правильного треугольника и с горизонтальным расположением.

Таблица

Исходные данные ЛЭП

Напряжение, кВ	Марка	r , мм	D , м	H , м
220	АС-400/51	13.75	7	8

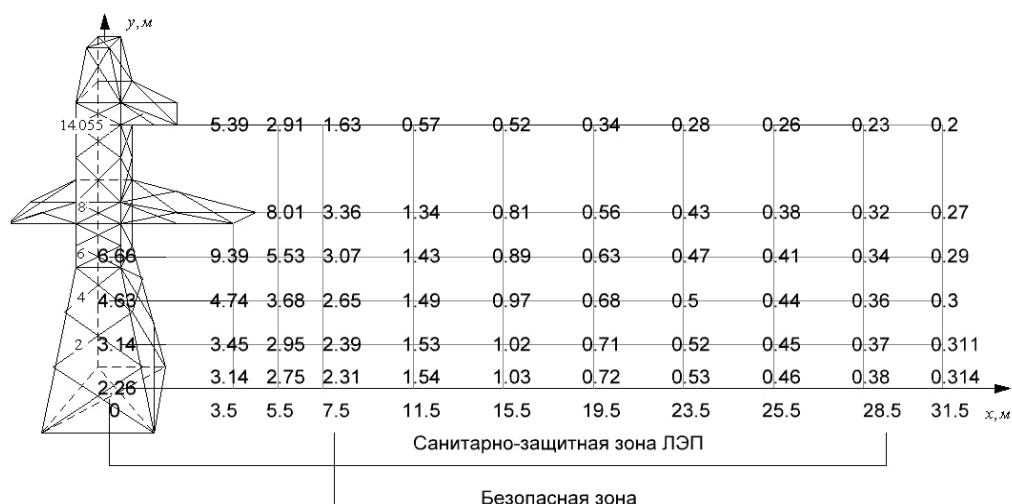


Рис.2. Распределенность напряженности ЛЭП 220 кВ с расположением проводов на вершинах правильного треугольника

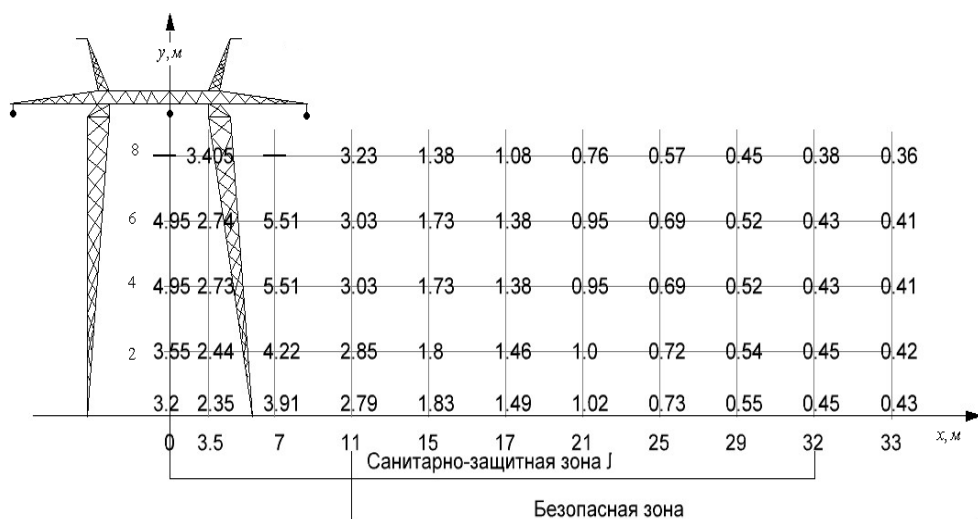


Рис.3. Распределенность напряженности ЛЭП 220 кВ с горизонтальным расположением проводов

Выводы

Предлагаемая методика определения влияния ЛЭП в СЗЗ и за ее пределами:

- позволяет оценить энергобезопасность обслуживающего персонала в СЗЗ ЛЭП;
- показывает целесообразность расположения фазных проводов на вершинах правильного треугольника по сравнению с горизонтальным расположением в качестве мероприятия по снижению вредного воздействия ЛЭП;
- рассматривает возможность построения жилых и общественных зданий в пределах ЛЭП;

приемлема как для местных питающих линий 110...220 кВ, так и для межсистемных ЛЭП напряжением 220 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Довбыш В.Н., Маслов М.Ю., Сарокваша О.Ю.** Экологический мониторинг состава почвы в зоне размещения высоковольтной ЛЭП // Вестник СамГУ. – 2006. - №4. - С.172-182.
2. **Крюков А.В., Закарюкин В.П., Иванов А.Н.** Моделирование электромагнитных полей, создаваемых многопроводными линиями электропередачи // Проблемы энергетики. – 2007. – № 4. - С. 37-43.
3. **Закарюкин В.П., Крюков А.В., Иванов А.Н.** Моделирование электромагнитных полей, создаваемых линиями электропередачи новых типов // Труды XI Байкальской российской конференции “Информационные и математические технологии в научных исследованиях”. Часть I. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2006. – С. 35-39.
4. **Маслеева О.В., Курагина Т.И.** Электрическое поле и шум, создаваемые воздушными линиями электропередач высокого напряжения: Методические указания по выполнению практических работ по курсу “Экология”. - Н.Новгород, 2005.- 9 с.
5. **Бессонов В.А.** Электромагнитная совместимость.- Хабаровск: Изд-во Дальневосточного государственного университета путей сообщения, 2000. – 110 с.
6. **Бессонов Л.А.** Теоретические основы электротехники.- М.: Высшая школа, 1973.-752 с.
7. СанПин 2971-84. "Защита населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты". - 1984.- 5 с.

ГИУА(П). Материал поступил в редакцию 14.01.2010.

Վ.Պ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Լ.Ա. ՀԱԿՈԲՅԱՆ

110-220 ԿՎ ԷԼԵԿՏՐԱԶԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԵՐԻ ՍԱՆԻՏԱՐԱՊԱՇՏՊԱՆԱԿԱՆ ԳՈՏԻՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

Առաջարկվում է էլեկտրահաղորդման գծերի ազդեցության գնահատում սանիտարապաշտպանական գոտիներում և դրանց սահմաններից դուրս՝ դրանց էլեկտրական դաշտերի հաշվարկմամբ:

Առանցքային բառեր. էլեկտրահաղորդման գիծ, էլեկտրական դաշտի լարվածություն, կառուցվածքային պարամետրեր, սանիտարապաշտպանական գոտի:

V.P. ARAKELYAN, L.A. HAKOBYAN

EVALUATION OF SANITARY-PROTECTIVE 110-220 KV ELECTRIC TRANSMISSION LINE ZONES

The evaluation of electric transmission line influence in sanitary-protective zones and their electric field calculation is proposed.

Keywords: electric transmission line, electric field voltage, constructive parameters, sanitary-protective zone.

Акопян

ՆԱ. ՇԱՂԳԱՄՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԻՉ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉ

Առաջարկվում է դիմադրության ջերմակերպափոխիչներով (առանց զույգ ընտրության) ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի սխեման, և վերջինիս պարամետրերի ու ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխալների հաշվարկի բանաձևերը: Նկարագրված է սխեմայի կարգաբերման մեթոդը:

Առանցքային բառեր. ջերմաստիճանների տարբերություն, գումարող ուժեղարար, ջերմային էներգիայի հաշվիչ:

Ջրային ջերմամատակարարման համակարգերում ջերմային էներգիայի ծախսի չափման համար չափվում են տաք ու սառը խողովակներով անցնող ջրի ջերմաստիճանները զույգ ընտրված դիմադրության ջերմակերպափոխիչների (ԴՋ-ների) միջոցով և որոշվում է ջերմաստիճանների տարբերությունը, ինչը որոշակի դժվարություններ է առաջացնում ինչպես զույգերի ընտրության, այնպես էլ շահագործման պայմաններում: Անհրաժեշտ է, որ ԴՋ-ների բացարձակ սխալներն աշխատանքային պայմաններում լինեն նույն նշանով և մոտավորապես իրար հավասար, իսկ պարբերական ստուգաչափումներից հետո դրանք տեղադրվեն նույն տեղերում [1,2]:

Ջերմային էներգիայի հաշվիչի սխեմայի պարզեցման համար նպատակահարմար է անմիջականորեն չափել ջերմաստիճանների տարբերությունն այնպես, որ հնարավոր լինի նաև զգալիորեն մեղմացնել վերը նշված պահանջները: Այդ, ինչպես նաև բարձր ճշգրտություն ապահովելու նպատակով, առաջարկվում է հաջորդաբար միացնել ԴՋ-ները և դրանց միջով անցկացնել I_0 հոսանք (կայունացված հոսանքի աղբյուրից, ՀԱ), իսկ ԴՋ-ների վրա լարման անկումներն ուժեղացնել գումարող ուժեղարարով: Ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի սխեման բերված է նկ.1-ում: Այս սխեմայում ԴՋ-ները միացված են երեք հաղորդալարային սխեմաներով, ընդ որում երրորդ գծերի (հաղորդալարերի) դիմադրությունները պետք է լինեն իրար հավասար ($R_{q1}=R_{q2}$), իսկ հաղորդալարերը պետք է միացվեն սխեմայի ընդհանուր կետին: Գումարող ուժեղարարի ելքային ազդանշանը կստացվի՝

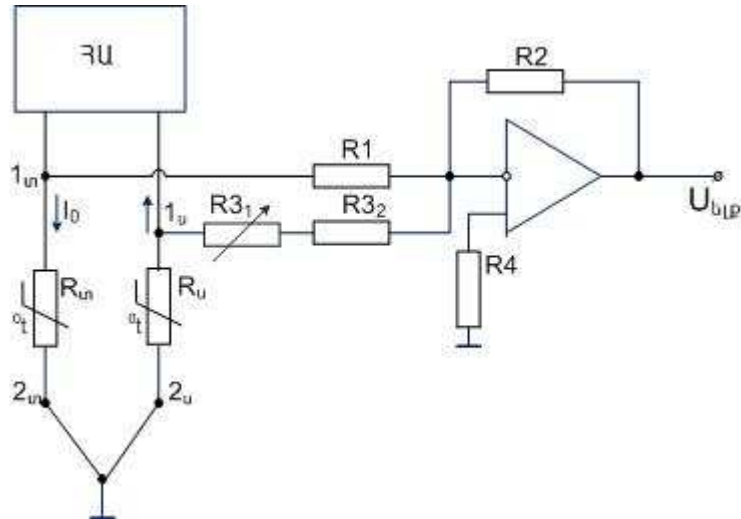
$$U_{ելք} = \frac{R_2}{R_1} I_0 (R_u + R_{q1}) - \frac{R_2}{R_3} I_0 (R_u + R_{q2}),$$

որտեղ R_{q1} , R_{q2} -ը միացման երրորդ հաղորդալարերի դիմադրություններն են, I_0 -ն՝ ԴՋ-ներով անցնող հոսանքը, R_u -ն և R_u -ն տաք և սառը խողովակներում տեղադրված ԴՋ-ների դիմադրություններն են:

Եթե ընտրենք միևնույն սկզբնական ($t=0$ °C) դիմադրությամբ ($R_{0u}=R_{0u}=R_0$) և ստատիկ բնութագրով ԴՋ-ներ և $R_1=R_3=R$, կստանանք՝

$$U_{ելք} = \frac{R_2}{R} I_0 (R_u - R_u) = \frac{R_2 I_0 R_0}{R} (W_{tu} - W_{tu}) = K_t (W_{tu} - W_{tu}) = K_t \Delta W_t, \quad (1)$$

որտեղ $K_t = I_0 R_0 R_2 / R$, $\Delta W_t = W_{t_u} - W_{t_u}$, W_t -ն ԴՋ-ի ջերմաստիճանային գործակիցն է (ГОСТ 6651-94 [3]) տաք (W_{t_u}) և սառը (W_{t_u}) խողովակներում տեղադրված ԴՋ-ների համար:



Նկ.1. Ջերմաստիճանների տարբերության չափման սխեման

Պլատինե ԴՋ-ի ջերմաստիճանային գործակիցը 0-ից մինչև 600 °C տիրույթում արտահայտվում է հետևյալ մոտարկման բանաձևով [3]՝

$$W_t = 1 + At + Bt^2,$$

որտեղ $A=3,9692 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, $B=-5,8290 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$ ($W_{100}=1,3910$ դեպքում):

Հետևաբար կստանանք՝

$$\Delta W_t = A(t_u - t_u) + B(t_u^2 - t_u^2) = A[1 - 1,4686 \cdot 10^{-4}(2t_u - \Delta t)]\Delta t, \quad (2)$$

որտեղ $\Delta t = t_u - t_u$:

Աղյուսակ 1

$t_u, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\Delta t, \text{ } ^\circ\text{C}$							
	1	5	10	20	35	55	75	95
40	0,0039	0,0196	0,0393	0,0787	0,1380	-	-	-
60	0,0039	0,0195	0,0391	0,0782	0,1372	0,2162	-	-
80	0,0039	0,0194	0,0388	0,0778	0,1364	0,2149	0,2940	-
100	0,0039	0,0193	0,0386	0,0773	0,1356	0,2137	0,2922	0,3713

Աղ.1-ում բերված են (W_t -ի արժեքները տաք և սառը խողովակների տարբեր t_u և t_u ջերմաստիճանների դեպքում ($\Delta t = t_u - t_u$): Աղ.1-ից հետևում է, որ երբ $t_u \leq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$, բավականին բարձր ճշգրտությամբ կարելի է ընդունել՝

$$\Delta t = \frac{\Delta W_t}{0,003891} = K_1 \Delta W_t = 257 \Delta W_t, \quad K_1 = 257: \quad (3)$$

Ըստ ГОСТ Р 51649-2000-ի [4]՝ ջերմային էներգիայի հաշվիչներում մեծ մասամբ ընտրվում է $40^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{in}} \leq 100^{\circ}\text{C}$), իսկ $1 \leq t \leq 10^{\circ}\text{C}$ (ամենափոքր արժեքը) և $\Delta t \leq (t_{\text{in}} - 5)^{\circ}\text{C}$ (ամենամեծ արժեքը) :

Աղ.2-ում բերված են (2) և (3) բանաձևերով հաշվված (t-ի արժեքները, որտեղից հետևում է, որ չափելով ΔW_t -ն, կարելի է բարձր ճշգրտությամբ որոշել (t-ն տաք ջրի $40 \leq t_{\text{in}} \leq 100^{\circ}\text{C}$ ջերմաստիճանային տիրույթում:

Աղյուսակ 2

$t_{\text{in}}, ^{\circ}\text{C}$	$\Delta t, ^{\circ}\text{C} (K_1=257)$							
	1	5	10	20	35	55	75	95
40	1,008	5,044	10,096	20,222	35,467	-	-	-
60	1,002	5,014	10,036	20,102	35,257	55,569	-	-
80	0,996	4,984	9,976	19,982	35,048	55,239	75,551	-
100	0,990	4,954	9,916	19,862	34,838	54,910	75,102	95,414

Եթե ԴՋ-ներն ընտրված են միևնույն ճշգրտության դասով և նույն նշանի սխալով, ապա էլքային լարումը կարելի է ներկայացնել

$$U_{\text{էլք}} = \frac{R_2}{R_1} I_0 (R_{0\text{in}} W_{\text{tin}} - R_{0\text{u}} W_{\text{tu}}) = a [(R_{0\text{in}} + \Delta R_{0\text{in}}) W_{\text{tin}} - (R_{0\text{u}} + \Delta R_{0\text{u}}) W_{\text{tu}}] =$$

$$= a R_0 \left[(W_{\text{tin}} - W_{\text{tu}}) + \frac{\Delta R}{R_0} (W_{\text{tin}} - \alpha_R W_{\text{tu}}) \right]$$

տեսքով, որտեղից՝

$$U_{\text{էլք}} = a R_0 \Delta W_t (1 + \beta), \quad (4)$$

որտեղ $R_{0\text{in}}$ -ը և $R_{0\text{u}}$ -ը ԴՋ-ների անվանական դիմադրություններն են 0°C -ում և $R_{0\text{in}} = R_{0\text{u}} = R_0$, $\Delta R = \Delta R_{0\text{in}} = b R_0$, $\Delta R_{0\text{u}} = \alpha_R \Delta R$ (որտեղ $\alpha_R \leq 1$), b-ն որոշվում է ԴՋ-ի ճշգրտության դասով (A դասի համար $b=0,0005$, B-ի համար՝ $b=0,001$ [3]),

$$\alpha = I_0 R_2 / R_1,$$

$$\beta = b \cdot (W_{\text{tin}} - \alpha_R W_{\text{tu}}) / \Delta W_t = b \lambda,$$

$$\lambda = 1 + W_{\text{tu}} (1 - \alpha_R) / \Delta W_t = 1 + (W_{\text{tin}} / \Delta W_t - 1) (1 - \alpha_R):$$

Աղյուսակ 3

t_{in}	W_{tin}	$\Delta t, ^{\circ}\text{C}$							
		1	5	10	20	35	55	75	95
40	1,1578	30,687	6,907	3,946	2,471	1,839			
60	1,2321	32,592	7,318	4,151	2,576	1,898	1,570		
80	1,3138	34,687	7,772	4,386	2,689	1,963	1,611	1,477	
100	1,3911	36,669	8,208	4,604	2,800	2,026	1,651	1,476	1,375

t_{un}	W_{tun}	$\Delta t, ^\circ C$							
		1	5	10	20	35	55	75	95
40	1,1578	60,374	12,814	6,892	3,942	2,678			
60	1,2321	64,185	13,637	7,302	4,151	2,796	2,159		
80	1,3138	68,374	14,544	7,772	4,377	2,926	2,223	1,894	
100	1,3911	72,338	15,416	8,208	4,599	3,052	2,302	1,952	1,749

Աղ.3-ում և 4-ում բերված են λ -ի հաշվարկային արժեքները տարբեր t_{un} -ի, Δt -ի դեպքում, համապատասխանաբար $\alpha_R=0,9$ ու $\alpha_R=0,8$ համար: Լավագույն դեպքում Δt -ի չափման սխալը կորոշվի ԴՋ-ների ճշգրտության դասով (b գործակցով), եթե $\Delta R_{oun} = \Delta R_{ou}$ (երբ $\alpha_R=1$):

Աղ.3-ից և 4-ից ու բանաձև (4)-ից հետևում է, որ ընդհանուր դեպքում անհրաժեշտ է օգտագործել միայն A ճշգրտության դասի ԴՋ-ներ, որոնց սխալները նույն նշանով են և միմյանցից տարբերվում են մինչև 20 % ($\alpha_R=0,80$): Հակառակ դեպքում սխալի սահմանային արժեքները կարող են զգալիորեն մեծանալ (t -ի փոքր արժեքների համար: Եթե $\Delta t > 20 ^\circ C$, ապա կարելի է օգտագործել նաև B ճշգրտության դասի ԴՋ-ներ:

Բարձր ճշգրտություն ապահովելու նպատակով ուժեղարարում անհրաժեշտ է օգտագործել փոքր զրոյի շեղման լարումով ինտեգրալային գործողային ուժեղարարներ (ԳՈԻ-K140YД17A, K140YД26A, K140YД27A, OP07 տիպի) և C2-29B տիպի ճշգրիտ ռեգիստրներ: Սխեման կարգաբերելու համար R3-ի շղթայում պետք է մտցնել СП3-39, СП-2B կամ փոքր ջերմաստիճանային գործակցով այլ տիպի կարգաբերող ռեգիստր (R3i) ու կարգաբերումը կատարել երկու ԴՋ-ները միևնույն կայուն ջերմաստիճանում (օրինակ՝ $25 ^\circ C$ $30 ^\circ C$ կամ $40 ^\circ C$) տեղադրելով:

Եթե $t_{un} < 100 ^\circ C$, ապա նպատակահարմար է ընդունել՝ $U_{tLP}=0,1\Delta t$: Հետևաբար (1) և (4) բանաձևերից կստանանք (եթե $t_{un} < 100 ^\circ C$)՝

$$U_{tLP} = 0,003891 K_t \Delta t \quad \text{և} \quad 0,003891 K_t = 0,1 \text{ } ^\circ C, \quad (5)$$

որտեղից՝

$$K_t = \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} = 25,7 \text{ } ^\circ C: \quad (6)$$

Եթե $R_0=100 \text{ Ohm}$, $I_0=2 \text{ mA}$, ապա $R_2/R_1=128,5$:

Ընդհանուր դեպքում ընտրված նույն ճշգրտության դասով ԴՋ-ները կարող են միմյանցից տարբերվել ինչպես R_0 -ով, այնպես էլ W_t -ով, հետևաբար կարելի է ընդունել, որ

$$R_{0un} = R_0(1+b), \quad R_{0u} = R_0(1+\alpha_R b) \quad \text{և} \\ W_{tun} = W_{t0}(1+\alpha_{W_t}), \quad W_{tu} = W_{u0}(1+\alpha_{W_u}), \quad -1 \leq \alpha_R \leq 1, \quad (7)$$

որտեղ b -ի և α_W -ի սահմանային արժեքները կախված են ԴՋ-ների ճշգրտության դասից, W_{t0} -ն և W_{u0} -ն տաք և սառը խողովակներում տեղադրված ԴՋ-ների ջերմաստիճանային գործակիցների անվանական (ստանդարտ) արժեքներն են:

Հետևաբար, ուժեղարարի ելքային լարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$U_{tLP} = \frac{R_2}{R_1} I_0 R_0 W_{t0} (1+b) (1+\alpha_{W_t}) - \frac{R_2}{R_3} I_0 R_0 W_{u0} (1+\alpha_R b) (1+\alpha_{W_u}): \quad (8)$$

Եթե սխեման կարգաբերվի ԴՋ-ների միևնույն որոշակի ջերմաստիճանում ($W_{t0}=W_{u0}=W_t$) և R3-ի փոփոխումով ստացվի $U_{tLP}=0$, ապա կստանանք՝

$$R_3 = R_1(1 + \alpha_R b)(1 + \alpha_{W_u}) / (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}}) : \quad (9)$$

Հետևաբար ելքային լարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով.

$$U_{ելք} = \frac{R_2 I_0 R_0}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}})(W_{t0} - W_{u0}) = \frac{R_2 I_0 R_0}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}}) \Delta W_{t0}, \quad (10)$$

որտեղ $\Delta W_{t0} = W_{t0} - W_{u0}$:

Այնուհետև անհրաժեշտ է R_3 -ի ճյուղն անջատել սառը ԴՋ-ից ու միացնել դրա ներքևի (2) սեղմակին, ճշգրիտ չափել տաք ԴՋ-ի ջերմաստիճանը (t_{t0}) և այնպես կարգաբերել R_2 -ը կամ I_0 -ն, որ ելքում ստացվի տվյալ ջերմաստիճանին համապատասխան լարում: Այդ դեպքում կարելի է ընդունել, որ ԴՋ-ների ներքևի սեղմակները (2) միացնող հաղորդալարերի դիմադրությունները փոքր են՝ $R_{q1} = R_{q2} = R_q < 0,005 R_0$, իսկ քանի որ ГОСТ 6651-94-ի [3] համաձայն $\alpha_w < 0,0005/1,391$, ապա վատագույն դեպքում ($\alpha_{w_{in}} = 0,0004$, $\alpha_{w_u} = -0,0004$, $\alpha_R = -1$, $b = 0,001$) կստանանք՝

$$\begin{aligned} U_{ելք t_{t0}} &= \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{W_{in}}) W_{t0} + \frac{I_0 R_{q1} R_2}{R_1} - \frac{I_0 R_{q2} R_2}{R_3} = \\ &= \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{w_{in}}) W_{t0} \left[1 - 0,0028 \frac{R_q}{R_0 (1 + b)(1 + \alpha_{w_{in}}) W_{t0}} \right] \quad (11) \end{aligned}$$

որտեղ W_{t0} -ը տվյալ t_{t0} ջերմաստիճանին համապատասխան W_t -ի ստանդարտ արժեքն է [3]:

Քանի որ $R_q < 0,005 R_0$, ապա գործնականում կարելի է անտեսել փակագծերի միջի երկրորդ անդամը, հետևաբար կստանանք՝

$$U_{ելք t_{t0}} = \frac{I_0 R_0 R_2}{R_1} (1 + b)(1 + \alpha_{w_{in}}) W_{t0} : \quad (12)$$

Ստացված (12) արտահայտությունը տեղադրելով (10) բանաձևի մեջ՝ կստանանք՝

$$U_{ելք} = \frac{U_{ելք t_{t0}}}{W_{t0}} \Delta W_{t0} : \quad (13)$$

Կատարելով նշված կարգաբերումները և ունենալով $U_{ելք t_{t0}}$ -ի ու W_{t0} -ի արժեքները՝ հետագայում կարելի է օգտվել (13) բանաձևից:

Հետևաբար ԴՋ-ների ընտրությանը կարելի է ներկայացնել ավելի մեղմ պահանջներ (ընտրել ԴՋ-ներ նույն ճշգրտության դասով և R_0 -ի, W_{100} -ի նույն անվանական արժեքներով) և դրանք փոխելիս կատարել համապատասխան կարգաբերում, որը թույլ կտա զգալիորեն էժանացնել չափիչ սարքավորման պատրաստման և շահագործման ծախսերը: Քանի որ 40°C -ից մինչև 100°C տիրույթում ԴՋ-ի դիմադրության փոփոխությունը $50\text{ }^\circ\text{C}$ -ից փոքր կլինի ($R_0 = 100\text{ }^\circ\text{C}$, $W_{100} = 1,391$ դեպքում), ապա R_1 -ը պետք է ընտրել այնպես, որ ուժեղացման գործակցի փոփոխությունը լինի շատ քիչ ($0,1\%$ -ից փոքր), հետևաբար՝

$$50/R_1 < 10^{-3},$$

որտեղից կստանանք՝ $R_1 \geq 50\text{ }^\circ\text{C}$:

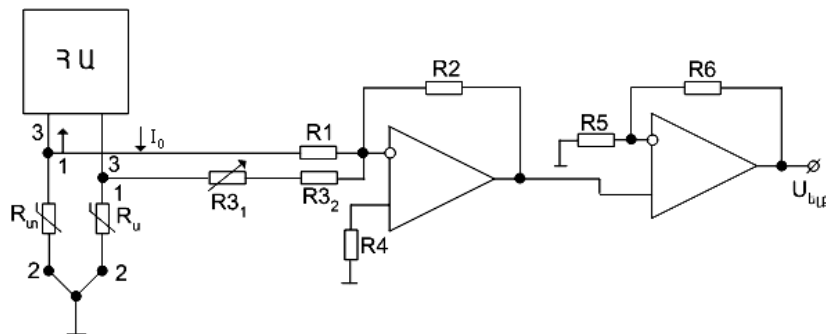
Նկատի ունենալով, որ ԳՈՒ-ների հետադարձ կապի շղթայում նպատակահարմար է միացնել $R_2 \leq 10^6\text{ }^\circ\text{C}$ դիմադրությամբ ռեզիստոր, մեկ ԳՈՒ-ով կարելի է ապահովել $R_2/R_1 \leq 20$ արժեք: Հետևաբար անհրաժեշտ է օգտագործել ևս մեկ ուժեղացման կասկադ

(նկ.2) և K_t գործակցի արժեքը կարգաբերել երկրորդ ուժեղարարի հետադարձ կապի R_5 կամ R_6 ռեզիստորների միջոցով՝

$$U_{\text{էլք}} = \frac{U_{\text{էլքտ1}} R_6}{W_{\text{տ1}} R_5} \Delta W_{\text{տ0}} = 0,1 \Delta t, \text{ որտեղից՝ } \frac{R_6}{R_5} = 0,1 W_{\text{տ1}} K_1 / U_{\text{էլքտ1}} :$$

Ճշգրտության A դասով ջերմային էներգիայի հաշվիչներին համապատասխանում են b -ի և α_w -ի առավելագույն արժեքները, որոնք փոքր են 0,001-ից, հետևաբար կարգաբերող R_{31} և R_{32} ռեզիստորների դիմադրությունները նպատակահարմար է ընտրել հետևյալ կերպ՝

$$R_{31} \approx 0,01 R_1, \text{ իսկ } R_{32} \approx 0,99 R_1 :$$



Նկ.2. Ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի սխեման

Առաջարկված սխեմայով ջերմաստիճանների տարբերության չափիչ կերպափոխիչի կառուցումը հնարավորություն կտա զգալիորեն մեղմել $\nabla \theta$ -ների ընտրությանը ներկայացվող պահանջները և նվազեցնել չափիչ սարքավորման պատրաստման ու շահագործման ծախսերը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Кузник И.В., Тиунов Ю.М., Брюханов В.А.** Метрологические проблемы измерений тепловой энергии в открытых системах водяного теплоснабжения // Законодательная и прикладная метрология. - 2000.- №6.- С.19-24.
2. **Тарбеев Ю.В., Новицкий П.В., Мишустин В.И.** Метрологическое обслуживание узлов учета тепловой энергии и теплоносителя // Измерительная техника. – 1998. - №11.- С.54-56.
3. ГОСТ 6651-94. Термопреобразователи сопротивления. ОТТ и методы испытаний.
4. ГОСТ Р 51649-2000.Теплосчетчики для водяных систем теплоснабжения. ОТУ.

ՀՊՃՀ(Պ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.04 2010:

Н.А. ШАХКАМЯН

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР

Предложена схема измерительного преобразователя разности температур для водяных систем теплоснабжения, которая обеспечивает высокую точность преобразования при использовании несогласованных пар термопреобразователей сопротивления. Приведены формулы для расчета параметров схемы и погрешностей измерения. Представлена методика наладки схемы.

Ключевые слова: измерение тепловой энергии, разность температур, суммирующий усилитель.

N.A. SHAGHGAMYAN

MEASURING CONVERTER OF TEMPERATURE DIFFERENCE

A scheme of measuring converter of temperature difference which provides high precision of conversion using unmatched resistance thermoconverter pairs with non-equal nominal resistance (R_0) and temperature coefficient (W_t) tolerances is proposed. The methodology for scheme adjustment is presented.

Keywords: heat energy, measurement, temperature difference, summing amplifier.

G.E. HARUTYUNYAN, D.V. MELKUMYAN

FAULT LOCATION AND DIAGNOSIS ALGORITHM FOR STATIC AND DYNAMIC FAULTS IN SRAMS

A multiphase March algorithm of complexity $74N+C$, where N is the number of memory words, C is a constant, for location and diagnosis of static and dynamic faults in Static Random Access Memories (SRAM) proposed. Previously fault location and diagnosis algorithms were proposed for static faults or dynamic faults only. This algorithm locates the failed bits and diagnoses the fault types within the space of all simple (unlinked) static faults, as well as of a special set of two-operation dynamic faults.

Keywords: static fault, dynamic fault, March test, detection, location, diagnosis.

1. INTRODUCTION. The problems of fault detection, location and diagnosis in SRAMs (see [1]) are of prime importance in connection with the increasing density of embedded memories and their dominating portion in system-on-chips (SoCs). In addition to the previously known static functional fault models (FFMs) [1], new dynamic FFM s based on Inductive Fault Analysis (IFA) (see [2]) were introduced.

In [3], a method of partial diagnosis with further fault location was proposed for the traditional FFM s. In [4], an efficient March-based fault location and full diagnosis algorithm was proposed only for dynamic FFM s in bit-oriented SRAM s.

In the paper, we present a March algorithm of complexity $74N+C$ for location and diagnosis of both static and dynamic faults, where N is the number of memory words, C is the constant. The general algorithm consists of three phases. In phase 1, sequentially 3 March algorithms are applied for fault detection and partial diagnosis: March VLP1, VLP2 and VLP3 of overall complexity $74N$. Phases 2 and 3 are optional and are intended for fault diagnosis and location. In phase 2, a diagnosis / location algorithm of constant complexity $7...325$ is applied. In phase 3, algorithms of complexity $17...181$ should be applied. It should be noted that for some faults not all the three phases are needed.

2. MAIN NOTATIONS. The definition of the fault primitive (FP) concept used to define the static and dynamic faults can be found in [2], [5]. A March algorithm M is a test algorithm with a finite number of March elements $M=\{M_1, M_2, \dots, M_k\}$ where each March element M_i consists of an addressing direction and a finite number of Read/Write operations (see [1]).

For a given memory failure, $\langle S/F/R \rangle$ denotes a FP where S denotes a sensitizing operation sequence, i.e. an operation sequence that results in a difference between the observed and the expected memory behavior. The faulty behavior F is the observed memory behavior that deviates from the expected one, and $R \in \{0, 1, -\}$ is the result of the Read operation of S applied to the faulty cell in case S ends with operation Read. A “-” in R means the output data is not applicable. Table 1 describes all single-cell static FFM s (see [5]). Note

that the symbol “ $\sim$ ” used in Tables 1-5 denotes logical negation, and $x, y, z, t \in \{0, 1\}$. Table 2 describes all two-cell static FFMs.

In [2], a total of 30 two-operation single-cell dynamic FPs were described and compiled into a set of five FFMs (see Table 3). A two-operation 2-cell dynamic FP can be represented as $\langle S_a; S_v/F/R \rangle$ where S_a (respectively, S_v) describes the sequence of operations applied to the aggressor (victim) cell “a” (“v”) or its state. A dynamic FP is sensitized by applying two operations sequentially to the aggressor or victim cell. Depending on the number of operations applied to the a-cell and to the v-cell, and on the order in which they are applied, four types of S can be distinguished:

1. S_{aa} ; the two sequential operations are applied to the a-cell, the v-cell is in a certain state.
2. S_{vv} ; the two sequential operations are applied to the v-cell, the a-cell is in a certain state.
3. S_{av} ; the first operation is applied to the a-cell, followed immediately with a second one to the v-cell.
4. S_{va} ; the first operation is applied to the v-cell, followed immediately with a second one to the a-cell.

We will consider only classes of FPs caused by S_{aa} and S_{vv} since, as noted in [6], it is impossible to test the faults from S_{av} and S_{va} by means of March algorithms, in general. Table 4 describes all FPs caused by S_{aa} . Table 5 describes all FPs caused by S_{vv} .

For a given March algorithm, the corresponding dictionary of fault syndromes is constructed in the following way (see [3]): each row (respectively, column) of the dictionary corresponds to a certain fault class (respectively, a Read operation from the March test). If the March test contains r Read operations, then $\langle s_i(R_0), s_i(R_1), \dots, s_i(R_{r-1}) \rangle$ is the signature of the i^{th} fault named March syndrome, where $s_i(R_k)=0$ (respectively, 1), if the k^{th} Read operation of the March test returns to a fault-free (respectively, faulty) value.

TABLE 1. SINGLE-CELL STATIC FFMS

FFM	Fault primitives
SF	$\langle x/\sim x/- \rangle$
TF	$\langle xW(\sim x)/x/- \rangle$
WDF	$\langle xWx/\sim x/- \rangle$
RDF	$\langle Rx/\sim x/\sim x \rangle$
DRDF	$\langle Rx/\sim x/x \rangle$
IRF	$\langle Rx/x/\sim x \rangle$

TABLE 2. TWO-CELL STAIC FFMS

FFM	Fault primitives
CFst	$\langle x; y/\sim y/- \rangle$
CFds	$\langle Rx; y/\sim y/- \rangle, \langle xWy; z/\sim z/- \rangle$
CFtr	$\langle x; yW(\sim y)/y/- \rangle$
CFwd	$\langle x; yWy/\sim y/- \rangle$
CFrd	$\langle x; Ry/\sim y/\sim y \rangle$
CFdrd	$\langle x; Ry/\sim y/y \rangle$
CFir	$\langle x; Ry/y/\sim y \rangle$

TABLE 3. SINGLE-CELL DYNAMIC
FPs

FF M	Fault primitives
dR DF	$\langle xWyRy/\sim y/\sim y \rangle,$ $\langle xRxRx/\sim x/\sim x \rangle$
dIR F	$\langle xWyRy/y/\sim y \rangle,$ $\langle xRxRx/x/\sim x \rangle$
dD RD F	$\langle xWyRy/\sim y/y \rangle,$ $\langle xRxRx/\sim x/x \rangle$
dTF	$\langle xWyW(\sim y)/y/- \rangle,$ $\langle xRxW(\sim x)/x/- \rangle$
dWDF	$\langle xWyWy/\sim y/- \rangle,$ $\langle xRxWx/\sim x/- \rangle$

TABLE 4. FPs FROM
 S_{AA}

FF M	Fault primitives
dCF ds_{ww}	$\langle xWyWt;$ $z/\sim z/- \rangle$
dCF ds_{wr}	$\langle xWyRy;$ $z/\sim z/- \rangle$
dCF ds_{rw}	$\langle xRxWy;$ $z/\sim z/- \rangle$
dCF ds_{rr}	$\langle xRxRx;$ $z/\sim z/- \rangle$

TABLE 5. FPs FROM S_{VV}

FFM	Fault primitives
dCFrd	$\langle x; yWzRz/\sim z/\sim z \rangle, \langle x;$ $zRzRz/\sim z/\sim z \rangle$
dCFdrd	$\langle x; yWzRz/\sim z/z \rangle, \langle x;$ $zRzRz/\sim z/z \rangle$
dCFir	$\langle x; yWzRz/z/\sim z \rangle, \langle x;$ $zRzRz/z/\sim z \rangle$
dCFtr	$\langle x; yWzW(\sim z)/z/- \rangle, \langle x;$ $zRzW(\sim z)/z/- \rangle$
dCF wd	$\langle x; yWzWz/\sim z/- \rangle, \langle x;$ $zRzWz/\sim z/- \rangle$

3. THE PROPOSED ALGORITHM. The algorithm consists of 3 phases. Phase 1 is for fault detection and partial diagnosis. After this phase all considered faults are detected. Using March syndromes obtained from phase 1 faults are grouped. Two faults are in the same group if their corresponding syndromes are the same. Phases 2 and 3 are for fault diagnosis and location. Note that the algorithm can apply only the first phase or only the first and the second phases for specific fault groups. But there are fault groups that require all three phases. If a syndrome is obtained that is out of our list, the algorithm stops its work with a message “Unknown fault”. It is natural to obtain such “unknown” syndromes, since we do not consider all the space of realistic faults.

Table 6 presents the three March test algorithms that are used in phase 1. These algorithms must be applied sequentially (first March VLP1, then March VLP2, then March VLP 3) and join the obtained March syndromes. The overall complexity of phase 1 is $74N$.

Diagnostic algorithms are listed in Table 7, location algorithms in Table 8. Algorithm LD1 from Table 8 additionally has also diagnosis capability. In Tables 7 and 8, $x, y, z \in \{0, 1\}$, “ W_v ” / “ R_v ” (“ W_A ” / “ R_A ”) means Write / Read operation applied to the victim (aggressor) cell. In these algorithms the aggressor cell (A) is considered that it is physically placed on the left (L), up (U), right (R) or down (D) side of the victim cell. “For each A cell” means apply all W_A and R_A operations sequentially first on cell L, then on cells U, R and D. “ W_L ” means Write operation to the L cell only.

TABLE 6. PHASE 1 ALGORITHMS

Name	Description
March VLP1	$\uparrow(R0, W1, W1, R1, W1, W1); \uparrow(R1, W0, W0, R0, W0, W0);$ $\downarrow(R0, W1, W1, R1, W1, W1); \downarrow(R1, W0, W0, R0, W0, W0); \uparrow(R0).$
March VLP2	$\uparrow(R0, W1, R1, W1, R1, R1); \uparrow(R1, W0, R0, W0, R0, R0);$ $\downarrow(R0, W1, R1, W1, R1, R1); \downarrow(R1, W0, R0, W0, R0, R0);$ $\uparrow(R0).$
March VLP3	$\uparrow(R0, W0, W1, W0, W1); \uparrow(R1, W1, W0, W1, W0, W0);$ $\downarrow(R0, W0, W1, W0, W1); \downarrow(R1, W1, W0, W1, W0);$ $\uparrow(R0).$

TABLE 7. DIAGNOSIS ALGORITHMS

Name	Description	Length
D1(x)	$W_V(\sim x), W_V(x), R_V(x), W_V(\sim x), R_V(\sim x), W_V(x), R_V(x)$	7
D2(x)	$W_V(\sim x), W_V(x), R_V(x), R_V(x), W_V(x), W_V(x), R_V(x), R_V(x), W_V(x), R_V(x), W_L(x), R_V(x)$	12
D3	$W_V(0), W_V(1), W_V(0), R_V(0), W_V(1), W_V(1), W_V(0), R_V(0)$	8
D4	$\{W_V(1)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(0)\}; \{R_V(1), W_V(0), W_V(1), W_V(1), R_V(1), R_V(1), W_V(0),$ $W_V(0), R_V(0), R_V(0), W_V(1), R_V(1), R_V(1), W_V(1), R_V(1), W_V(0), R_V(0), R_V(0), W_V(0), R_V(0)\};$ $\{\text{For each A cell: } W_A(1)\}; \{R_V(0)\};$ $\{\text{For each A cell: } W_A(0)\}; \{R_V(0), W_V(1), W_V(0)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(1)\}; \{R_V(0), W_V(1),$ $W_V(0), W_V(0), R_V(0), R_V(0), W_V(1), W_V(1), R_V(1), R_V(1), W_V(0), R_V(0), R_V(0), W_V(0), R_V(0),$ $W_V(1), R_V(1), R_V(1), W_V(1), R_V(1)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(0)\}; \{R_V(1)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(1)\}; \{R_V(1)\}$	71
D5	$\{W_V(0)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(0)\}; \{W_V(0), W_V(1), R_V(1), W_V(0), W_V(1), R_V(1), W_V(1),$ $W_V(1), R_V(1), R_V(1), R_V(1), W_V(1), W_V(0), R_V(0), W_V(1), W_V(0), R_V(0), W_V(0), W_V(0), R_V(0),$ $R_V(0), R_V(0)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(1)\}; \{W_V(0), W_V(1), R_V(1), W_V(0), W_V(1), R_V(1), W_V(1),$ $W_V(1), R_V(1), R_V(1), R_V(1), W_V(1), W_V(0), R_V(0), W_V(1), W_V(0), R_V(0), W_V(0), W_V(0), R_V(0),$ $R_V(0), R_V(0)\}; \{\text{For each A cell: } W_A(0), W_V(0), W_A(0), W_A(0), R_V(0), W_A(1), W_A(0), R_A(0),$ $R_V(0), W_A(0), W_A(1), R_V(0), W_A(0), W_A(0), R_A(0), R_A(0), R_V(0), W_A(1), W_V(0), W_A(1), W_A(1),$ $R_V(0), W_A(0), W_A(1), R_A(1), R_V(0), W_A(1), W_A(0), R_V(0), W_A(1), W_A(1), R_A(1), R_A(1), R_V(0)\};$ $\{\text{For each A cell: } W_A(0), W_V(1), W_A(0), W_A(0), R_V(1), W_A(1), W_A(0), R_A(0), R_V(1), W_A(0),$ $W_A(1), R_V(1), W_A(0), W_A(0), R_A(0), R_A(0), R_V(1), W_A(1), W_V(1), W_A(1), W_A(1), R_V(1), W_A(0),$ $W_A(1), R_A(1), R_V(1), W_A(1), W_A(0), R_V(1), W_A(1), W_A(1), R_A(1), R_A(1), R_V(1)\}$	325

TABLE 8. LOCATION ALGORITHMS

Description	Length
{For each A cell: $W_A(x)$ }; { $W_V(z)$ }; {For each A cell: $W_A(y)$, $R_A(y)$, $R_V(z)$ }	17
{For each A cell: $W_A(1)$ }; { $W_V(x)$ }; {For each A cell: $W_A(0)$, $W_V(0)$, $R_V(0)$ }	17
{For each A cell: $W_A(0)$ }; { $W_V(0)$ }; {For each A cell: $W_A(0)$, $W_A(1)$, $R_V(0)$ }	17
{For each A cell: $W_A(\sim x)$ }; {For each A cell: $W_A(x)$, $W_V(\sim y)$, $W_V(y)$, $W_V(y)$, $R_V(y)$, $R_V(y)$, $R_V(y)$, $W_V(y)$, $W_V(y)$, $R_V(y)$, $W_V(\sim y)$, $W_V(y)$, $W_V(\sim y)$, $R_V(\sim y)$, $W_V(y)$, $R_V(y)$, $R_V(y)$, $W_V(y)$, $R_V(y)$ }	84
{ $W_V(y)$ }; {For each A cell: $W_A(\sim x)$, $W_A(x)$, $W_A(x)$, $W_A(x)$, $R_A(x)$, $R_A(x)$, $W_A(x)$, $W_A(\sim x)$, $W_A(x)$, $W_A(\sim x)$, $W_A(x)$, $R_A(x)$, $R_V(y)$ }	53
{For each A cell: $W_A(0)$ }; { $W_V(x)$ }; {For each A cell: $W_A(0)$, $W_A(1)$, $R_A(1)$, $R_V(x)$, $W_V(x)$, $W_A(0)$, $W_A(1)$, $R_V(x)$, $W_A(1)$, $W_A(0)$, $R_V(x)$, $W_A(1)$, $W_A(1)$, $R_A(1)$, $R_V(x)$, $W_A(1)$, $R_V(x)$, $W_A(0)$, $W_A(0)$, $R_A(0)$, $R_V(x)$, $W_A(0)$, $W_A(0)$, $R_V(x)$, $R_A(0)$, $R_A(0)$, $W_A(0)$, $R_V(x)$, $R_A(1)$, $W_A(0)$, $R_V(x)$ }	181

The aggressor cell is found in the following way: when operation R_V returns a faulty value at the first time, then the current A-cell (L, U, R, D) is considered as an aggressor cell. The maximum length of the diagnosis/location algorithms is 325 which is a constant number and does not depend on the number of memory cells. Note that the syndromes of phase 2 are constructed only by the results of operations R_V since operation R_A is used only for fault sensitization but not for fault detection.

Due to the limitation of the paper, we do not bring here all the cases describing which algorithm should be used in the next phase for each obtained March syndrome. But for each specific case we will bring an example to explain how the algorithm works. Fault groups obtained after phase 1 can be divided into 5 types:

Type 1. The groups contain only one single-cell fault. For these groups further phases are not needed since they are already located and diagnosed. For example, syndrome (100110011100001111000011110101) corresponds to the FP <0/1/->. Thus if this syndrome is obtained in phase 1, then the FP is diagnosed and located.

Type 2. The groups contain more than one fault but they are only single-cell faults. For these groups only a diagnosis algorithm is needed since the faulty cell is already located. For example, if the syndrome (000000000000001000000010000000) is obtained in phase 1, then either FP <1W0R0/0/1> or FP <1R1W0/1/-> is detected. Since both of them are single-cell faults, then there is no aggressor cell to locate and only diagnosis algorithm should be applied. For this group D1(0) algorithm should be used in phase 2. If the syndrome of D1(0) is (101), then it means that FP <1W0R0/0/1> is diagnosed, if (001), then FP <1R1W0/1/-> is diagnosed.

Type 3. The groups contain only one fault which is a two-cell fault. For these groups only a location algorithm is needed since the fault is already diagnosed. For example, if (1000000101000000000000111010000) syndrome is obtained in phase 1, it means that the FP <1;0/1/-> is detected. For this FP a location algorithm is needed to locate the aggressor cell. For this purpose L1(0,1,0) algorithm should be used in phase 2.

Type 4. The groups contain more than one fault and at least one of them is a two-cell fault. For these faults, location and diagnosis algorithms are needed. For example, if syndrome (0010001000000100000001000000010) is obtained in phase 1, it means that

either FP <0R0;1/0/-> or FP <1R1;1/0/-> is detected. Thus we should diagnose in the next step which FP exactly from these 2 in the memory occurred. Since the group contains at least one coupling fault, then the location of the aggressor cell should be detected as well. Using LD1(1) algorithm we will diagnose the fault as well as the aggressor cell. If the syndrome obtained from algorithm LD1(1) is (001000111111), then FP <0R0;1/0/-> is diagnosed. If the algorithm returns syndrome (100011111111), then FP <1R1;1/0/-> is diagnosed.

Type 5. The groups contain more than one fault and at least one of them is a two-cell fault. This type is the same as Type 4, but for these faults two further phases are needed, one for diagnosis, and the second for location. For example, if syndrome (0010010000000100001110000001000) is obtained in phase 1, it means that either FP <0;1/0/-> or FP <1;1/0/-> is detected. In phase 2, algorithm D4 should be applied. If syndrome (11100111000000000000000010) is obtained in phase 2, it means FP <0;1/0/-> is diagnosed. If syndrome (00000000000000001100011101) is obtained in phase 2, then it means that FP <1;1/0/-> is diagnosed. In phase 2 we diagnosed the fault but not the aggressor cell position. That is why we need one additional phase. In phase 3, algorithm L4(0, 0) should be used if FP <0;1/0/-> is diagnosed in phase 2, and the algorithm L4(1, 0) should be used if FP <1;1/0/-> is diagnosed in phase 2.

4. EXPERIMENTAL RESULTS. For our experiments we have used Virage Logic Yield Accelerator tool that allows to create test patterns that can be applied to the chip in the automatic test equipment (ATE) environment. It can process tester output files providing detection, location and diagnosis of faults.

We injected two coupling faults on a memory of the size 16 rows x 16 columns. The static fault <1W0;0/1/-> was injected in the position (victim cell = (5,1), the aggressor cell = (6,1)). The second injected fault was dynamic fault <0;1R1R1/1/0>. It was injected on the position (victim cell = (2,5), aggressor cell = (2,4)). The expected information was the following:

- Detect FP <1W0;0/1/-> on (5,1), (6,1) position. It belongs to a group of Type 3.
- Detect FP <0;1R1R1/1/0> on positions (2,5), (2,4). It belongs to a group of Type 5.

Then we ran the algorithm and it detected both faults with the following message:

```
Errors were detected:
Memory, Fault, Victim Row, Victim Col, Aggr. Row, Aggr. Col
dpram_lt[1], <1W0;0/1/->, 5, 1, 6, 1
dpram_lt[1], <0;1R1R1/1/0>, 2, 5, 2, 4
```

FP <1W0;0/1/-> was detected and diagnosed in phase 1. For fault location, the algorithm L1(1,0,0) was used in phase 2. We can see that this fault indeed belongs to a group of Type 3. FP <0;1R1R1/1/0> was detected in phase 1, diagnosed in phase 2 and located in phase 3. We can see that this FP belongs to a group of Type 5. This experiment proves the validity and the correctness of the proposed algorithm.

5. CONCLUSIONS. A new algorithm for static and dynamic fault location and diagnosis is presented. The general algorithm consists of three phases. In phase 1 we apply sequentially 3 March algorithms for fault detection and partial diagnosis of overall complexity $74N$, N is the number of memory words. Phases 2 and 3 are optional and are intended for fault diagnosis and location. In phases 2 and 3 diagnosis/location algorithms of constant complexity are applied.

REFERENCES

1. **Van de Goor A.J.** Testing semiconductor memories: Theory and Practice, John Wiley & Sons, 1991.
2. **Hamdioui S., Gaydadjiev G. N., Van de Goor A.J.** A Fault Primitive Based Analysis of Dynamic Memory Faults // IEEE 14th Annual Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing. - Veldhoven, the Netherlands, 2003. - P. 84-89.
3. **Vardanian V.A., Zorian Y.** A March-based Fault Location Algorithm for Static Random Access Memories // In Proc. of IEEE Int. Workshop MTD, 2002. - P. 62-67.
4. **Harutunyan G., Vardanian V.A., Zorian Y.** An Efficient March-Based Three-Phase Fault Location and Full Diagnosis Algorithm for Realistic Two-Operation Dynamic Faults in Random Access // In Proc. of IEEE VLSI Test Symposium.- 2008. - P. 95 – 100.
5. **Hamdioui S., Van de Goor A.J., Rodgers M.** March SS: a test for all static simple faults // Records of IEEE Int. Workshop MTD. – 2002. - P. 95-100.
6. **Harutunyan G., Vardanian V.A., Zorian Y.** Minimal March tests for detection of dynamic faults in random access memories // JETTA. - February 2007. - Vol. 23, N. 1 - P. 55-74.

YSU. The material is received 01.08.2010.

Գ.Է. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Դ.Վ. ՄԵԼՔՈՒՄՅԱՆ

ՍՏԱՏԻԿ ՆԱՆՈՍԵՏՐԱՆՈՅ ՀԻՇՈՂ ՍԱՐՔԵՐՈՒՄ ՍՏԱՏԻԿ ԵՎ ԴԻՆԱՄԻԿ
ԱՆՍԱՐՔՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱՅՆԱՑՄԱՆ ԵՎ ԱԽՏՈՐՈՇՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ

Ներկայացված է բազմափուլանոց $74N+C$ բարդությամբ մարշ ալգորիթմ ստատիկ նանոմետրանոց հիշող սարքերում ստատիկ և դինամիկ անսարքությունների տեղայնացման և ախտորոշման համար, որտեղ N -ը հիշողության բառերի քանակն է իսկ C -ն՝ հաստատուն թիվ: Նախկինում հայտնի անսարքությունների տեղայնացման և ախտորոշման ալգորիթմները եղել են միայն ստատիկ կամ միայն դինամիկ անսարքությունների համար: Այս ալգորիթմը տեղայնանում է՝ հիշող սարքի անսարք բիթը և ախտորոշում անսարքության տիպը բոլոր պարզ (չկապակցված) ստատիկ անսարքությունների և երկու գործողությամբ դինամիկ անսարքությունների հատուկ ենթաբազմության համար:

Առանցքային բառեր. ստատիկ անսարքություն, դինամիկ անսարքություն, մարշ թեստ, հայտնաբերում, տեղայնացում, ախտորոշում:

Г.Е. АРУТЮНЯН, Д.В. МЕЛКУМЯН

АЛГОРИТМ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ СТАТИЧЕСКИХ И
ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В СТАТИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ С
ПРОИЗВОЛЬНОЙ ВЫБОРКОЙ

Представлен многофазовый марш-алгоритм для локализации и диагностики статических и динамических дефектов в статических запоминающих устройствах с произвольной выборкой со сложностью $74N+C$, где N - число слов в запоминающем устройстве, а C - константа. Ранее представленные алгоритмы локализации и диагностики были только для статических или динамических дефектов. Представленный алгоритм локализует дефектный бит и диагностирует тип дефекта для всех примитивных (несвязанных) статических дефектов и для специальной подгруппы двух операционных динамических дефектов.

Ключевые слова: статический дефект, динамический дефект, марш-тест, обнаружение, локализация, диагностика.

Զ.Է. ՆԱՎՈՑԱՆ, Հ.Գ. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ

ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆ ՄՐՑԱԿՑՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑ ՈՒՆԵՑՈՂ ԻՆՏԵՐՆԵՏ
ԿԱՊՈՒՂՈՒ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼ

Դիտարկված է չերաշխավորված (մրցակցության գործակիցը < 1) ինտերնետ կապուղու մաթեմատիկական մոդել: Մոդելի շրջանակներում սահմանված է ինտերնետ ծառայության որակը գնահատող չափանիշը: Հաշվարկված է թույլատրելի բաժանորդների առավելագույն թիվը՝ հաշվի առնելով որակի չափանիշի շեմային արժեքը: Դուրս է բերված կապուղու զբաղվածության բաշխման խտությունը: Ներկայացված են ինտերնետ կապուղու մրցակցության գործակիցը, ինչպես նաև շահութաբերությունը՝ որպես ֆունկցիա բաժանորդների քանակից: Ինտերնետ հասանելիության ծառայություններ մատուցող կազմակերպության գործող ցանցի վրա կատարվել է փորձարկում, ստացվել են ինտերնետ կապուղու օգտագործման վիճակագրական տվյալները, որոնց հիման վրա գնահատվել են տվյալ ծառայության թույլատրելի բաժանորդների առավելագույն թիվը և շահութաբերությունը:

Առանցքային բառեր. ինտերնետ ենթակառուցվածք, չերաշխավորված կապուղի, CIR կապուղի, մրցակցության գործակից, մաթեմատիկական մոդել:

1. Նախաբան: Ինտերնետ օգտագործողների թիվը գնալով աճում է՝ մեծացնելով ինտերնետ ռեսուրսների, մասնավորապես ինտերնետ կապուղու նկատմամբ պահանջարկը: Այսօր այս բնագավառի արդիական խնդիրներից է նոր ենթակառուցվածքների ստեղծումը և եղածների ընդլայնումը: Ենթակառուցվածքի ստեղծումը, որպես կանոն, բավականին ծախսատար է [1,2] և, որպես հետևանք, ծառայության ինքնարժեքը բարձր է ստացվում: Այդ իսկ պատճառով ենթակառուցվածքի օպտիմալ օգտագործումը և բաժանորդներին մատչելի ծառայություն մատուցելը արդական խնդիրներ են:

Դիցուք ինտերնետ հասանելիության ծառայություններ մատուցող (ԻՀԾՄ) կազմակերպությունը, որն ունի որոշակի ենթակառուցվածք և ինտերնետ հասանելիության ծառայություն է մատուցում վերջնական օգտվողներին (end users), վերադաս ԻՀԾՄ կազմակերպությունից վերցրել է CIR (committed information rate) տեսակի կապուղի, ինչը ենթադրում է, որ ցանկացած պահին կապուղին կարելի է օգտագործել իր առավելագույն չափով, այսինքն՝ մրցակցության գործակիցը 1 է: Նշենք, որ CIR տեսակի կապուղու ինքնարժեքը սովորաբար բարձր է լինում: Հաճախ տնային օգտվողներին և փոքր կազմակերպություններին անհրաժեշտ չի լինում երաշխավորված թողունակությամբ կապուղի: Հաշվի առնելով վերը նշված փաստերը՝ մտցնենք նոր ծառայություն՝ չերաշխավորված ինտերնետ կապուղի՝ հետևյալ կերպ. վերցրած երաշխավորված ինտերնետ կապուղին բաշխենք մի քանի բաժանորդների միջև այնպես, որ բաշխված չերաշխավորված կապուղիների գումարային չափսը մեծ լինի սկզբնական՝ երաշխավորված կապուղու թողունակությունից: Վերջինս հնարավոր է դառնում, քանի որ

քիչ հավանական է, որ բոլոր օգտվողները միաժամանակ զբաղեցնեն իրենց կապուղին առավելագույն չափով: Այսպիսի բաժանման հետևանքով ոչ երաշխավորված ինտերնետ կապուղու արժեքը փոքր կլինի CIR տեսակի կապուղու արժեքից: Որպես որակի չափանիշ կարելի է սահմանել սկզբնական՝ երաշխավորված ինտերնետ կապուղու թողունակության հարաբերությունը բաշխված կապուղիների գումարային թողունակության վրա, որն էլ հենց այսպես կոչված մրցակցության գործակիցն է: Մեծ ԻՀՕՄ կազմակերպություններում այն կարող է կազմել $1/20 \dots 1/50$ [3-5]: Այսպիսի պրակտիկան լայնորեն տարածված է ամբողջ աշխարհում: Ավելացնենք, որ բաժանումը կլինի օպտիմալ, եթե ինտերնետ կապուղու նկատմամբ նույնատիպ պահանջներ ունեցող բաժանորդները խմբավորվեն առանձին խմբերի մեջ՝ հետևյալ կերպ. խոշոր օգտվողներ (ԻՀՕՄ-ներ, մեծ հիմնարկներ), միջին կարգի օգտվողներ (ինտերնետ սրճարաններ, միջին չափի հիմնարկներ) և փոքր օգտվողներ (տնային օգտվողներ, 1...10 աշխատողներ ունեցող հիմնարկներ): Պարզ է, որ առավելագույնս մեծ մրցակցություն կարելի է ստանալ 3-րդ խմբի օգտվողների համար: Մեր մոդելում դիտարկվում են հենց այս տիպի խմբավորումները:

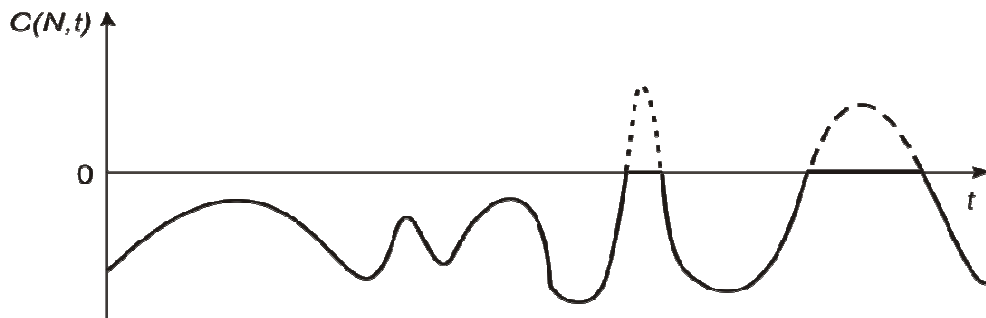
2. Մոդելը: Կատարենք հետևյալ նշանակումները. բաժանորդների քանակը՝ N , i -րդ բաժանորդի վերցրած կապուղու թողունակությունը (ծառայությունը)՝ q_i , որտեղ $i = (1, 2, \dots, N)$: Ծառայությունները համարում ենք ֆիքսված և սահմանափակ քանակի $q_i = (q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(i)})$, օրինակ՝ $q^{(1)} = 128 \text{ kbit/sec}$, $q^{(2)} = 256 \text{ kbit/sec}$, $q^{(3)} = 512 \text{ kbit/sec}$, $q^{(4)} = 1024 \text{ kbit/sec}$: $K(q_i)$ ֆունկցիան սահմանում է տվյալ ծառայության արժեքը, օրինակ $K(q^{(1)}) = 8000$, $K(q^{(2)}) = 15000$, $K(q^{(3)}) = 25000$, $K(q^{(4)}) = 45000$: Շահութաբերության համար գրենք հետևյալ բանաձևը.

$$B(N) = \sum_{i=1}^N K(q_i) - K(F), \quad (1)$$

որտեղ F ՝ երաշխավորված կապուղու թողունակությունն է: Հավասարումը գծային հավասարում է, և երևում է, որ շահույթն աճում է բաժանորդների քանակի աճին զուգընթաց: Սակայն պարզ է, որ բաժանորդների մեծ քանակի դեպքում երաշխավորված կապուղին կսկսի չբավականացնել, և տեղի կունենա մատուցվող ծառայության որակի անկում: Այդ իսկ պատճառով պետք է գրել մատուցվող ծառայության որակը գնահատող հավասարում և սահմանել որակի չափանիշ: Նշանակենք i -րդ բաժանորդի ստացած արագությունը t պահին $I_i(t)$ (պարզության համար համարենք, որ $I_i(t)$ -ն ներկայացնում է միայն ներբեռնման (download) արագությունը): Այդ դեպքում բոլոր բաժանորդներին ինտերնետ ապահովելու համար կպահանջվի $\sum_{i=1}^N I_i(t)$ արագությամբ կապուղի: Պահանջվող կապուղու արագության և երաշխավորված կապուղու արագության F տարբերությունը նշանակենք $C(N, t)$.

$$\sum_{i=1}^N I_i(t) - F = C(N, t), \quad (2)$$

որտեղ $C(N, t)$ ֆունկցիան տվյալ t պահին N բաժանորդ ունենալու դեպքում երաշխավորված կապուղու անհամապատասխանության չափն է բաժանորդների ընդհանուր պահանջին:



Նկ. 1. $C(N, t)$ ֆունկցիայի կախումը ժամանակից՝ ֆիքսված N -ի դեպքում

$C(N, t)$ ֆունկցիայի բացասական լինելը նշանակում է, որ տվյալ պահին գումարային ծանրաբեռնվածությունը փոքր է կապուղու առավելագույն թողունակությունից, հետևաբար առկա է $C(N, t)$ չափով չօգտագործված թողունակություն: $C(N, 0) = 0$ նշանակում է, որ կապուղին օգտագործվում է առավելագույն չափով: Կապուղու նկատմամբ պահանջարկի հետագա աճը կբերի ծանրաբեռնվածության առաջացման և որպես հետևանք՝ ծառայության որակի անկման: Նկ 1 –ում կետագծերով պատկերված հատվածները ցույց են տալիս $C(N, t)$ ֆունկցիայի վարքագիծը, եթե կապուղու թողունակությունը սահմանափակ չլիներ:

Նշենք, որ $I_1(t)$ -ն պատահական ֆունկցիա է, հետևաբար $C(N, t)$ նույնպես կլինի պատահական ֆունկցիա: Համակարգը կաշխատի առավելագույնս արդյունավետ, երբ $C(N, t)$ ֆունկցիան, լինելով բացասական, մոտ լինի 0 –ին:

Ընդհանուր ծառայության որակը կարելի է գնահատել՝ հաշվելով $C(N, t)$ պատահական ֆունկցիայի արտանետման գումարային ժամանակը (գումարային ժամանակը, երբ $C(N, t)$ ֆունկցիան ոչ բացասական է (նկ. 1-ում պատկերված կետագծերով հատվածը): Սահմանենք արտանետման ընդհանուր ժամանակը $(0, T)$ պարբերության ընթացքում, միջինացնենք այն և պահանջենք, որպեսզի այն չգերազանցի ֆիքսված սահմանային արժեքը $[6, 10]$.

$$\frac{1}{T} \int_0^T H[C(N, t)] dt \leq p, \quad (3)$$

որտեղ p -ն որակի չափանիշն է, որը ներկայացնում է առավելագույն թույլատրելի ժամանակը, որի ընթացքում կապուղին պակասուրդ է տալիս, $H[x]$ –ը հեվիսայդի աստիճանային ֆունկցիան է $[10]$:

Համատեղելով (1)-(3) հավասարումները համակարգի մեջ՝ կստանանք.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^N K(q_i) = K(F) + B(N), \\ \sum_{i=1}^N I_i(t) = F + C(N, t) \quad , \\ \frac{1}{T} \int_0^T H[C(N, t)] dt \leq p: \end{array} \right. \quad (4)$$

Փաստորեն (4) համակարգի առաջին հավասարումը սահմանում է N -ի (բաժանորդների քանակի) ստորին սահմանը, իսկ երկրորդ և երրորդ հավասարումները՝ վերին սահմանը:

Մեր առջև դրված խնդիրը $B(N)$ շահութաբերության ֆունկցիայի ստացումը և բաժանորդների N թվի վերին սահմանի գնահատումն է:

(4) համակարգի մեջ մտնող q_i , $K(q_i)$, F , T , p պարամետրերը համարում ենք տրված:

$I_i(t)$ օգտագործման ֆունկցիան չափում ենք փորձի միջոցով (քննարկվում է հաջորդ բաժնում). չափում ենք բաժանորդի կողմից իր կապուղու օգտագործած չափը՝ $I_i = I_i/q_i$: Տեղադրելով այն (4) համակարգի երկրորդ հավասարման մեջ՝ կունենանք.

$$C(N, t) = \sum_{i=1}^N I_i(t) q_i - F: \quad (5)$$

Տեղադրելով (5) արտահայտությունը (3) -ի մեջ՝ կստանանք.

$$\theta = \frac{1}{T} \int_0^T H[C(N, t)] dt = \frac{1}{T} \int_0^T H \left[\sum_{i=1}^N I_i(t) q_i - F \right] dt: \quad (6)$$

Միջինացնելով (6) արտահայտությունն ըստ անսամբլի (ըստ բաժանորդների)՝ կստանանք՝

$$\bar{\theta} = \frac{1}{T} \int_0^T \overline{H[S - F]} dt, \quad (7)$$

որտեղ $S = \sum_{i=1}^N I_i(t) q_i$: (7) հավասարման ենթաինտեգրալային արտահայտությունը հաշվենք առանձին.

$$\overline{H[S - F]} = \int_{-\infty}^{\infty} H[S - F] \omega(S, t) dS = \int_F^{\infty} \omega(S, t) dS, \quad (8)$$

որտեղ $\omega(S, t)$ -ն S ֆունկցիայի բաշխման խտությունն է, $\omega(S, t) dS$ -ը հավանականությունն է այն բանի, որ t պահին S ֆունկցիան կընդունի $(S, S + dS)$ միջակայքից արժեք: Տեղադրելով (8) արտահայտությունը (7) -ի մեջ, այնուհետև ստացվածը (3) -ի մեջ՝ կստանանք որակը գնահատող հավասարման վերջնական արտահայտությունը.

Հաշվի առնելով (9) անհավասարությունը՝ (4) համակարգը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\frac{1}{T} \int_0^T \int_F^{\infty} \omega(S, t) dS dt \leq p: \quad (9)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N K(q_i) = K(F) + B(N), \\ \sum_{i=1}^N q_i I_i(t) = F + C(N, t), \\ \frac{1}{T} \int_0^T \int_F^\infty \omega(S, t) dS dt \leq p; \end{cases} \quad (10)$$

Մրցակցության գործակցի համար կունենանք հետևյալ տեսքը՝

$$r = \frac{F}{\sum_{i=1}^N q_i};$$

3. $\omega(S, t)$ բաշխման խտության հաշվարկ: $\tilde{I}_i(t) q_i$ արտադրյալը, որը ցույց է տալիս i -րդ բաժանորդի գեներացրած տրաֆիկի արագությունը t պահին, պատահական մեծություն է: Հաշվի առնելով, որ պատահական մեծությունների գումարը նույնպես պատահական մեծություն է, հաշվենք գումարի բաշխման խտությունը:

Քանի որ սովորաբար $q^{(r)}$ ծառայության տեսակները փոքրաթիվ են լինում (այս դեպքում դրանք 4 –ն էին), այդ իսկ պատճառով $\sum_{i=1}^N \tilde{I}_i(t) q_i$ գումարը ներկայացնենք r հատ գումարելիների գումարի տեսքով.

$$\sum_{i=1}^N \tilde{I}_i(t) q_i = q^{(1)} \sum_{i=1}^{N_1} \tilde{I}_i^{(1)}(t) + \dots + q^{(r)} \sum_{i=1}^{N_r} \tilde{I}_i^{(r)}(t), \quad (11)$$

որտեղ N_r -ը տվյալ ծառայությունն ընտրած բաժանորդների թիվն է, $N_1 + N_2 + \dots + N_r = N$, $q_i = (q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(r)})$ -ն ծառայությունների տեսակներն են: Կենտրոնական սահմանային թեորեմի [7] համաձայն, նույնապես բաշխված անկախ պատահական մեծությունների գումարը՝ գումարելիների մեծ թվի դեպքում, կարելի է մոտարկել μ, σ պարամետրերով նորմալ բաշխմամբ, որտեղ μ, σ պարամետրերը կապված են $\tilde{I}$ բաշխման միջինի և դիսպերսիայի հետ՝ հետևյալ կերպ.

$$\begin{aligned} \mu &= N_i \mu_0, \\ \sigma &= N_i \sigma_0, \end{aligned} \quad (12)$$

(12)-ը գրելիս ենթադրել ենք, որ ցանկացած r -ի համար $\tilde{I}_i^{(r)}$ պատահական մեծություններն ունեն նույն μ_0 և σ_0 պարամետրերը (հակառակ դեպքում կարելի է կիրառել $\mu_0 - [r, \sigma_0]$ -ի միջինացված արժեքները), ինչպես նաև հաշվի ենք առել այն, որ պատահական մեծությունները գումարելիս նրանց միջինները և դիսպերսիաները գումարվում են [8]: Հաշվի առնելով այս ամենը՝ ստանում ենք.

$$\omega(x) = \omega\left(\sum_{i=1}^N \tilde{I}_i(t)\right) = N(N\mu_0, N\sigma_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi N\sigma_0}} e^{-\frac{(x - N\mu_0)^2}{2(N\sigma_0)^2}}; \quad (13)$$

Եթե $\sum_{i=1}^N \tilde{I}_i(t)$ պատահական մեծությունը բազմապատկենք q_r հաստատունով, ապա նրա բաշխման խտությունը կընդունի հետևյալ տեսքը [8].

$$\omega(q^{(r)} \sum_{i=1}^{N_r} \tilde{I}_i^{(r)}(t)) = N(q^{(r)} N\mu_0, (q^{(r)})^2 N\sigma_0); \quad (14)$$

Ի վերջո, հաշվի առնելով, որ նորմալ բաշխված մեծությունների գումարը նույնպես ունի նորմալ բաշխում [9], (11) պատահական մեծության բաշխման խտության համար կունենաք հետևյալ վերջնական արտահայտությունը.

$$\omega(S, t) = \omega\left(\sum_{i=1}^N \tilde{I}_i(t) q_i\right) = N\left(\mu_0 \sum_{i=1}^N q_i^{(1)} N_i, \sigma_0 \sum_{i=1}^N (q_i^{(1)})^2 N_i\right) \quad (15)$$

μ_0, σ_0 ինչպես նաև N_i բաժանորդների բաշխվածությունն ըստ ծառայության տեսակների ստանում ենք փորձի արդյունքներից: (15) հավասարման մեջ մտնող N_i -ն ցույց է տալիս 1-րդ ծառայությունից օգտվողների թիվը, որը ԻՀԾՄ ընկերություններին հայտնի է: $N_i - \mu$ ներկայացնենք հետևյալ կերպ.

$$N_i = p_i N, \quad (16)$$

որտեղ p_i -ն հավասար է բաժանորդների այն թվին, որոնք օգտվում են տվյալ ծառայությունից: Հաշվի առնելով (16) արտահայտությունը՝ արտագրենք (15)-ը հետևյալ կերպ.

$$\omega(S, t) = N(\alpha N, \beta N), \quad \alpha = \mu_0 \sum_{i=1}^F q^{(i)} p_i, \quad \beta = \sigma_0 \sum_{i=1}^F (q^{(i)})^2 p_i : \quad (17)$$

Տեղադրելով (17)-ը (10) -րդ համակարգի 3-րդ անհավասարման մեջ՝ արդյունքում կստանանք.

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \int_0^T \int_F N(\alpha N, \beta N) dS dt &= \frac{1}{T} \int_0^T \int_{\frac{F-\alpha N}{\sqrt{2\beta N}}}^{\infty} e^{-\xi^2} d\xi dt = \frac{1}{2T} \int_0^T \operatorname{Erfc} \left(\frac{F-\alpha N}{\sqrt{2\beta N}} \right) dt = \\ &= \frac{1}{2} \operatorname{Erfc} \left(\sqrt{\frac{F-\alpha N}{2\beta N}} \right) : \end{aligned} \quad (18)$$

(18) -ը գրելիս օգտագործել ենք այն ենթադրությունը, համաձայն որի, ընտրում ենք այնպիսի ժամային $(0, T)$ միջակայք, որում ստատիստիկ μ_0, σ_0 պարամետրերը կախված չեն ժամանակից: Արդյունքում (10) համակարգը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$\begin{cases} B(N) = \sum_{i=1}^N K(q_i) - K(F), \\ \frac{1}{2} \operatorname{Erfc} \left(\sqrt{\frac{F-\alpha N}{2\beta N}} \right) \leq p, \end{cases} \quad (19)$$

$$\alpha = \mu_0 \sum_{i=1}^F q^{(i)} p_i, \quad \beta = \sigma_0 \sum_{i=1}^F (q^{(i)})^2 p_i :$$

Այսպիսով, (19) համակարգի առաջին հավասարումը ցույց է տալիս տրամադրված ծառայություններից ստացած ընդանուր գումարի և վերցրած կապուղու արժեքի տարբերությունը: Երկրորդ հավասարումը սահմանում է բաժանորդների քանակի շեմը, որի դեպքում որակի անկում տեղի չի ունենում:

4. Փորձ: Փորձը կատարվել է Երևան քաղաքում գործող ԻՀԾՄ-ներից մեկի ցանցում: Բաժանորդների տրաֆիկը կառավարվում է CISCO SCE 2000 ծառայությունների կառավարման սարքով: Վերջինիս օգնությամբ կատարվել է բաժանորդների IP հասցեներին հասանելիք արագության սահմանափակումը:

Յուրաքանչյուր բաժանորդի ստացած արագության վերաբերյալ վիճակագրական տվյալները ստացվել են CISCO SCE 2000-ից՝ SNMP արձանագրության միջոցով: Օրվա ընթացքում ստացված վիճակագրական տվյալները բաժանել ենք երեք ժամային խմբերի՝ աշխատանքային ժամեր (9:00-18:00), երեկոյան ժամեր (18:00-1:00) և գիշերային ժամեր

(1:00-9:00): Դիտարկված ժամային միջակայքերում μ_0 , σ_0 պարամետրերի՝ ժամանակից թույլ կախվածություն ունենալու պատճառով դրանք համարում ենք հաստատուն: Քանի որ հոդվածում դիտարկված բաժանորդները տնային օգտվողներ են, փորձում օգտագործված է հենց երկրորդ ժամային միջակայքի (երեկոյան ժամեր) վիճակագրական տվյալները: Բաժանորդների՝ ինտերնետի նկատմամբ ունեցած իրական պահանջները գնահատելու համար հանում ենք ամբողջ կապուղու վրա դրված սահմանափակումները, այսինքն բաժանորդների՝ ինտերնետի նկատմամբ ունեցած պահանջներն արհեստականորեն չեն սահմանափակվում: μ_0 -ն և σ_0 -ն հաշվում ենք հետևյալ կերպ. ընտրված ժամային միջակայքում (18:00 - 1:00) ստացված վիճակագրական տվյալներից առանձնացնում ենք յուրաքանչյուր բաժանորդի կապուղու օգտագործման չափը, միջինացնում ենք այդ տվյալները՝ ըստ ժամանակի՝ արդյունքում ունենալով տվյալ ժամային միջակայքում յուրաքանչյուր բաժանորդի կապուղու օգտագործման միջին չափը: Այնուհետև միջինացնում ենք ստացված մեծությունը՝ ըստ բաժանորդների և արդյունքում ունենում ենք միջին վիճակագրական տնային ինտերնետ սպառողի պահանջը ինտերնետ կապուղու նկատմամբ: Փորձից նաև որոշում ենք բաժանորդների քանակի բաշխումն ըստ ծառայության տեսակների. օրինակ՝ $q^{(1)}$ ծառայությունից օգտվում են բաժանորդների $x_1\%$, $q^{(2)}$ ՝ $x_2\%$ և այլն: Փորձի արդյունքում ստացվում է, որ 3 Mbit/sec կապուղու և 20-23 բաժանորդներ ունենալու դեպքում վերջիններս ժամանակի 90%-ում կստանան իրենց կապուղու առավելագույն արագությունը: 40 բաժանորդների դեպքում կապուղին կծանրաբեռնվի 100% -ով:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **By Lee W. McKnight, Joseph P. Bailey.** Internet economics. - The MIT Press. 1st edition, 1998. - P. 123-125.
2. **Pontén L., Hallstrand J., Marques M.** Building Dedicated Service Creation Environments for Reuse Based Production. - Springer-Verlag, London, 1994. - V.851.
3. <http://www.trai.gov.in/WriteReadData/trai/upload/ConsultationPapers/167/ MTNL.pdf>
4. <http://www.connectingsomerset.co.uk/tips/broadband/3.2 Choosing an ISP.pdf>
5. <http://www.getonlinebroadband.com/faqs/faq02.html>
6. **Ахманов С., Дьяков Ю., Чиркин А.** Введение в статистическую радиофизику и оптику.- М., 1981. - 640 с.
7. **Чернова Н.И.** Теория вероятностей.-Новосибирск, 2007. - 139 с.
8. **Вентцель Е.С.** Теория вероятностей. - М.: Высшая школа, 2002. - 480 с.
9. Introductory econometrics: a modern approach / J. M. Wooldridge, Edition. -2009.- 4.- P. 740-741.
10. **Кудрявцев Л. Д.** Краткий курс математического анализа. Том 2. - 1981. - 584 с.

ՀՊՃՀ (Պ). Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 15.12.2009:

З.Э. НАВОЯН, А.Г. АЛАВЕРДЯН

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕРНЕТ-СОЕДИНЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО
МАКСИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ КОНКУРЕНТНОСТИ**

Рассмотрена математическая модель негарантированного ($\text{contention ratio} < 1$) интернет-соединения. В рамках модели определена величина (мера) измерения качества интернет-услуги. Рассчитано максимально допустимое количество пользователей с учетом пороговой величины, определяющей качество сервиса. Выведена плотность распределения занятости соединения. Представлены коэффициент конкурентности интернет-соединения, а также прибыль как функция зависимости от числа пользователей. Проведен эксперимент на сети пользователей компании, предоставляющей интернет-услуги, получены статистические данные использования интернета, на основе которых дана оценка прибыльности и максимально допустимого количества подписчиков.

Ключевые слова: интернет-инфраструктура, негарантированный канал связи, канал CIR, коэффициент конкурентности, математическая модель.

Z.E. NAVOYAN, H.G. ALAVERDYAN

**MATHEMATICAL MODEL OF INTERNET CHANNEL HAVING MAXIMAL
CONTENTION RATIO**

A mathematical model of internet connection with contention ratio < 1 is described. Within this model the measure of the internet service quality. The maximum permissible number of users considering the threshold parameter determining the quality of service is calculated. The density of distribution load connection is identified. It is also shown that internet connection concurrency coefficient and profitability can be described as a functional dependence on the number of connected clients. An experiment on the company user network, representing internet-service is performed, statistical data on using the internet are obtained and estimation profitability and maximum permissible number of subscribers are given.

Keywords: internet infrastructure, not guaranteed bandwidth, CIR channel, contention ratio, mathematical model.

Г.Б. АВШАРЯН, Р.Г. КИРАКОСЯН

МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Описан метод проектирования схемы компьютерной сети с учетом структуры расположения имеющихся узлов сети и матрицы достижимости, которая выявляет направление передачи нагрузки между парами узлов связи. Определена матрица смежности, показывающая физическую связь между парами узлов связи.

Ключевые слова: компьютерная сеть, узел связи, матрица достижимости, матрица смежности, математическая модель.

Введение. При проектировании схемы компьютерных сетей необходимо определить структуру прохождения коммутационных соединений между узлами сети. Наиболее распространенной топологией при проектировании компьютерных сетей рассматривается кольцевая схема [1 - 4]. Кольцевую схему проектирования физических коммуникационных линий связей между узлами компьютерной сети необходимо осуществить на основе рекомендаций и правил, описанных в [4].

Задача объединения коммуникационных линий связей между узлами компьютерных сетей рассматривалась во многих работах [1, 2, 4], но до сих пор нет универсального инструмента, который был бы пригоден для решения этой проблемы для всех типов топологии компьютерных сетей. Разработка математической модели и простого метода проектирования схемы компьютерной сети позволит модернизировать действующие или спроектировать новые эффективные компьютерные сети.

1. Постановка задачи. Пусть компьютерная сеть имеет M узлов связи, которые необходимо спроектировать в кольцевую схему, объединенную в G колец. Требуется разработать математическую модель и алгоритм проектирования схемы компьютерной сети.

1.1. Обозначения. Для разработки математической модели и алгоритма проектирования схемы компьютерной сети примем следующие обозначения: **уровень системы** - максимальное количество первичных цифровых трактов в транспортном модуле (L); **узел связи** - приемник/передатчик первичных цифровых трактов, представленных вершинами $A = \{a \mid a = 1, \dots, M\}$, где M - общее количество узлов связи в компьютерной сети; **нагрузка узла связи** - количество принимаемых/передаваемых первичных цифровых трактов, задаваемых матрицей достижимости $|B|$, расстояние между узлами задается симметрической матрицей $|D|$ [4].

Коэффициент развития компьютерной сети ν задает динамику предполагаемого увеличения объема передаваемого в сети трафика в перспективе, где $\nu \geq 1$. Во многих случаях статистический анализ перспективы развития компьютерной сети показывает, что значение коэффициента развития ν может находиться в пределах двукратного увеличения связей на развитие сети, т.е. увеличения значений элементов матрицы $|B|$.

1.2. Математическая модель. Для разработки математической модели проектирования схемы исследуемой кольцевой схемы компьютерной сети примем следующую модель: $U = \{A, B, D\}$, которая отражает конфигурацию компьютерной сети передачи информации. В соответствии с поставленной задачей для получения необходимой физической схемы связи между узлами компьютерной сети необходимо создать G колец.

При помощи матрицы связанности Y можно описать физическое прохождение колец между узлами [2, 4].

Описание любого кольца можно представить следующим образом:

$Z^g = \{z_g, z_{g+1}, \dots, z_{g+m_g-1}\}$, где z_g - номер узла связи, входящего в кольцо; g - номер кольца; m_g - количество узлов связи в g -ом кольце. Матрица связанности Y для каждого кольца описывается следующим образом:

$$Y^g = \begin{bmatrix} 1 & y_{z_g, z_{g+1}} & \dots & y_{z_g, z_{g+m_g-1}} \\ y_{z_{g+1}, z_g} & 0 & \dots & y_{z_{g+1}, z_{g+m_g-1}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ y_{z_{g+m_g-1}, z_g} & y_{z_{g+m_g-1}, z_{g+1}} & \dots & 1 \end{bmatrix}, Y^G = \begin{bmatrix} 1 & y_{z_G, z_{G+1}} & \dots & y_{z_G, z_{G+m_G-1}} \\ y_{z_{G+1}, z_G} & 0 & \dots & y_{z_{G+1}, z_{G+m_G-1}} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ y_{z_{G+m_G-1}, z_G} & y_{z_{G+m_G-1}, z_{G+1}} & \dots & 0 \end{bmatrix},$$

$g = 2, \dots, G-1$.

В матрице связанности Y диагональная единица показывает общий узел связи для разных колец и, соответственно, наличие транзитного трафика в последующих или предыдущих по номерам кольцах. Объем передаваемых цифровых трактов в g -ом кольце между узлами связи i и j имеет три составляющие: трафик внутри кольца, транзитный трафик в предыдущие по номеру кольца b_{preg}^g и транзитный трафик в последующие по номеру кольца b_{subs}^g .

Для каждого g -го кольца матрица B^g имеет вид

$$B^g = \begin{bmatrix} b_{\text{preg}}^g & b_{z_g, z_g+1} & \dots & b_{z_g, z_g+m_g-1} \\ b_{z_g+1, z_g} & 0 & \dots & b_{z_g+1, z_g+m_g-1} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ b_{z_g+m_g-1, z_g} & b_{z_g+m_g-1, z_g+1} & \dots & b_{\text{subs}}^g \end{bmatrix},$$

где $b_{\text{preg}}^g = \sum_{i \in Z^g} \sum_{j < z_g} b_{ij}, \quad b_{\text{subs}}^g = \sum_{i \in Z^g} \sum_{j \geq z_g+m_g} b_{ij}.$

Суммарный объем трафика, который проходит по g -му кольцу (Q_{total}^g), можно вычислить по следующей формуле:

$$Q_{\text{total}}^g = b_{\text{preg}}^g + \sum_{j=z_g+1}^{z_g+m_g-1} b_{ij} + b_{\text{subs}}^g. \quad (1)$$

Учитывая ограничения на объем передаваемого в g -ом кольце трафика и уровень системы [4], получим

$$Q_{\text{total}}^g < L \quad g=1, \dots, G. \quad (2)$$

Проблема определения соответствия между матрицами и проектирования схемы компьютерной сети состоит в определении значений y_{ij}^g и Q_{total}^g .

Рассматриваемую задачу возможно решить с использованием метода прямого перебора или метода перебора с ограничениями. Последнее возможно, если учесть условия постановки задачи и вышеприведенные ограничения.

Разработанным простым альтернативным методом решения возможно введение некоторых ограничений, учитывающих условия проблемы, с помощью чего можно упростить решение проблемы путем ее декомпозиции на подзадачи с определением целевой функции.

2. Метод проектирования. Для упрощения поиска схемы прохождения колец в структуре компьютерной сети предлагается рассматриваемую проблему декомпозировать на следующие взаимосвязанные **три подзадачи**:

Подзадача 1. Разделение узлов связи всей компьютерной сети на сегменты.

Подзадача 2. Определение уровня системы для каждого сегмента.

Подзадача 3. Формирование необходимого количества колец для каждого сегмента.

Подзадача 1. Решение данной подзадачи позволит сократить множество узлов связи перед процессом формирования колец, что, в свою очередь, способствует эффективному объединению узлов при создании колец с минимальным количеством узлов и минимальной протяженностью соединительных линий. При

создании колец необходимо обеспечить выполнение ограничения на минимальное количество узлов связи в кольце, которое должно быть равно трем.

Для решения **подзадачи 1** необходимо осуществить последовательность выполнения взаимосвязанных шагов, которые в виде алгоритма приведены на рис. 1.

Подзадача 2. Решение данной подзадачи позволит наиболее точно выбрать уровень системы и, соответственно, тип используемого оборудования для каждого сегмента. Для решения **подзадачи 2** необходимо осуществить выполнение взаимосвязанных шагов, которые в виде алгоритма приведены на рис. 2.

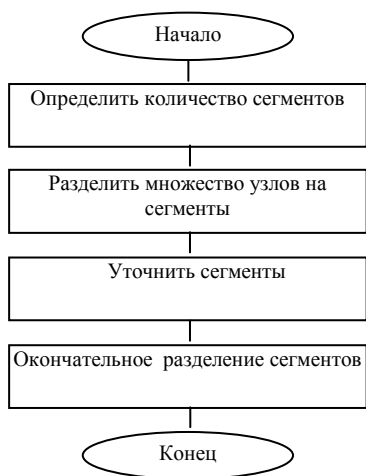


Рис. 1. Алгоритм решения **подзадачи 1**

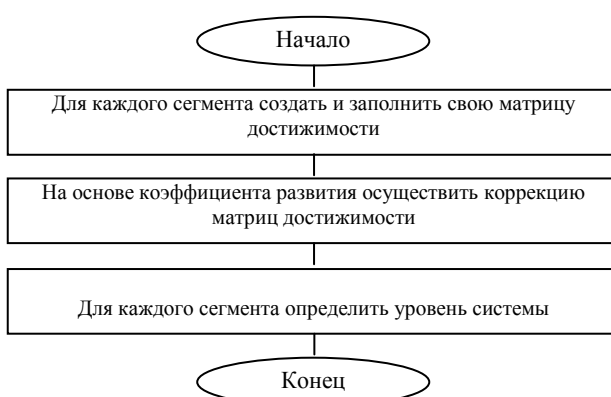


Рис. 2. Алгоритм решения **подзадачи 2**

Подзадача 3. Решение данной подзадачи позволит в каждом сегменте определить необходимое количество колец для передачи общего количества цифровых трактов с выполнением требования резервирования и обеспечения максимального процента заполнения колец.

Для решения **подзадачи 3** необходимо осуществить выполнение взаимосвязанных шагов, которые в виде алгоритма приведены на рис. 3.

При необходимости, после решения всех взаимосвязанных трех подзадач для поиска схемы прохождения колец в компьютерной сети путем объединения частей из разных сегментов возможно обновление данных.

На рис. 4 приведена блок-схема обобщенного алгоритма разработанного метода проектирования компьютерной сети, которая объединяет решение всех трех описанных взаимосвязанных подзадач.



Рис. 3. Алгоритм решения подзадачи 3

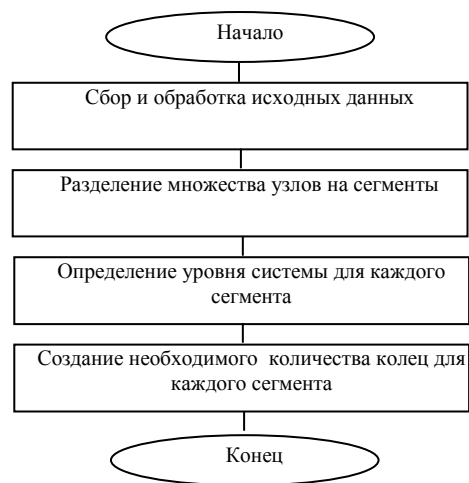


Рис.4. Алгоритм разработанного метода проектирования компьютерной сети

Применение разработанного алгоритма проектирования схемы компьютерной сети позволяет получить следующие результаты:

1. Для каждой связи выявляется последовательность узлов и колец, через которые проходит та или иная связь, т.е. определяется таблица путей.
2. Для формирования требуемого количества цифровых трактов определяются количество и тип коммутаторов, используемых в узлах связи сети.
3. Как для отдельного кольца, так и для всей компьютерной сети определяется длина используемого кабеля.

Перечисленные выше результаты дают возможность выявить экономию капитальных затрат на проектирование схемы компьютерной сети, что, в свою очередь, позволяет определить эффективность создания новой или целесообразности модернизации действующей компьютерной сети.

Апробация предложенного метода проектирования схемы компьютерной сети на конкретных примерах, в частности в компаниях “Арментел” и “С.I.Technology”, показала получение большего процента загрузки сети, что позволяет сэкономить до 15% капитальных затрат на модернизацию действующей или проектирование новой схемы сети.

Заключение. С помощью разработанного метода проектирования схемы компьютерной сети с учетом заданных критериев возможно определить оптимальную топологию создаваемой сети. Кроме того, разработанный метод проектирования схемы компьютерной сети может быть использован в рекомендациях для оптимизации топологии уже действующей сети.

Результаты использования метода проектирования схемы компьютерной сети подтверждают следующее:

1. Применение метода позволяет получить оптимальную схему организации кольцевой схемы компьютерной сети по критериям минимальных капитальных затрат и обеспечения требуемого качества услуг, предоставляемых клиентам.
2. Предложенный метод проектирования схемы компьютерной сети позволяет сэкономить до 15 % капитальных затрат на проектирование новой или модернизацию действующей структуры сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гулевич Д.С.** Сети связи следующего поколения.- М.: Бином, 2007. – 203 с.
2. **Семенов Ю.В.** Проектирование сетей связи следующего поколения – СПб.: Наука и техника, 2005. – 311с.
3. **Росляков А.В.** Сети доступа: Учебное пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 2008. – 272 с.
4. **Харитонов В.Х.** Мультисервисная сеть и методы коммутации // Электросвязь. – 2004. – N 1.- С. 29 - 33.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 28.04.2010.

Հ. Բ. ԱՎՇԱՐՅԱՆ, Ռ. Գ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ

ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐՆԱԻ ՑԱՆՑԻ ՇՂԹԱՅԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Մշակված է քոմպյութերային ցանցի շղթայի նախագծման մեթոդ, որը հաշվի է առնում ցանցի հանգույցների տեղակայման կառուցվածքը և հասանելիության մատրիցը, ինչը բացահայտում է կապի հանգույցների միջև բեռնվածքի փոխանցման ուղղությունը, որոշված է հարակցության մատրիցը, որը ցույց է տալիս կապի հանգույցների միջև ֆիզիկական կապը:

Առանցքային բառեր. քոմպյութերային ցանց, կապի հանգույց, հասանելիության մատրից, հարակցության մատրից, մաթեմատիկական մոդել:

H.B. AVSHARYAN, R. G. KIRAKOSSIAN

A METHOD FOR DESIGNING A COMPUTER NETWORK

A method for designing a computer network taking into account the structure disposition of the accessibility matrices revealing the direction of load transmission between the pairs of nodes is considered. The contiguity matrix showing the physical link between nodes is determined.

Keywords: computer network, nodes, accessibility matrix, contiguity matrix, mathematical model.

Р.А. СИМОНЯН, А.А. САНОЯН, А.Г. ГУЛЯН

ВЫСОКОТОЧНЫЙ МИКРОТЕРМОСТАТ

Описана система термостатирования на основе биполярного транзистора в качестве термодатчика и нагревателя. Благодаря временному разделению процессов измерения температуры и управления нагревом получена высокостабильная и точная система термостатирования с возможностью регулирования температуры и выходом напряжения, пропорционального величине установленного значения температуры камеры. Показана целесообразность применения разработанной системы для постройки малогабаритных и точных регулируемых термостатов.

Ключевые слова: терморегулятор, транзистор, р-п переход, точность, стабильность.

Известно множество термостатов, в которых транзистор используется в качестве нагревателя и одновременно датчика температуры [1,2]. Такое включение позволяет значительно снизить тепловое сопротивление между источником тепла и термостатируемым телом и, кроме того, существенно уменьшить время, необходимое для передачи температуры от источника тепла (переход база-коллектор) к датчику температуры (переход база-эмиттер), что приводит к ускорению процесса установления температуры в термостате и повышению точности. Для оценки точности и стабильности установленного значения температуры в указанных термостатах [1,3] отсутствует возможность непосредственного измерения температуры в камере по режимам термодатчика-нагревателя, что существенно ограничивает возможности для оценки качества термостатирования. Кроме того, в этих термостатах напряжение на датчике температуры (переход база-эмиттер) зависит не только от температуры, но и от приложенного к коллектору напряжения, что ухудшает точность установления температуры в термостате. В [3] описан термостат, в котором введен ключевой элемент, благодаря чему уменьшается разница между температурой включения и отключения транзисторного нагревателя. Основным недостатком указанного термостата является сложность регулирования режимов включения и отключения, а также отсутствие выхода для непосредственного измерения температуры и калибровки термостата.

Вышеупомянутых недостатков лишен термостат, собранный согласно [4]. В этом термостате произведено временное разделение процесса измерения температуры и его регулировки. На рисунке показана функциональная схема разработанного термостата.

На рисунке цифрами показаны: 1 – транзистор, работающий как в качестве термодатчика, так и в качестве нагревателя. К транзистору прикрепляется камера

термостата; 2,3,4 – ограничивающие и развязывающие резисторы; 5,6,7 – электронные ключи, при этом ключ 5 и ключи 6,7 работают в противофазных режимах; 8 – генератор меандра с противофазными выходами; 9 – блок управления нагревом; 10 – блок термометра; 11 – дифференциальный усилитель; 12 – источник регулируемого стабильного напряжения постоянного тока (задатчик). Схема термостата питается от двуполярного стабилизированного источника напряжения постоянного тока (на рис. не показано).

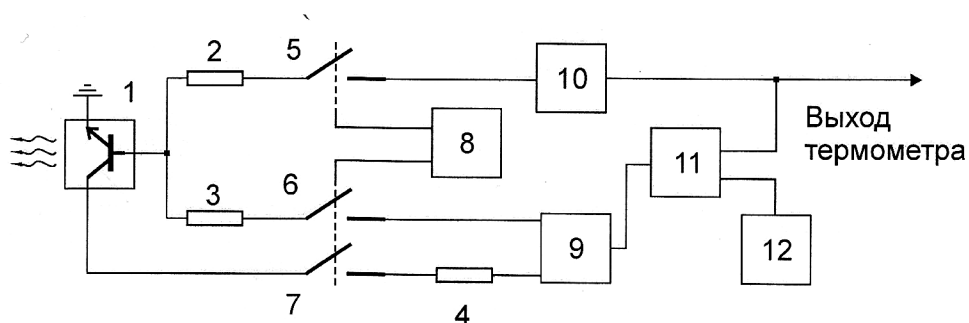


Рис. Функциональная схема термостата

Схема работает следующим образом. После включения питания на выходе генератора 8 получаются два противофазных напряжения с частотой примерно 40...80 Гц. В одном полупериоде ключ 5 включается, а ключи 6 и 7 отключаются. В течение этого полупериода происходит измерение температуры блоком 10, на выходе которого имеем напряжение, пропорциональное температуре. В другом полупериоде работы генератора 8 ключи 6 и 7 включаются, а ключ 5 отключается. В этом полупериоде происходит нагрев транзистора 1 пропорционально уровню сигнала на входе блока управления нагревом 9. Входной сигнал блока 9 получается с выхода дифференциального усилителя 11. На одном входе усилителя 11 имеем выходной сигнал термометрического блока 10, на другом – выходное напряжение задатчика 12 (регулируемого источника напряжения постоянного тока). Если выходное напряжение задатчика 12 больше напряжения термометра 10, то на выходе блока 11 имеем положительное напряжение, пропорциональное разности входных напряжений блока 11. Этим напряжением и управляется нагрев транзистора 1 блоком 9.

Очевидно, что при переключении ключей 5,6 и 7 в указанных частотах генератором 8 быстродействие системы будет в основном определяться быстродействием термометра 10 и мощностью питающего транзистора блока 9, а не скоростью передачи температуры от нагревателя к термодатчику, благодаря мизерному расстоянию между коллекторным и базовым переходом транзистора 1.

Стабильность установленного значения температуры будет определяться дрейфом показаний термометра 10 и дрейфом стабилизированного источника напряжения постоянного тока 12. Термометр 10 полностью реализован согласно [5] и отличается высокой точностью и минимальным самонагревом датчика.

Измеренное значение нестабильности температуры в камере термостатирования менее чем $0,01^{\circ}\text{C}$ при теплоизоляции посредством пенопласта ПХВ-1 толщиной 10 мм и изменении температуры окружающей среды $\pm 10^{\circ}\text{C}$. Дрейф, связанный с дрейфом датчика температуры, составляет 0,001 C.

Для измерения быстродействия термостата на выходе датчика температуры была сформирована ступень напряжения на величину 100 мВ, которая соответствует величине нагрева 10 C. В результате измеренное значение постоянной времени системы составило порядка 0,5 с при средней мощности нагрева 2,4 Вт.

Благодаря высокой точности, малоинерционности и малым габаритам данный термостат может найти широкое применение в радиотехнике (стабилизация тепловых режимов схемных элементов), в биологии (стабилизация биологических объектов и жидкостей), в измерительной технике для эталонирования термометров и при разработке термоанемометров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 622066 (СССР). Устройство для регулирования температуры / **Л.Г. Борисов**. – Бюл. 32. – 30.08.1978.
2. А.с. 997004 (СССР). Устройство для регулирования температуры / **П.Н. Долотов, В.П. Преображенский**. – Бюл. 6. – 15.02.1983.
3. А.с. 862124 (СССР). Регулятор температуры микросхем / **Т.В. Аржанникова, Ю.В. Сосин**. – Бюл.33. – 07.09.1981.
4. А.с. 1501006 (СССР). Устройство для регулирования и измерения температуры / **Р.А. Симонян, Д.Э. Торилян**. – Бюл. 30. – 15.08.1989.
5. А.с. 1557458 (СССР). Устройство для измерения температуры / **Р.А. Симонян, Э.Г. Везирян**. – Бюл. 14. – 15.04.1990.

Институт радиофизики НАН РА. Материал поступил в редакцию 14.05.2010.

Ռ.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Ա. ՍԱՆՈՅԱՆ, Ա.Գ. ԴՈՒԼՅԱՆ

ԲԱՐՁՐ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅԱՄԲ ՄԻԿՐՈՋԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆԱՑՈՒՑԻՉ

Նկարագրված է ջերմակայունացման համակարգ, որտեղ որպես ջերմատվիչ և ջեռուցիչ կիրառվում է երկբևեռ տրանզիստոր: Չափելու և տաքացնելու գործընթացի ժամանակային տարանջատման շնորհիվ ստացվել է գերկայուն և ճշգրիտ ջերմակայունացնող համակարգ, որն ունի ջերմակարգավորման հնարավորություն և լարման ելք՝ ջերմաստիճանի չափման համար: Մշակված համակարգը նպատակահարմար է օգտագործել փոքրաչափ, բարձր կայունությամբ և ճշգրտությամբ կարգավորվող ջերմակայունացուցիչներ պատրաստելու համար:

Առանցքային բառեր. ջերմակարգավորիչ, տրանզիստոր, p-n անցում, ճշգրտություն, կայունություն:

R.H. SIMONYAN, A.A. SANOYAN, A.G. GHULYAN

HIGH-ACCURACY MICRO-THERMOSTAT

A temperature control system using a bipolar transistor as a heater and a temperature meter is described. High-stability and accurate temperature control system with output voltage reading proportional to the temperature in the chamber has been obtained due to time sharing between temperature measurement and heating control process. The developed system may be efficiently used in the structure of small dimensional and accurate temperature control devices.

Keywords: temperature controller, transistor, p-n junction, accuracy, stability.

Վ.Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Ա.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Հ.Վ. ԱՔՐԱՀԱՍՅԱՆ

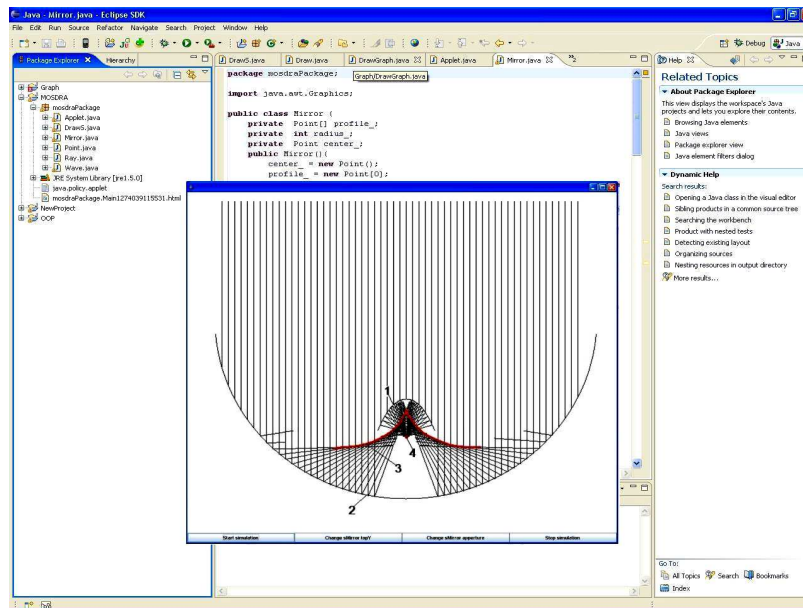
ԵՐԿՀԱՅԵԼԱՅԻՆ ՍՖԵՐԻԿ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵՎ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՓԱԹԵԹԻ ՄՇԱԿՈՒՄ

Դիտարկված է սֆերիկ երկհայելային անտենաների գլխավոր և երկրորդային հայելիների պրոֆիլների հաշվարկ և մոդելավորում: Կատարված է անտենայի էլեկտրական բնութագրերի հաշվարկ, ինչպես նաև տեսանելիացված է էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածումը փոքր և մեծ հայելիների բացվածքներում: Շնորհիվ ստեղծված ծրագրային փաթեթի, հնարավոր է դարձել հաշվարկել և ստանալ կիզակետային տիրույթի չափերը, որը հնարավորություն է ստեղծում որոշել կիզակետում դրվող ճառագայթիչի թույլատրելի առավելագույն չափը և դիրքը՝ ապահովելով անտենայի բացվածքում հավասարաչափ ամպլիտուդային բաշխվածություն:

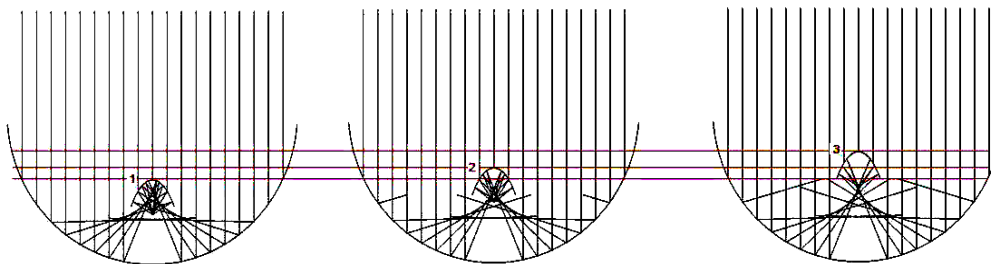
Առանցքային բառեր. անտենա, կիզակետային տիրույթ, կաուստիկայի կոր, ուղղվածության դիագրամ, մոդելավորում, MatLab:

Երկհայելային սֆերիկ անտենաների գլխավոր հայելին անշարժ սֆերա է, որը կարող է պատրաստվել հողային թասի ներսում (ՌՕԴ-54/2.6, Հայաստան) կամ ձկալարերով ձգված (300 մ ռադիոաստղադիտակը ԱՄՆ-ում) [1,2]: Ի տարբերություն գլխավոր հայելու, երկրորդային հայելին շարժվելու հնարավորություն ունի, ինչի շնորհիվ անտենային համակարգը տեսածրման հնարավորություն է ստանում: Փոփոխելով երկրորդային հայելու դիրքը՝ հնարավորություն է ընձեռվում փոփոխել անտենայի ուղղվածության դիագրամի ուղղությունը: Երկրորդային հայելու նախագծման կամ ճիշտ տեղակայման համար անհրաժեշտ է բավարարել որոշակի պայմանների, օրինակ՝ հայելու պրոֆիլը չպետք է հատի կաուստիկայի կորը և նրա չափերը պետք է լինեն բավականաչափ փոքր, որպեսզի մեծ հայելու օգտագործվող մակերեսը հնարավորին չափ քիչ ստվերացում ստանա: Ուստի իմանալով կաուստիկայի կորի կոորդինատները, հնարավորություն ենք ստանում գնահատել հայելու տեղաշարժման թույլատրելի տիրույթը: Չնայած երկրորդային հայելին նախատեսված է հիմնական հայելու սֆերիկ աբերացիայի շեղումները ուղղելու և կիզակետ ստանալու համար, այնուամենայնիվ, հայելուց անդրադարձած ալիքները նորից ձևավորում են ոչ թե կետ, այլ ծավալային տիրույթ [3]: Ուստի ճառագայթիչը տեղադրելու համար անհրաժեշտ է իմանալ նաև երկրորդային հայելու կիզակետային տիրույթի դիրքը:

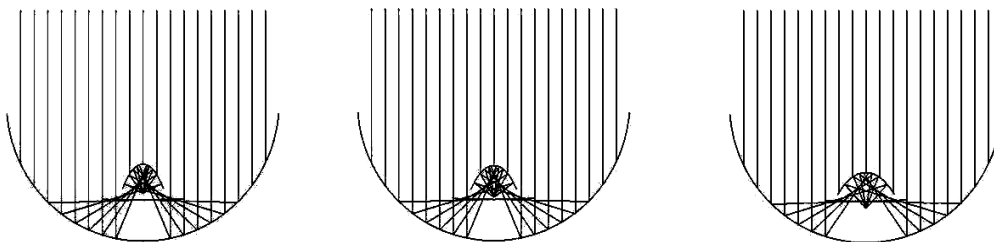
Մույն աշխատանքում ներկայացված ծրագրային փաթեթը բաղկացած է երկու հիմնական մասերից, առաջինը գրված է Java իսկ մյուսը MathLab ծրագրավորման լեզուներով: Ծրագրի առաջին մասը բաղկացած է հետևյալ բաժիններից՝ հայելիների պրոֆիլների հաշվարկ, էլեկտրամագնիսական ալիքների տեսապատկերում և կիզակետային տիրույթի որոշում: Այդ ամենն իրականացվել է փոքր հայելու գազաթի ու բացվածքի չափի և կիզակետի կոորդինատների տարբեր արժեքների դեպքում (նկ. 1):



ա)



բ)



գ)

Նկ. 1. Երկհայելային սֆերիկ անտենայի ֆոկալային տիրույթը
ա - ընդհանուր տեսքը 1-փոքր հայելի 2-մեծ հայելի 3-կաուստիկայի կոր 4-կիզակետ
բ - փոքր հայելու գագաթի և կիզակետի կոորդինատների տարբեր արժեքների դեպքում գ -
փոքր հայելու բացվածքի չափի և կիզակետի կոորդինատների տարբեր արժեքների դեպքում

Փաթեթի երկրորդ մասը իրականացված է MatLab ծրագրային լեզվով և ունի հետևյալ ֆունկցիոնալությունը: Իրականացվել է անտենայի ուղղվածության դիագրամների հաշվարկ E և H հարթություններում, անտենայի բացվածքում

ամպլիտուդային բախվածության հաշվարկ և անտենայի ուղղվածության դիագրամի հաշվարկ:

Քանի որ գլխավոր հայելու պրոֆիլը կիսաշրջան է, այն որոշվում է միայն հայելու շառավղի մեծությամբ: Ծրագրային փաթեթի առաջին մասը, որը կազմված է “object oriented” սկզբունքներով, հայելիների սխեմաների հաշվարկման և պահպանման գործընթացը կատարում է հետևյալ կերպ: Ծրագրի աշխատանքի ընթացքում ստեղծվում է օբյեկտ, որն ունակ է ինֆորմացիա պահել հայելու պրոֆիլի կոորդինատների մասին, ինչպես նաև պատասխանատու է հայելու պրոֆիլի գծման համար [4-6]: Մեծ հայելու մոդելի ստեղծման ընթացքում պահպանվում է էկրանի վրա և արտապատկերվում կանխորոշված շառավղով շրջանը: Երկրորդային հայելու հաշվարկի ալգորիթմի հիմքում ընկած են հետևյալ պարամետրական բանաձևերը [3]:

$$\begin{cases} x = A_x - P \cos 2\theta, \\ y = A_y - P \sin 2\theta, \end{cases}$$

որտեղ (x, y) - ը փոքր հայելու մակերեսի կետերի կոորդինատներն են,

$$\begin{cases} A_x = 1 - (1 - \cos \theta) \times 2 \cos^2 \theta, \\ A_y = \sin \theta - (1 - \cos \theta) \times \sin 2\theta, \end{cases}$$

$$P = \frac{c^2 - (A_x - f^2) - A_y^2}{2 \times [c - \cos 2\theta (A_x - f) - A_y \sin 2\theta]}, \text{ իսկ } c = 1 - 2l + f :$$

Երկրորդային հայելու պրոֆիլի կետերը նույնպես պահպանվում են դինամիկ հիշողության մեջ և արտապատկերվում են էկրանին:

Ծրագրի այս կառուցվածքի շնորհիվ հնարավոր է դարձել հեշտորեն փոփոխել անտենային համակարգի սխեման, այսինքն՝ հնարավորություն է ստեղծվել փոփոխել երկրորդ հայելու եզրային կոորդինատները, նրա շառավիղը, կորությունը և կիզակետային հեռավորությունը: Փոփոխելով վերը նշված պարամետրերը՝ հնարավոր է դառնում դիտարկել էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածումը հայելու բացվածքում և որոշել կիզակետի կոորդինատները, երկրորդային հայելու զագաթի տարբեր դիրքերի դեպքում:

Հաջորդ տրամաբանական բլոկը էլեկտրամագնիսական դաշտի մոդելավորումն է անտենայի բացվածքում: Որպեսզի հնարավոր լինի տեսապատկերել էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածումը, անտենայի բացվածքում ծրագրային միջոցներով ստեղծվել է ինֆորմացիայի կրող, որը պարունակում է առանձին ճառագայթների մասին ինֆորմացիա կրող մասնակի օբյեկտների մասիվ: Յուրաքանչյուր մասնակի օբյեկտն իր մեջ կրում է համապատասխան ճառագայթի հետագծի բոլոր կոորդինատները:

Էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման ալգորիթմը կառուցվել է հետևյալ կերպ: Ճառագայթների փնջի տարածման գործընթացը բաժանվում է տրամաբանական քայլերի: Յուրաքանչյուր քայլի ընթացքում ալիքային ճակատը կատարում է որոշակի առաջընթաց: Քայլն ավարտելուց հետո ստուգվում է, թե արդյոք ալիքային ճակատը հասել է գլխավոր հայելու պրոֆիլը, թե ոչ: Եթե ծրագիրը որևէ մի կետում նշագրում է հայելու պրոֆիլի հետ հասնում, ապա համապատասխան ճառագայթն անդրադարձվում է հայելուց համապատասխան անկյան տակ, և շարունակում է ճառագայթի ընթացքը, մինչև

այն չհասնի երկրորդային հայելու կիզակետին, կամ ծրագիրը չկատարի նախօրոք կանխորոշված քանակով քայլեր (նկ. 2):



Նկ. 2. Ճառագայթների ընթացքը

Քանի որ դինամիկ հիշողության մեջ պահպանված են ճառագայթների հետագծերի բոլոր կետերի կոորդինատները, հնարավոր է դառնում փորձնական միջոցով ստանալ հայելու մակերեսի օգտագործման գործակիցը (ՄՕԳ): Նշագրելով այն կետը, որտեղից սկսած անդրադարձած ճառագայթները չեն մասնակցում կաուստիկայի կորի ձևավորմանը, կարելի է որոշել, թե հայելու մակերեսի որ մասն է առավել արդյունավետ:

Ճառագայթի տարածման ալգորիթմը կազմված է հետևյալ կերպ: Ալիքային ճակատը որոշակի կամայական կետից սկսած տարածվում է մինչև գլխավոր հայելու հետ հատվելը, հատվելուց հետո ճառագայթն անդրադառնում է, հատման կետը սֆերայի կենտրոնի հետ կապող և հատման կետում նորմալի կազմած անկյանը հավասար անկյունով: Ճառագայթների փունջը, վերը նշված օրենքով անդրադառնալով գլխավոր հայելուց, ձևավորում է կաուստիկայի կորը և շարունակում է տարածվել մինչև փոքր հայելու հետ հատվելը: Եկրորդային հայելու հետ հատվելուց հետո կորելացված ալիքային ճակատը անդրադառնում է և հավաքվում երկրորդային հայելու կիզակետում:

Կաուստիկայի կորի ճշգրիտ կորդինատները որոշվում են՝ նշագրելով բոլոր հարևան ճառագայթների հատման կետերը, որոնցից փաստորեն իրականում կազմված է կաուստիկայի կորը, այնուհետև ստացված երկրաչափական արդյունքը սուզվում հետևյալ համակարգով [7].

$$\begin{cases} x = \cos \theta \left(1 - \sin^2 \theta \cos 2\theta - \frac{1}{2} \cos^2 2\theta \right), \\ y = \sin^3 \theta : \end{cases}$$

Իմանալով կաուստիկայի կորի ճշգրիտ կոորդինատները՝ կարելի է որոշել նաև կիզակետային տիրույթի մակերեսի կոորդինատները կամ կատարել դրա ծավալային գնահատումները:

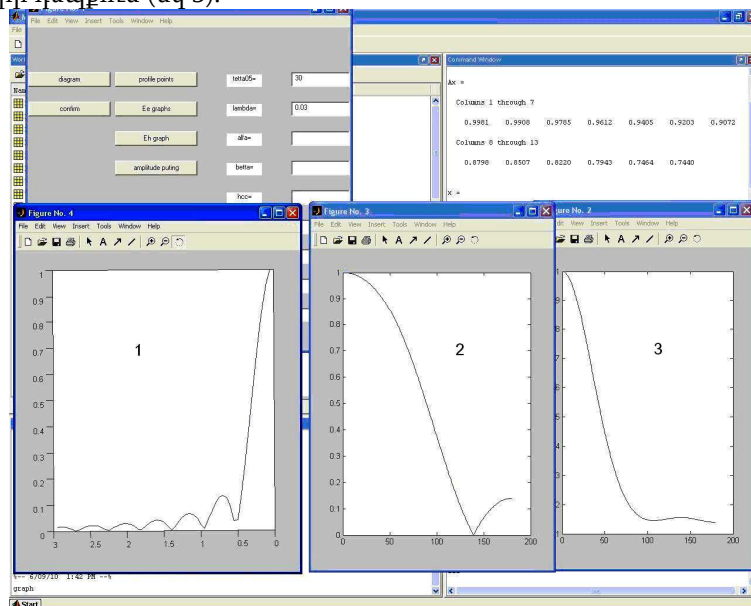
Ծրագրային փաթեթի երկրորդ մասը, որը կազմված է MatLab ծրագրավորման լեզվով, կատարում է անտենայի հիմնական էլեկտրական պարամետրերի հաշվարկ: Հաշվարկվում են ընտրված ճառագայթիչի ուղղվածության դիագրամները H և E հարթություններում: Օգտագործվում են հետևյալ բանաձևերը.

$$E_H = \frac{\pi E_{ab}}{2\lambda r} \left(\frac{W}{W_{01}} + \cos \varphi \right) \frac{\cos(kb/2 \sin \varphi)}{(\pi/2)^2 - (kb/2 \sin \varphi)^2},$$

$$E_E = \frac{E_{ab}}{2\lambda r} \left(1 + \frac{W}{W_{10}} \cos \theta \right) \frac{\sin(ka/2 \sin \theta)}{ka/2 \sin \theta},$$

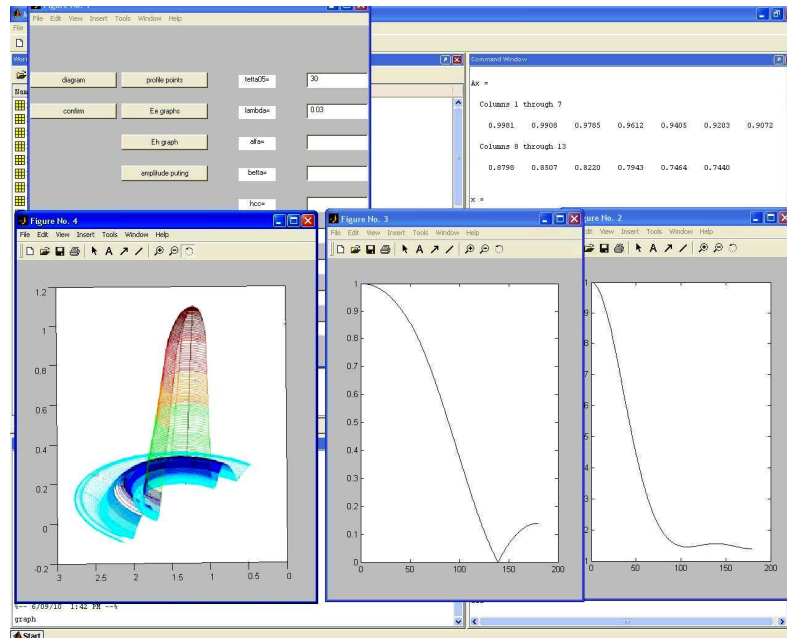
որտեղ $W=120\pi$ - օղի ալիքային դիմադրությունն է, W_{10} -ն՝ ալիքային դիմադրությունն ալիքատարի մեջ և $W_{10} = 120\pi \lambda_w / \lambda$:

Շնորհիվ ստեղծված ինտերֆեյսի, հնարավոր է ստանալ ճառագայթիչի տարբեր ուղղվածության դիագրամներ, համապատասխանաբար տարբեր էլեկտրական պարամետրերի դեպքում (նկ 3):



Նկ. 3. Երկհայելային սֆերիկ անտենայի (1) ճառագայթիչի H (2) և E հարթություններում (3) ուղղվածության դիագրամները

Ծրագրային փաթեթի կիրառմամբ հնարավոր է նաև դիագրամի տարածական պատկերի ստացումը (նկ. 4):



Նկ. 4. Երկհայելային սֆերիկ անտենայի տարածական ուղղվածության դիագրամը

Անտենայի բացվածքում ամպլիտուդային բաշխվածության հաշվակեր կատարվել է Էներգիայի պահպանման օրենքի հիման վրա: Հաշվարկը իրականացվել է հետևյալ կերպ.

$$f(r_{\text{միջ}}) = f(\varphi_{\text{միջ}}) \sqrt{\frac{\cos(\varphi - \Delta\varphi) - \cos\varphi}{r\Delta r - 0.5\Delta r^2}} \quad r_{\text{միջ}} = \frac{r_{i+1} + r_i}{2} \quad \varphi = \pi - \arctg(|y|/(x - f)):$$

Եվ վերջապես, անտենայի ուղղվածության դիագրամի հաշվարկի համար օգտագործվել են հետևյալ բանաձևերը.

$$E(\theta) = \frac{2a_0}{u} J_1(u) + \sum a_n [J_1(v+u)/(v+u) + J_1(v-u)/(v-u)],$$

$$a_0 = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n f(r_{\text{միջ}}), \quad a_n = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n f(r_{\text{միջ}}) \cos nr_{\text{միջ}}:$$

Այսպիսով, ստեղծված ծրագրային փաթեթի շնորհիվ հնարավոր է անտենայի կիզակետային տիրույթի ծավալի և դիրքի գնահատումներ կատարել երկրորդային հայելու տարբեր դիրքերի դեպքում, որոշել ճառագայթիչի արդյունավետ դիրքը և չափերը: Հնարավորություն է տրվել կրկին ստանալ ճառագայթների փնջի տարածման

նկարագրությունը երկրորդային հայելու տարբեր դիրքերի դեպքում: Ծրագիրը նաև թույլ է տալիս կատարել անտենայի հիմնական էլեկտրական պարամետրերի հաշվարկը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Геруни П. М.** Большая двузеркальная антенна: Задание на проектирование / ИРФЭАН АрмССР. - 1961.
2. **Altschuler D.R.** The National Astronomy and Ionosphere Center (NAIC) Arecibo Observatory in Puerto Rico Single-Dish Astronomy: Techniques and Applications // ASP Conference Proc., Astronomy Society of the Pacific. - San Francisco, 2002.- Vol. 278. - P.1-24.
3. **Бахрах Л.Д., Галимов Г.К.** Зеркальные сканирующие антенны: Теория и методы расчета.-М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 304 с.
4. **Stephen J. C.** Essentials of MATLAB Programming.- CL-Engineering.- Dec. 2008.
5. **Timothy B.** Introduction to Object Oriented Programming.- Pearson Education.-Singapore.- Pte. Ltd., 2008.
6. **Саргсян А.** Расчет сферических двузеркальных антенн. Программный продукт // В сб. пакетов прикладных программ МАУ. - М., 1989.
7. **Гегуни П.М., Карапетян К.Е., Ахинян Р.А.** Исследование поля вблизи каустической поверхности сферического рефлектора: Отчет по теме 12.03.22.14 ВНННPH.- Ереван, 1972.-С.52.

Ռադիոֆիզիկայի ԳՀԻ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.04.2010:

В.А. МИНАСЯН, А.С. САРГСЯН, Г.В. АБРААМЯН

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ АНТЕНН

Произведены расчет и моделирование главного и вторичного зеркал сферической двузеркальной антенны, расчет электрических параметров антенны, а также визуализация распространения электромагнитного поля в апертуре большого и малого зеркал. Благодаря созданному программному пакету стало возможным моделирование вычислений и координат установки облучателя, обеспечивающего наилучшее амплитудное распределение в раскрыве антенны.

Ключевые слова: антенна, фокальная область, кривая каустики, диаграмма направленности, моделирование, MatLab.

V.A. MINASYAN, A.S. SARGSYAN, H.V. ABRAHAMYAN

SOFTWARE PACKAGE FOR MODELLING AND DESIGN OF DOUBLE REFLECTOR SPHERICAL ANTENNAS

The software package for modelling and calculation of secondary and primary mirror profiles of double reflector spherical antennas is considered. Electric parameter calculation of the antenna and the visualization of electromagnetic processes in the aperture of primary and secondary mirrors are given. The software package enables to calculate the size of focal antenna region, making possible to estimate the maximal size of the radiator and its position.

Keywords: antenna, focal region, caustic curve, radiation pattern, modelling, MatLab.

В.К. САРКИСЯН

ЦИФРОВОЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ СЕЙСМОМЕТР

Разработан широкодиапазонный трехкомпонентный сейсмометр с цифровым выходом. В корпусе сейсмометра размещено по три сейсмометра скорости и ускорения для одновременной записи двух горизонтальных и одной вертикальной составляющих скорости и ускорения колебаний. Аналоговые выходные сигналы преобразуются в цифровой код и записываются на SD карте с объемом памяти 2 Гб. Приводятся основные технические характеристики сейсмометра.

Ключевые слова: широкодиапазонный трехкомпонентный сейсмометр, сейсмометр скорости, сейсмометр ускорения.

В [1] нами была обоснована целесообразность разработки широкодиапазонного сейсмометра с цифровым выходом. Отличительной чертой нового сейсмометра является то, что широкий динамический диапазон измерения и оптимальная точность достигаются за счет того, что общий динамический диапазон 120 дБ разбит на два диапазона по 60 дБ, причем в первом диапазоне (от микросейсм до 6 баллов) измеряется скорость колебания почвы, а во втором (от 5 баллов и выше) - ускорение колебания почвы, при этом диапазоны перекрывают друг друга в промежутке 5...6 баллов.

Измерение скорости колебания почвы при малых колебаниях обосновывается также тем, что коэффициент преобразования (чувствительность) сейсмометра скорости более чем в 50 раз больше коэффициента преобразования сейсмометра ускорения.

Сейсмометры скорости и ускорения для измерения вертикальной и двух горизонтальных составляющих размещены в одном общем корпусе и производят одновременную запись скорости и ускорения. Это удобно тем, что записями скорости можно контролировать записи ускорения и наоборот.

Иногда для получения записи скорости колебания почвы интегрируют записи колебания ускорения, при этом возникает некоторая погрешность. Приведенное техническое решение исключает процесс интегрирования.

В качестве сейсмометра ускорения используются микросхемы фирмы Analog Devices [2] однокомпонентного акселерометра ADXL 103 - для измерения вертикальных колебаний и двухкомпонентного акселерометра ADXL 203 - для измерения горизонтальных составляющих колебания. Основные технические характеристики акселерометров приведены в таблице.

Таблица

Основные характеристики акселерометров

Характеристика		Величина
Диапазон измерения		$\pm 1,5 \text{ g}$ (15 м/с^2)
Нелинейность		$\pm 0,5\%$
Боковая чувствительность		$\pm 2\%$
Чувствительность (коэффициент преобразования)		1000 мВ/г
Резонансная частота		$5,5 \text{ кГц}$
Питание	напряжение	$3,00 \dots 6,00 \text{ В}$
	ток	$0,7 \text{ мА}$

Выходное напряжение акселерометров усиливается дифференциальным усилителем в 10 раз. Принципиальная электрическая схема акселерометров с усилителем приведена на рис. 1.

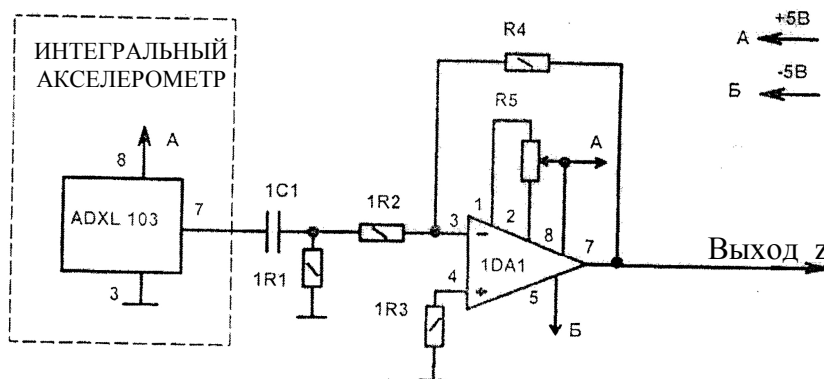


Рис.1. Принципиальная электрическая схема акселерометров с усилителем

Скорость колебания почвы измеряется маятниковым сейсмометром, принцип работы которого аналогичен принципу работы известного сейсмометра СМ-3. Конструкция сейсмометра имеет ряд преимуществ по сравнению с СМ-3. В результате конструктивных улучшений новый сейсмометр имеет следующие новые качества:

- маятник не имеет “мертвой зоны” (вариация показаний), так как механическое соединение маятника с уравнивающей пружиной с сухим трением заменено упругим соединением (практически без трения);
- упругая крестовая опора маятника заменена новой, более надежной опорой, что исключает процедуру замены опоры при измерении вертикальных и горизонтальных колебаний;
- повышена надежность работы арретира маятника, исключая повреждение упругой опоры при транспортировке сейсмометра;
- уравнивающая вес маятника пружина заменена более прочной пружиной, исключая остаточные деформации при работе маятника;
- улучшены механизм настройки собственной частоты сейсмометра и технология изготовления пружины с межвитковым давлением;
- конструкция сейсмометра более рациональна и технологична. В результате себестоимость изготовления сейсмометра по сравнению с СМ-3 снизилась более чем в два раза.

Принципиальная схема конструкции сейсмометра скорости для измерения вертикальной составляющей колебаний почвы показана на рис. 2 и аналогична схемам, приведенным в [3].

Маятник 1, роль инертной массы которого выполняет ярмо 2 с постоянным магнитом, уравнивается пружиной растяжения 5. Пружина действует на маятник под углом β . Одновременно с уравниванием инертной массы пружина создает астазирующую силу, величина которой зависит от угла β . С уменьшением β астазирующая сила возрастает, а собственная частота маятника уменьшается. Механизм 4 служит для изменения угла β . В магнитном зазоре ярма размещена неподвижная катушка 3, которая имеет две обмотки: рабочую - для формирования выходного напряжения и обмотку затухания - для создания затухания маятника 0,60...065, которое достигается регулированием сопротивления катушки.

В начальный момент маятник с помощью пружины 3 приводится в горизонтальное положение. При колебаниях почвы корпус прибора начинает колебаться. При соответствующем выборе затухания маятник остается неподвижным. Относительное движение катушки в магнитном зазоре формирует выходное напряжение, пропорциональное скорости колебания почвы, настолько точно, насколько частота измеряемых колебаний больше собственной частоты маятника.

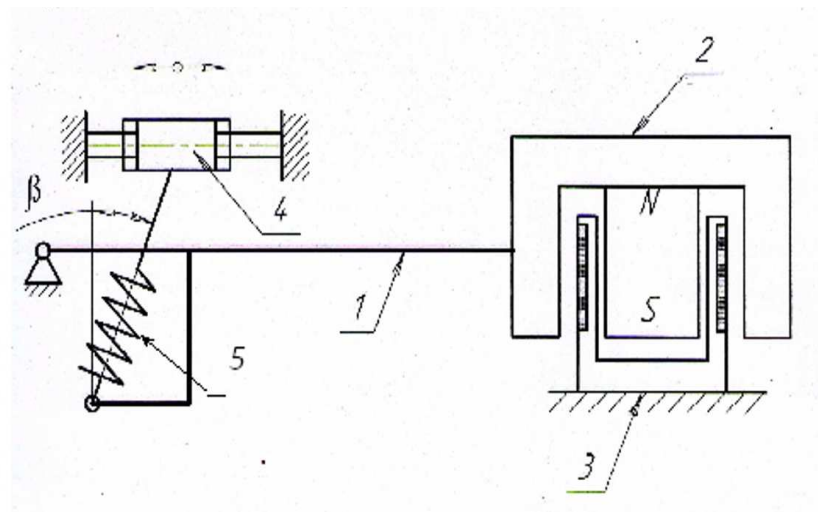


Рис.2. Принципиальная схема конструкции сейсмометра для измерения вертикальных колебаний

Собственная частота горизонтального маятника для измерения вертикальных колебаний определяется формулой

$$p^2 = \frac{ka^2}{J} \sin^2 \beta,$$

где k – жесткость пружины; J – момент инерции массы маятника относительно центра качания; a – длина плеча соединения пружины с маятником.

Конструкция сейсмометра для измерения горизонтальных колебаний отличается от конструкции сейсмометра для измерения вертикальных колебаний более слабой уравнивающей пружинной, так как в этом случае нет необходимости уравнивания полного веса инертной массы, и собственная частота горизонтального маятника в основном получается выбором угла α (см. рис. 3) [4]:

$$p = \sqrt{\frac{g\alpha}{l}},$$

где l – длина маятника.

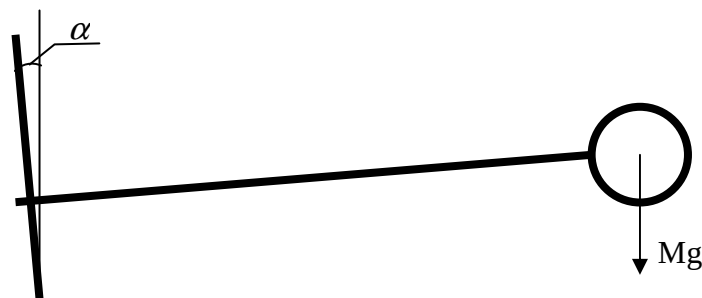


Рис.3.

Принципиальная схема конструкции сейсмометра для измерения горизонтальных колебаний

Разработанный сейсмометр имеет следующие основные технические характеристики:

- при измерении скорости колебаний: измеряемые компоненты колебаний – X, Y, Z ; диапазон измеряемых скоростей колебаний – $0,06 \dots 6 \text{ см/с}$; диапазон частот измеряемых колебаний – $1 \dots 20 \text{ Гц}$; собственная частота маятника – $0,5 \text{ Гц}$; относительный коэффициент затухания – $0,65$; коэффициент преобразования – не менее 50 В/м/с ; нелинейность амплитудной характеристики – 6% ; неравномерность частотной характеристики – 6% ; предел суммарной погрешности с доверительной вероятностью $0,95 - 10\%$;

- при измерении ускорений колебаний: измеряемые компоненты колебаний – X, Y, Z ; диапазон измеряемых ускорений колебаний – $0,06 \dots 1,2 \text{ м/с}^2$; диапазон частот измеряемых колебаний – $0 \dots 50 \text{ Гц}$; коэффициент преобразования – не менее 1 Вм/с^2 ; суммарная погрешность – 3% ; общий динамический диапазон $120 (60+60) \text{ дБ}$; габаритные размеры сейсмометра: $340 \times 240 \times 130 \text{ мм}$; масса – $9,5 \text{ кг}$.

Основные технические характеристики цифрового блока: объем памяти – 1 Гб ; число каналов – 6 ; входной сигнал – аналоговый до $5,3 \text{ В}$; частота входных сигналов – $0 \dots 20 \text{ Гц}$; число записываемых событий – практически не ограничено (более 3000); длительность одной записи – 90 с ; режим работы – непрерывный; начало записи – 1 с до начала события; разрядность АЦП – 10 ; выходной сигнал – цифровой на SD карте; возможность установки нижнего порога измеряемых амплитуд; питание – автономное, аккумуляторное – 6 В ; габаритные размеры цифрового блока: $150 \times 140 \times 40 \text{ мм}$; масса – $0,5 \text{ кг}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Саркисян В.К., Саркисян Р.Е.** Некоторые метрологические вопросы сейсмометрии // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.-2009.-Т.62, №3. – С. 330-336.
2. http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf, Analog Devices. - 12 с.
3. **Саваренский Е.Ф., Кирнс Д.П.** Элементы сейсмологии и сейсмометрии.- М.: Техноиздат, 1955. - 531 с.
4. **Тимошенко С.П.** Колебания в инженерном деле. - М.: Наука, 1967. - 442 с.

Ин-т геофизики и инженерной сейсмологии, г. Гюмри. Материал поступил в редакцию 14.03.2010.

Վ.Կ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ԹՎԱՅԻՆ ԼԱՅՆԱՏԻՐՈՒՅԹ ԵՌԱԲԱՂԱՂԻՉ ՍԵՅՄՄԱՉԱՓ

Մշակվել է լայնատիրույթ եռաբաղադրիչ սեյսմաչափ՝ թվային ելքով: Սեյսմաչափի իրանում տեղադրված են երեք արագության և երեք արագացման սեյսմաչափեր՝ տատանումների հորիզոնական և ուղղաձիգ բաղադրիչների միաժամանակյա չափման համար: Անալոգային ելքային ազդանշանները կերպափոխվում են թվային կոդի և գրանցվում են SD քարտի մեջ, որի հիշողության ծավալը 2 Գբայթ է: Բերված են սեյսմաչափի հիմնական տեխնիկական բնութագրերը:

Առանցքային բառեր. լայնատիրույթ սեյսմաչափ, արագության սեյսմաչափ, արագացման սեյսմաչափ:

V.K. SARGSYAN

BROADBAND THREE-COMPONENT SEISMOMETER WITH DIGITAL OUTPUT

A broadband three-component seismometer with digital output is developed. Three velocity and three acceleration sensors are mounted inside the chassis for simultaneous measurements of vertical and horizontal components of vibrations. Analog output signals of the sensors are converted into digital code and logged to SD card with capacity of 2 Gb. Main technical characteristics of the seismometer are given.

Keywords: broadband three-component seismometer, velocity seismometer, acceleration seismometer.

А.А. ТЕРЗЯН, Г.С. СУКИАСЯН, А.Э. АКОПЯН, А.А. ГЕВОРГЯН

К ПОСТРОЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Предложен метод построения тетраэдрических сеток Делоне для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов. Метод основан на свойстве двойственности трехмерных сеток Делоне и многогранных мозаик Вороного. Метод удобен для распараллеливания.

Ключевые слова: электромагнитное поле, метод конечных элементов, трехмерные сетки Делоне, многогранники Вороного.

Введение. Решение нелинейных полевых задач методом конечных элементов сводится к построению дискретизационной сетки и нахождению на этой сетке минимума энергетического функционала путем приравнивания нулю его производных. В результате получается система уравнений с неизвестными значениями потенциала в узлах сетки, причем количество уравнений равно количеству неизвестных и количеству некраевых узлов сетки.

Сходимость процесса последовательных приближений к решению нелинейных полевых задач сильно зависит от конфигурации сетки. Скорость сходимости тем выше, чем меньше величина недиагональных элементов матрицы получающейся системы уравнений относительно диагональных, и наоборот, при плохой сетке, приводящей к увеличению указанного соотношения, процесс сходимости решения замедляется, а при критических значениях параметров сетки процесс решения и вовсе расходится [1,2]. Таким образом, для расчета магнитных полей методом конечных элементов дискретизационную сетку следует строить так, чтобы минимизировать сумму недиагональных элементов матрицы получающейся системы уравнений.

В настоящей работе показано, что при заданном наборе узлов из всех возможных сеток наилучшей (в вышесказанном смысле) является сетка Делоне [3]. Утверждение справедливо для расчета методом конечных элементов как двумерных, так и трехмерных магнитных полей.

Заметим, что триангуляция Делоне была предложена задолго до появления метода конечных элементов, и задача ее построения является одной из базовых в вычислительной геометрии [4 - 6].

1. Двумерный случай. Известно, что для двумерных треугольных сеток на скорость сходимости процесса последовательных приближений к решению нелинейных полевых задач отрицательно влияет наличие в сетке тупоугольных

треугольников. Всегда ли возможно построить сетку без тупоугольных треугольников? Ответ зависит от расположения сеточных узлов.

Рассмотрим четыре узла, расположенные в вершинах какого-нибудь выпуклого четырехугольника. Возможны два варианта:

- 1) тупые углы четырехугольника находятся друг против друга (рис.1а). Тогда короткая диагональ четырехугольника уничтожит оба тупых угла, и мы получим сетку Делоне без тупоугольных треугольников. Это очевидно и не требует каких-либо измерений. Такое расположение узлов назовем удачным;
- 2) оба тупых угла четырехугольника находятся рядом (рис. 1б). Тогда каждая диагональ четырехугольника уничтожает один тупой угол, сохранив второй. Такое расположение узлов назовем неудачным.

Как бы мы ни построили сетку на неудачно расположенных узлах, она будет содержать тупоугольный треугольник. Избавиться от тупых углов можно только добавлением дополнительных узлов на большей стороне (рис. 1в).

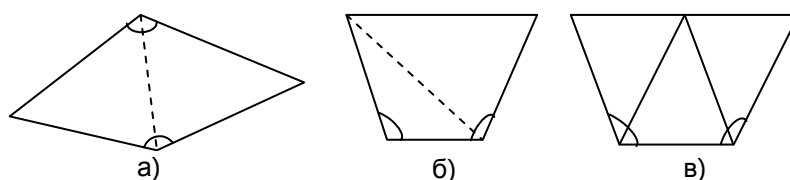


Рис. 1

Дадим общее определение неудачно расположенных узлов. Множество узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ называется неудачно расположенным, если существуют два концентрических круга K_r и K_R (рис.2) с близкими радиусами $0,9R < r < R$ такие, что внутри меньшего круга нет ни одного узла, а больший круг содержит, по крайней мере, четыре узла из данного множества, т.е.

$$\#(K_r \cap \{P_i\}) = 0, \quad \#(K_R \cap \{P_i\}) > 3,$$

где $\#$ означает количество точек.

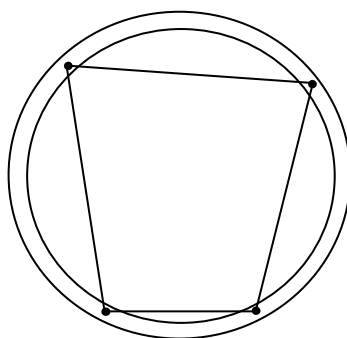


Рис. 2

Если таких кругов нет, то множество узлов называется удачно расположенным.

В [1] показано, что для двумерных треугольных сеток недиагональные элементы матрицы системы уравнений пропорциональны котангенсам внутренних углов треугольников сетки, а именно,

$$c_{ij} = -\frac{1}{2}(v_{ijm} \operatorname{ctg} \beta_m + v_{ijk} \operatorname{ctg} \beta_k), \quad (1)$$

где c_{ij} - коэффициент зависимости узлов i и j ; v - величина, обратная магнитной проницаемости; v_{ijm} - значение v внутри треугольника i,j,m ; v_{ijk} - значение v внутри треугольника i,j,k (рис. 3).

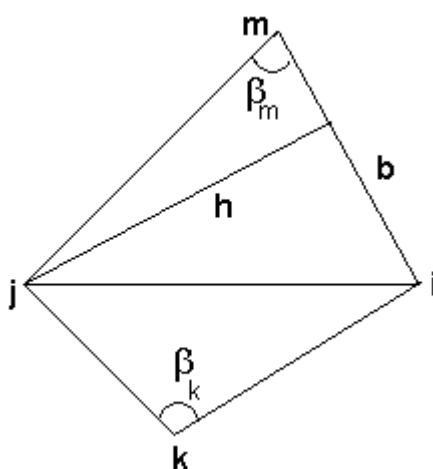


Рис. 3

Аналогичный результат для трехмерных полевых задач и соответствующих тетраэдрических сеток получен в [2].

В силу (1), чтобы минимизировать сумму недиагональных элементов матрицы получающейся системы уравнений, надо минимизировать сумму котангенсов всех внутренних углов всех треугольников сетки.

Утверждение 1. Триангуляция Делоне обладает минимальной суммой котангенсов углов всех своих треугольников среди всех возможных триангуляций с данным множеством узлов.

Вначале докажем это свойство для четырехугольника ABCD (см. рис. 4).

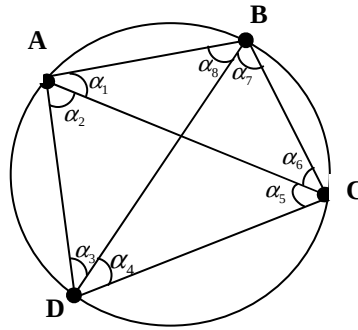


Рис. 4

Возможны две сетки: триангуляция T_{BD} с диагональю BD и треугольниками ABD и BCD и триангуляция T_{AC} с диагональю AC и треугольниками ABC и ADC . У триангуляции T_{BD} сумма S_{BD} котангенсов всех углов обоих своих треугольников равна

$$S_{BD} = \text{ctg}(\alpha_1 + \alpha_2) + \text{ctg}\alpha_3 + \text{ctg}\alpha_8 + \text{ctg}(\alpha_5 + \alpha_6) + \text{ctg}\alpha_4 + \text{ctg}\alpha_7. \quad (2)$$

У триангуляции T_{AC} сумма S_{AC} котангенсов всех углов обоих своих треугольников равна

$$S_{AC} = \text{ctg}(\alpha_3 + \alpha_4) + \text{ctg}\alpha_2 + \text{ctg}\alpha_5 + \text{ctg}(\alpha_7 + \alpha_8) + \text{ctg}\alpha_1 + \text{ctg}\alpha_6. \quad (3)$$

Если

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_5 + \alpha_6 > \pi,$$

то точка D лежит вне окружности, описанной вокруг треугольника ABC , триангуляция T_{AC} является триангуляцией Делоне и $S_{AC} < S_{BD}$.

Если же

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_5 + \alpha_6 < \pi,$$

то точка C лежит вне окружности, описанной вокруг треугольника ABD , триангуляция T_{BD} является триангуляцией Делоне и $S_{AC} > S_{BD}$. Следовательно, в обоих случаях триангуляция Делоне обладает меньшей суммой котангенсов углов.

Теперь докажем это свойство для бóльшего количества узлов. Так как количество возможных сеток конечно, то существует сетка T с минимальной суммой котангенсов углов всех своих треугольников среди всех возможных триангуляций с данным множеством узлов. Предположим, что T не является триангуляцией Делоне. Тогда существует треугольник ABD , внутри описанной окружности которого лежит узел C . Заменяя в четырехугольнике $ABCD$ диагональ

BD на AC, получим $S_{AC} < S_{BD}$, что противоречит условию минимальности сетки Т. Итак, утверждение 1 доказано.

Из обратной пропорциональности функции котангенса следует, что *при решении полевых задач методом конечных элементов триангуляция Делоне является оптимальной в смысле скорости сходимости*. Однако триангуляция Делоне не гарантирует отсутствия тупоугольных треугольников и сходимости соответствующего процесса последовательных приближений.

Для удачно расположенного множества узлов триангуляция Делоне не содержит тупоугольных треугольников и обеспечивает сходимость процесса последовательных приближений к решению нелинейных полевых задач.

Для двумерного случая задача построения триангуляции Делоне практически решена. Имеется много эффективных алгоритмов автоматического построения триангуляции Делоне, но они не работают в трехмерном случае.

2. Трехмерный случай. Вышеприведенное определение неудачно расположенных узлов можно обобщить на трехмерный случай. Множество узлов в трехмерном пространстве называется неудачно расположенным, если существуют два концентрических шара K_r и K_R с близкими радиусами $0,9R < r < R$ такие, что внутри меньшего шара нет ни одного узла, а больший шар содержит, по крайней мере, пять узлов из данного множества, т.е.

$$\#(K_r \cap \{P_i\}) = 0, \quad \#(K_R \cap \{P_i\}) > 4.$$

Однако это определение непрактично в том смысле, что для большого числа узлов, используя это определение, крайне трудно проверить, удачно расположены узлы или нет, так как число возможных шаров бесконечно.

В настоящей работе предложен метод нахождения подобластей, где узлы неудачно расположены, а также нахождения тупоугольных тетраэдров без трудоемкого процесса вычисления всех углов всех тетраэдров. Метод основан на свойстве двойственности трехмерных сеток Делоне и многогранных мозаик Вороного [5,7]. Предлагается вначале строить на данных узлах трехмерного пространства мозаику Вороного, а затем уже переходить к тетраэдрическим сеткам Делоне. Дадим соответствующие определения.

Триангуляция Делоне. Пусть $\{P_i\}_{i=1}^n$ – заданное множество точек (узлов) в трехмерном пространстве. Множество $\{D_j\}_{j=1}^m$ тетраэдров (четырехгранников, не обязательно правильных) называется триангуляцией Делоне на базе системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$, если выполнены следующие условия:

- внутренности тетраэдров попарно не пересекаются;
- все вершины всех тетраэдров из системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$;

- объединение $\bigcup_{j=1}^m D_j$ заполняет всю выпуклую оболочку точек $\{P_i\}_{i=1}^n$;
- для каждого тетраэдра D_j внутри описанного шара S_j нет ни одной точки из $\{P_i\}_{i=1}^n$.

Триангуляции Делоне дуальны к мозаикам Вороного. Следовательно, можно строить трехмерные триангуляции Делоне с помощью многогранных мозаик Вороного.

Трехмерные мозаики Вороного. Множество V_i точек, расстояние которых до узла P_i меньше, чем до остальных узлов P_j , $i \neq j$, называется многогранником Вороного относительно системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$. Множество $\{V_i\}_{i=1}^n$ многогранников называется мозаикой Вороного на базе системы узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$, если каждый V_i является многогранником Вороного относительно той же системы узлов. Отметим, что в отличие от сетки Делоне, состоящей из четырехгранников, в мозаике Вороного количество многогранников равно количеству базовых узлов, и количество граней отдельного многогранника может быть произвольным.

Утверждение 2. Для любой конфигурации узлов $\{P_i\}_{i=1}^n$ всегда существует (притом единственная) мозаика Вороного на базе системы $\{P_i\}_{i=1}^n$. Все элементы мозаики Вороного являются выпуклыми многогранниками.

Доказательство. Рассмотрим множество H_{ij} точек, расстояние которых до P_i меньше, чем до P_j . Множество H_{ij} есть полупространство, ограниченное плоскостью, перпендикулярной отрезку $P_i P_j$ и проходящей через середину этого отрезка. Многогранники Вороного получаются как пересечения

$$V_i = \bigcap_{j \neq i} H_{ij}.$$

Это пересечение не пусто, так как содержит, по крайней мере, точку P_i . Остается заметить, что любое пересечение полупространств всегда является выпуклым многогранником.

Виды тупоугольных тетраэдров. В отличие от плоского треугольника, который может иметь только один тупой угол, трехмерный тетраэдр может иметь несколько тупых углов. На рис. 5 изображен тетраэдр, у которого плоский угол при одном ребре (AB) является тупым. Такой тетраэдр назовем косым тупоугольным тетраэдром.

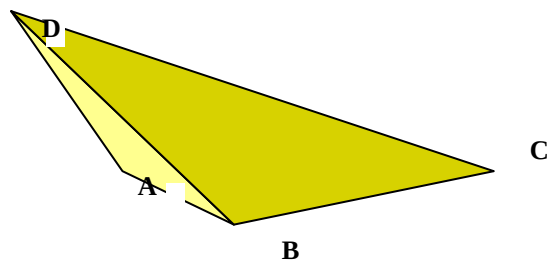


Рис. 5

На рис. 6 изображен тетраэдр, у которого плоские углы при трех ребрах (AC, AB, AD) являются тупыми. Эти ребра имеют общую вершину. Такой тетраэдр назовем “сплюснутым” тупоугольным тетраэдром.

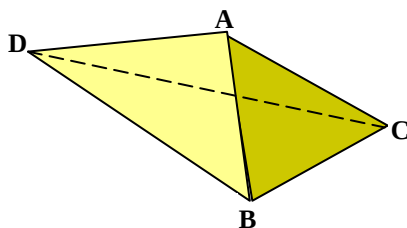


Рис. 6

Рассмотрим выпуклый многогранник, имеющий пять вершин, назовем его пятивершинником. Такой многогранник можно разбить на два или три тетраэдра. В последнем случае все три тетраэдра имеют общее ребро, лежащее внутри пятивершинника. Сумма трех плоских углов при общем ребре равна 360° . Следовательно, при разбиении пятивершинника на три тетраэдра образуются по меньшей мере два косых тупоугольных тетраэдра.

Отсюда получается следующий критерий удачного расположения узлов: если пятивершинник при триангуляции Делоне делится на два тетраэдра, то узлы расположены удачно, и оба тетраэдра остроугольные. Если же пятивершинник при триангуляции Делоне делится на три тетраэдра, то узлы расположены неудачно, и мы стоим перед дилеммой, что хуже: три косых тупоугольных тетраэдра, или два сплюснутых тупоугольных тетраэдра. Ответ: “оба хуже”, и лучше добавить на общем ребре дополнительный узел.

Реализация. Разработанные теоретические утверждения реализованы в виде компьютерной программы для автоматического обнаружения подобластей трехмерных сеток с неудачным расположением узлов. Алгоритм основан на свойстве двойственности триангуляций Делоне и многогранных мозаик Вороного.

Для данного множества узлов вначале строится мозаика Вороного. Для этого каждому узлу приписывается шар малого радиуса с центром в данном узле так,

чтобы не задевать другие узлы. Затем все шары одновременно “разбухают”, при этом их радиусы растут с равной скоростью. Когда два шара соприкасаются, их рост в данном направлении прекращается, и их центры запоминаются, как пара соседних узлов. Соединяя соседние узлы, получим, согласно свойству двойственности, трехмерную триангуляцию Делоне.

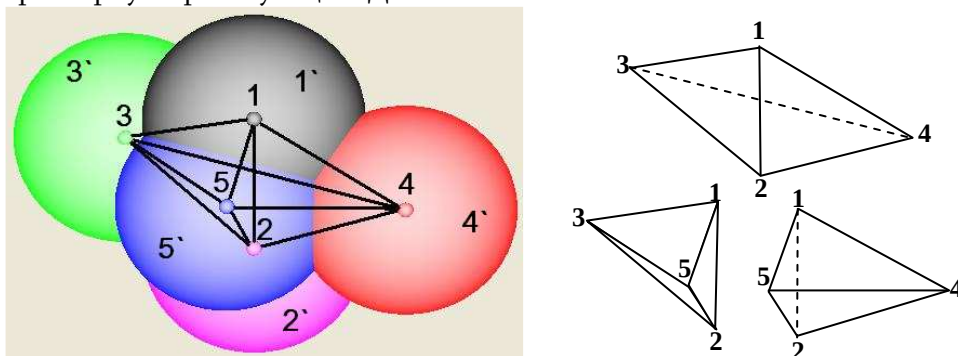


Рис. 7

Разноцветная окраска шаров на экране компьютера позволяет визуально наблюдать построение тетраэдров и обнаруживать недостатки сетки. На рис. 7 показан фрагмент работы программы, где цифрами 1,...,5 обозначены узлы тетраэдров, которые являются центрами, соответственно, шаров 1',...,5'. Видно, что все пять шаров соприкасаются друг с другом, поэтому получаются три тупоугольных тетраэдра, т.е. узлы расположены неудачно. На рисунке же 8 шары с центрами в узлах 1 и 2 не соприкасаются, поэтому получаются два остроугольных тетраэдра.

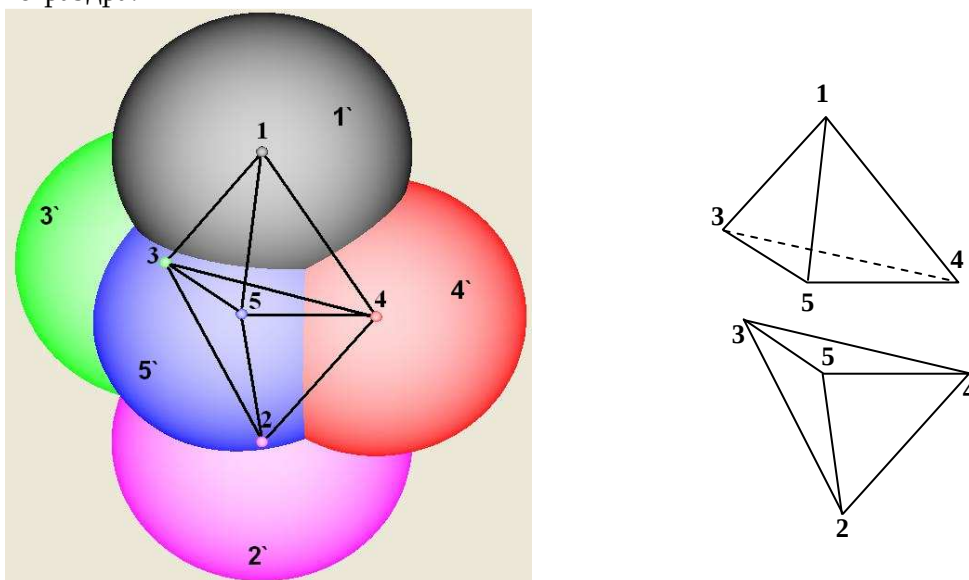


Рис. 8

Предложенный алгоритм не зависит от точности машинных вычислений, и легко распараллеливается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Пароникян А.Е.** Об углах треугольной сетки для расчета магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2007. - Т. 60, № 3. - С. 523-532.
2. **Терзян А.А., Сукиасян Г.С., Акопян А.Э.** Об оптимизации тетраэдральной сетки для расчета трехмерных магнитных полей методом конечных элементов // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. - 2008. - Т. 61, № 2. - С. 305-317.
3. **Делоне Б.Н.** О пустоте сферы // Изв. АН СССР. ОМЕМ. - 1934. - №4. - С.793-800.
4. **Ruppert J. A.** Delaunay Refinement Algorithm for Quality 2-Dimensional Mesh Generation. NASA Ames Research Center // Submission to Journal of Algorithms. - 1994.
5. **Скворцов А. В.** Триангуляция Делоне и ее применение. -Томск: Изд-во ТУ, 2002.- 128 с.
6. **Галанин М.П., Щеглов И.А.** Разработка и реализация алгоритмов трехмерной триангуляции сложных пространственных областей: итерационные методы.- Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2006,
7. **Voronoi G.** Nouvelles applications des parameters continues a la theorie des formes quadratiques. Deuxieme Мйморие: Recherches sur les parrallýloiddres primitifs // J. reine angew. Math. - 1908. - N. 134.- P. 198-287.

ГИУА(П). Материал поступил в редакцию 14.09.2010.

Հ.Ա. ԹԵՐԶՅԱՆ, Հ.Ս. ՍՈՒԲԻԱՍՅԱՆ, Ա.Է. ՀԱԿՈԲՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

**ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐԴԵՐԻ ՄԵԹՈԴԻՎ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ
ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՑԱՆՑԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ**

Առաջարկված է Դելոնեի քառանիստ ցանցի կառուցման մեթոդ՝ վերջավոր տարրերի մեթոդով եռաչափ մագնիսական դաշտերի լուծման համար: Մեթոդը հիմնված է Դելոնեի եռաչափ ցանցի և Վորոնոյի բազմանիստերի երկակիության վրա: Մեթոդը հարմար է զուգահեռացման համար:

Առանցքային բառեր. էլեկտրամագնիսական դաշտ, վերջավոր տարրերի մեթոդ, Դելոնեի եռաչափ քառանիստ ցանցեր, Վորոնոյի բազմանիստեր:

H. A. TERZYAN, H. S. SUKIASYAN, A. E. HAKOBYAN, A.A. GEVORGYAN

**ON CONSTRUCTION OF OPTIMAL MESH FOR SOLUTION OF FIELD PROBLEMS BY
FINITE-ELEMENT METHOD**

A structural method of Delaunay tetrahedral mesh for numeric solution of three-dimensional nonlinear field problems by the finite-element method is proposed. The method is based on duality properties of the three-dimensional Delaunay mesh and the Voronoi polyhedrons. The method is comfortable for paralleling.

Keywords: electromagnetic field, finite-element method, three-dimensional tetrahedral Delaunay mesh, Voronoi polyhedrons.

G.A. POGHOSYAN

DECREASING VOLUME OF IMAGE DATABASE FOR AUTOMATION FACE RECOGNITION SYSTEM

Granting computers ability to discover and identify the object is a contemporary problem that deserves special attention. This problem is widely available in various technological processes, security services, reading systems, criminal law, medical systems, video-conferences, in computer virtual reality, as well as in all video observation systems. Because the recognition database is a collection of images and automatic face recognition system should work with these images, which can hold large volumes of computer memory that is way it's necessary to investigate and develop a method / tool for optimal using volume of computer memory (that decrease image a database volume) and implement quick search within database.

Keywords: Haar-like features, LEM (Line Edge Map), invariant, pixel, frame.

Investigations and study of certain methods help us to develop and implement the method/tool, which decreases volume of recognition database. To achieve the above mentioned goal the image LEM (Line Edge Map) is used [1]. Since quantity of images in recognition database (n) is not infinite, images (*.bmp, *.jpg), $n=40$ and *.jpg format are selected. For object detection and recognition algorithm Haar-like features are used. They owe their name to their intuitive similarity with Haar wavelets and are used in the first real-time face detector.

Image sensors have become more significant in the information age with the advent of commodity multi-media capture devices such as digital cameras, webcams and camera phones. The data from these media sources (whether they are still images or video) reach the stage where manual processing and archiving become impossible. It is now possible to process these images and videos for some applications in near real-time using motion detection and face tracking for security systems. However there are still many challenges including the ability to recognize and track objects at arbitrary rotations. Haar-like features have been successfully used in image sensors for face tracking and classification problems [2], however other problems such as hand tracking [3] have not been so successful. Historically, working with only image intensities (i.e., the RGB pixel values and every pixel of image) made the task of feature calculation computationally expensive. A publication by Papageorgiou [4] discussed an alternate feature set based on Haar wavelets instead of the usual image intensities. Viola and Jones [5] adapted the idea of using Haar wavelets and developed the so-called Haar-like features. A Haar-like feature considers adjacent rectangular regions at a specific location in a detection window, sums up the pixel intensities in these regions and calculates the difference between them. This difference is then used to categorize subsections of an image. For example, we have an image database with human faces. It is a common observation that among all faces the region of the eyes is darker than the region of the cheeks. Therefore a common Haar feature for face detection is a set of two adjacent rectangles that lie above the eye and the cheek region. The position of these

rectangles is defined relative to a detection window that acts like a bounding box to the target object (the face in this case).

In the detection phase of the Viola-Jones object detection framework, a window of the target size is moved over the input image, and for each subsection of the image the Haar-like feature is calculated. This difference is then compared to a learned threshold that separates non-objects from objects. Because such a Haar-like feature is only a weak learner or classifier (its detection quality is slightly better than random guessing) a large number of Haar-like features are necessary to describe an object with sufficient accuracy. In the Viola-Jones object detection framework, the Haar-like features are therefore organized in something called a classifier cascade to form a strong learner or classifier.

The key advantage of a Haar-like feature over most other features is its calculation speed. Due to the use of integral images, a Haar-like feature of any size can be calculated in constant time (approximately 60 microprocessor instructions for a 2-rectangular feature).

The main reason for this is the fact that Haar-like features are not invariant over rotation. This means that any object that rotates and is sensitive to angle changes (such as hands) will be difficult to solve using standard Haar-like features. The features that define faces tend to be insensitive to small angle variations and Haar-like features have been used to detect head rotations of as much as 15° from the vertical [6]. When people are standing their heads is naturally aligned vertically with respect to gravity, this rotational sensitivity tends not to be a significant problem for faces. Other body parts such as hands, arms and legs are not normally aligned with the horizontal or vertical axes and they are difficult to model with traditional Haar-like features. Researchers have tended to use edge detection or color based tracking of these parts.

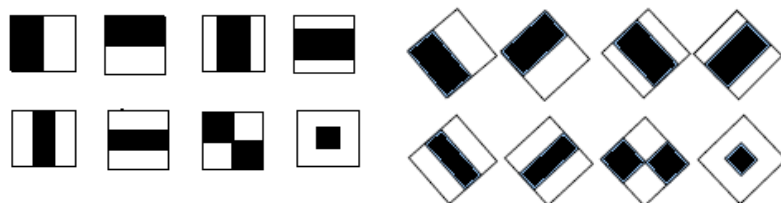


Fig. 1. Standard Haar-like features and 45° twisted Haar-like features

Several researchers have studied the impact of in plane rotations for image sensors with the use of twisted Haar-like feature (45°) [6] or diagonal features of fairly good performance have been achieved. These techniques will have little benefit for problems that are sensitive to rotations, such as hand identification [3], which are not aligned to fixed angles (0° , 45° , 90° , etc).

Haar-like feature based classifiers like the Jones and Viola, face detector work in almost real time using the integral image(or summed area table) data structure that allows

features to be calculated at any scale with only 8 operations. However standard Haar-like features are strongly aligned to the vertical/ horizontal or 45° (Fig. 1.) and so are most suited to classifying objects that are strongly aligned as well, such as faces, buildings, etc.

Standard Haar-like features consist of a class of local features that are calculated by subtracting the sum of a subregion of the feature from the sum of the remaining region of the feature.

Integral images or summed area tables are a data structure that contain the sum of all the pixels above and to the left of the current pixel. The time complexity of the algorithm is 2MN (where M and N are the height and width of the image) since each pixel in the integral image requires two addition operations (see eq. 1).

$$f(i, j) = f(i-1, j) + f(i, j-1) - f(i-1, j-1) + g(i, j), \quad (1)$$

where $g(i, j)$ is the pixel value at position (i, j) , $f(i, j)$ is the integral image value at position (i, j) . Integral images are important as they allow the sum of a rectangular area of pixels of any size to be calculated with only 4 look ups in the Integral image data structure:

$$\sum_{i=a}^b \sum_{j=c}^d g(i, j) = f(a, c) - f(a, d) - f(b, c) + f(b, d), \quad (2)$$

where $g(i, j)$ is the pixel value at position (i, j) , $f(i, j)$ is the integral image value at position (i, j) , (a, c) is the coordinate of the top left pixel and (b, d) is the coordinate of the bottom right pixel of the rectangular region that is being summed.

Edge information is a useful object representation feature that is insensitive to illumination changes to certain extent. Edge detection is a fundamental tool in image processing and computer vision, particularly in the areas of feature detection and feature extraction, which aim at identifying points in a digital image at which the image brightness changes sharply. The purpose of detecting sharp changes in image brightness is to capture important events and changes in properties of the world. In the ideal case, the result of applying an edge detector to an image may lead to a set of connected curves that indicate the boundaries of objects, the boundaries of surface markings as well as curves that correspond to discontinuities in surface orientation. Thus, applying an edge detection algorithm to an image may significantly reduce the amount of data to be processed and may therefore filter out information that may be regarded as less relevant, while preserving the important structural properties of an image. If the edge detection step is successful, the subsequent task of interpreting the information contents in the original image may therefore be substantially simplified. However, it is not always possible to obtain such ideal edges from real life images of moderate complexity. Edges extracted from non-trivial images are often hampered by fragmentation, meaning that the edge curves are not connected, missing edge segments as well as false edges not corresponding to interesting phenomena in the image thus complicating the subsequent task of interpreting the image data [7].

Rectangular mask ($n \times n$) for getting LEM of image (Fig. 2) is used. All images having $n \times n$ size of rectangles ($n=8$) and these rectangles must be smaller than the main

features of the image details (nose, mouth, eyes). It helps us to observe all brightness points and avoids not important pixels of image.

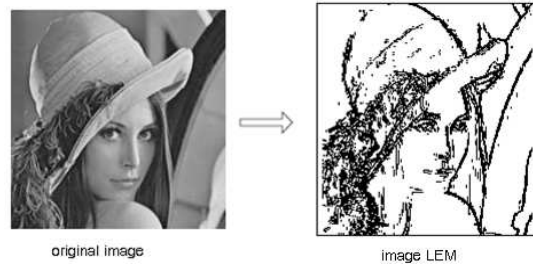


Fig. 2. Used 8x8 mask for getting image LEM

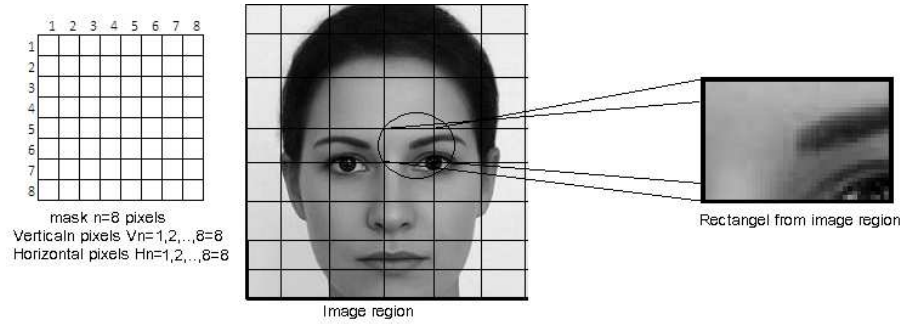


Fig. 3. 8x8 mask and image divided with 8x8 rectangles

Equation (3) is used for calculating brightness of horizontal or vertical pixels and their opposite side pixels (Fig. 3).

$$V = \sum_{i=1}^n (f(i, 1) - f(i, 8)) . \quad H = \sum_{j=1}^n f(1, j) - f(8, j) . \quad (3)$$

The function having brightness values of horizontal and vertical sides on current rectangle, which shows lines according to brightness values (Fig.3) is developed.

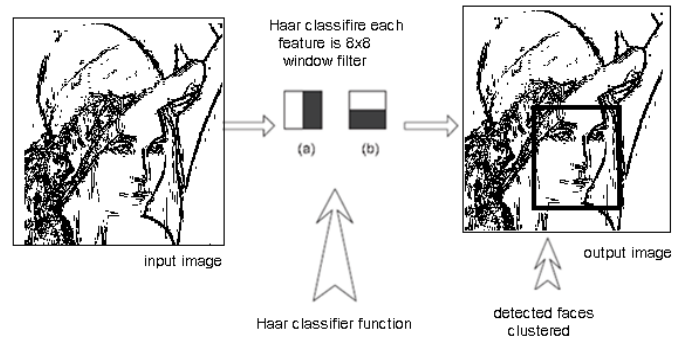


Fig. 4. Haar-classifier face detection algorithm data flow

Fig. 4 shows changing recognition images data flow for Haar classifier face detection algorithm. Using black and white liner image method for training database the following results are given in Table, where t_{RGB} and t_{BW} are face detection and recognition time, S_{RGB} and S_{BW} are sizes of training images are used for recognition.

Table

Training database type	Training images	Detection and recognition time	Training database size
RGB	40	t_{RGB}	S_{RGB}
BW(black and white)	40	t_{BW}	S_{BW}

After many experiments we get the following results:

$$t_{RGB} = t_{BW} \text{ and } S_{BW} = S_{RGB} \times (0.6 - 0.58), \quad (4)$$

which means that image database size is reduced for 40÷42 % percentage. So we get image optimization tools which can help us to optimize and reduce the file size of the image database for recognition and developed a method / tool for optimal using volume of computer memory .

So in future work we will try to implement real time frame moving face discovering and identifying the automation system, which will use the result of this work and will try to identify and recognize faces using database with LEM of images.

REFERENCES

1. Tolba A. S., El-Baz A.H., and El-Harby A.A. Face Recognition //A Literature Review International Journal of Signal Processing. – 2006.-P. 2.
2. Koutroumbas Konstantinos, Theodoridis Sergios. Pattern Recognition (4th ed.). Boston: Academic Press, 2008, ISBN 1-59749. -P. 272-8.

3. **Shan C., Wei Y., Tan T., Ojardias F.** Real time hand tracking by combining particle filtering and mean shift // Proc. Sixth IEEE Automatic Face and Gesture Recognition, FG04.- 2004. -P. 229-674.
4. **Papageorgiou B.** A general framework for object detection // International Conference on Computer Vision. -1998.
5. **Viola P. and Jones M.** Rapid object detection using a boosted cascade of simple features // Presented at 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. -2001.-Vol.1.-P. 511-518.
6. **Mita T., Kaneko T., and Hori O.** Joint Haar-like features for face detection // Presented at Computer Vision Tenth IEEE International Conference on. -2005. -Vol. 2. -P. 1619-1626.
7. **Lindeberg T.** Edge detection and ridge detection with automatic scale selection // International Journal of Computer Vision. -1998. -P.117-154.

Institute for Informatics and Automation Problems of NAS of RA. The material is received on 12.09.2010.

Գ.Ա. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

ԴԵՄՔԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ՃԱՆԱԶՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԲԱԶԱՅԻ ԾԱՎԱԼԻ ՆՎԱԶԵՑՈՒՄ

Համակարգչին օբյեկտները նկատելու հատկությամբ և ճանաչողական ունակությամբ օժտելը այսօր խիստ արդիական խնդիր է և արժանի է ուշադրության: Այն առկա է տեխնոլոգիական գործընթացներում, պահակային ծառայություններում, քրեագիտության մեջ, և տեսահսկում կատարող բոլոր այլ համակարգերում: Այս աշխատանքում կատարված են այդ խնդիրների լուծման հայտնի մեթոդների ուսումնասիրություններ և հետազոտություններ: Մեր նպատակն է հետագա մեր աշխատանքներում մշակել և իրականացնել դեմքի ճանաչման և վերլուծության համակարգ, որը կօգտագործի այս աշխատանքում ներկայացված գծային պատկերների բազան:

Առանցքային բառեր. Հաարի բնութագրիչներ, գծային պատկեր, ինվարիանտ, պիկսել, կադր:

Г.А. ПОГОСЯН

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЕМА БАЗЫ ДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦА

Способность компьютеров обнаруживать и идентифицировать объект - актуальная проблема, которая заслуживает внимания, особенно в различных технологических процессах, охранных услугах, системах считывания, медицинских системах, в ходе видеоконференции, в компьютерной виртуальной реальности, а также во всех видеосистемах наблюдения. Поскольку база данных - это коллекции изображений и автоматическая система распознавания лица должна работать с этими изображениями, занимающими большой объем памяти компьютера, то необходимо исследовать и разработать метод - инструмент для оптимального использования объема памяти компьютера (уменьшение объема базы данных изображений) и осуществить быстрый поиск в базе данных.

Ключевые слова: определители Гаари, линейное отображение, инвариантность, пиксел, кадр.

Ջ.Ա. ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ, Օ.Կ. ԳԵՈՎԶՅԱՆ, Կ.Տ. ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ, Ռ.Վ. ԻՍՐԱՅԵԼՅԱՆ

**ՏԵՂԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱԲՆՈՒՅԹ ԱՊԱՐԱՓՈՇԻՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԱՌԱՆՑ
ԹՐԾՄԱՆ ԽԵՑԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ԲԱՐՁՐՈՐԱԿ ՓՈԽԱՐԻՆԻՉՆԵՐԻ
ՍՏԱՑՄԱՆ ԵՎ ՋՆԱՐԱԿՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Տարատեսակ լեռնային ապարների հիման վրա, որպես կապակցանյութ օգտագործելով նատրիումական հեղուկ ապակու ջրային լուծույթ, պատրաստվել և տարբեր պայմաններում չորանալուց հետո որոշվել են առանց թրծման ստացվող խեցեղենային փոխարինիչների հիմնական հատկությունները: Ուսումնասիրվել են նաև ստացված փորձանմուշների ջնարակման հնարավորությունն ու դրանց մեխանիկական հատկությունների վրա մասշտաբային գործոնի ազդեցությունը:

Առանցքային բառեր. ապար, հեղուկ ապակի, ջնարակ, խեցեղեն, խեցեղենի փոխարինիչ:

Գրական տվյալների վերլուծության արդյունքում [1] աշխատանքում ցույց է տրված, որ առանց թրծման էժանագին խեցեղեն իրերի ստացման համար որպես կապակցանյութ առավել նպատակահարմար է օգտագործել համեմատաբար էժանագին և պակաս վնասակար սիլիկատային և ֆոսֆատային չբյուրեղացվող դյուրահալ ապակիներ կամ հանրապետությունում արտադրվող նատրիումական հեղուկ ապակի: Որպես լցանյութեր կարող են օգտագործվել տեղական բազմաբնույթ ավազներ, լեռնային ապարներ, հրաբխային և արդյունաբերական խարամներ, քարային կամ այլ բնույթի արտադրական թափոններ: Բազալտային փոշու (մասնիկների առավելագույն չափը 0,1 մմ) հիման վրա որպես կապակցանյութեր օգտագործելով կապարաբորատային, ցինկֆոսֆատային, բորասիլիկատային դյուրահալ ապակիներ և նատրիումական հեղուկ ապակի, [2]-ում իրականացվել է առավել հեռանկարային կապակցանյութի (1,4...1,5 g/cm^3 խտություն և 2,8...3,1 սիլիկատային մոդուլ ունեցող հեղուկ ապակի) բաղադրանյութում նրա պարունակության (12 զանգ. %), իրերի ձևավորման եղանակի (կիսաչոր մամլում), չորացման ջերմաստիճանի (300 °C), ինչպես նաև ջնարակի և ջնարակման առավելագույն ջերմաստիճանի (1000 °C) ընտրություն:

Ներկա աշխատանքում, պահպանելով [2]-ում ընտրված խեցեղենի փոխարինիչների ստացման օպտիմալ պայմանները և կապակցող նյութն ու նրա պարունակությունը, ինչպես նաև որպես լցանյութեր օգտագործելով բազալտի (համեմատության համար), տուֆի, պեռլիտի, կրաքարի, տրավերտինի, դոլոմիտի, կվարցիտի և դունիտի փոշիներ, ստացվել և ուսումնասիրվել են առանց թրծման ձևավորվող խեցեղենային իրերի փոխարինիչներ: Ստացված արդյունքները զետեղված են աղյուսակ 1-ում:

N	Լցանյութի (պարունա- կությունը, 88 զանգ. %) տեսակը	Ծավալային զանգվածը, $q/սմ^3$		Ծակոտ- կենտրո- նումը, 300 $^{\circ}C$ -ից հետո, %	Ջրակա- նումը, 300 $^{\circ}C$ -ից հետո, %	Ջրակա- յունութ- յունը, %	Սեղմման ամրութ- յան սահ- մանը, $ՄՊա$	Մաշելի -ության գործա- կիցը, $մգ/սմ^2$
		մամլումից հետո	300 $^{\circ}C$, 1 ժամ հետո					
1	Բազալտ	$2,19 \pm 0,02$	$2,06 \pm 0,010$	5,94	11,4	78	616	0,162
2	Տուֆ	$2,27 \pm 0,02$	$2,10 \pm 0,015$	7,49	14,8	72	468	0,837
3	Պեռլիտ	$1,77 \pm 0,03$	$1,63 \pm 0,011$	7,91	15,2	80	432	0,140
4	Կրաքար	$2,17 \pm 0,02$	$2,05 \pm 0,010$	5,53	10,7	81	720	0,285
5	Տրավերտին	$2,09 \pm 0,01$	$1,96 \pm 0,01$	6,22	12,0	79	648	0,128
6	Կվարցիտ	$1,78 \pm 0,02$	$1,66 \pm 0,015$	6,74	13,1	79	540	0,168
7	Դոլոմիտ	$2,18 \pm 0,02$	$2,06 \pm 0,010$	5,50	10,6	80	724	0,184
8	Դունիտ	$2,25 \pm 0,02$	$2,11 \pm 0,010$	6,22	12,0	81	672	0,147
9	Բն. հոծ բազալտ	$2,22 \pm 0,05$	—	0,4	0,6	98	681	0,89
10	Բն. հոծ տուֆ	$1,6 \pm 0,2$	—	28	40	97	183	3,71

Ձևավորված փորձանմուշների ծավալային զանգվածը չորացումից առաջ և հետո որոշվել է նմուշի զանգվածի (անալիտիկ կշեռք) և 0.05 մմ ճշտությամբ՝ նրանց գծային չափերի որոշման արդյունքում: Ծակոտկենությունը որոշվել է $(d_0 - d)/d_0 \cdot 100\%$ բանաձևով, որտեղ d_0 և d -ն փորձանմուշի ծավալային զանգվածերն են մամլումից և չորացումից հետո, $q/սմ^3$; ջրակալանումը որոշվել է կշռային եղանակով՝ նմուշը 5 րոպե տևողությամբ սառը ջրում պահելուց և այնուհետև մակերեսը չոր շորով սրբելուց հետո կշռելով հետևյալ $(G - G_0)/G \cdot 100\%$ բանաձևով, որտեղ G_0 և G -ն փորձանմուշների կշիռներն են ջրում պահելուց առաջ և հետո, g ; ջրակայունությունը որոշվել է հետևյալ $(G'_0 - G'_1)/G_0 \cdot 100\%$ բանաձևով, որտեղ G'_0 և G'_1 -ը նմուշի զանգվածներն են եռացող ջրում 1 ժամ տևողությամբ պահելուց առաջ և հետո, g : Ջրում քայքայվելու դեպքում, նմուշի ջրակայունությունը համարվել է 0 : Փորձանմուշների սեղմման ամրությունը որոշվել ԴՕՇՏ 6427-75, մաշելիության գործակիցը՝ ԴՕՇՏ 21216-75 համաձայն:

Ստացված արդյունքների հիման վրա կարելի է հանգել հետևյալին:

Հեղուկ ապակու հիման վրա հնարավոր է ստանալ խեցեղենին փոխարինող, իրոք, բարձրորակ բաղադրանյութեր՝ որպես լցանյութեր օգտագործելով ինչպես սիլիկատային, այնպես էլ կարբոնատային բնույթի բոլոր լեռնային ապարներն ու քարատեսակները: Առավել բարձր ամրությամբ ու ջրակայունությամբ, ցածր ծակոտկենությամբ, ջրակլանման ու մաշելիության գործակիցներով առանձնանում են, հատկապես, կարբոնատային բնույթի ապարների (դոլոմիտ, կրաքար, տրավերտին) հիման վրա ստացված բաղադրանյութերը: Նույնիսկ բնականից ծակոտկեն ու մեխանիկորեն համեմատաբար թույլ տրավերտինի հիման վրա ստացվել են փորձանմուշներ, որոնք

ամրությամբ համարյա չեն զիջում բնական հոծ բազալտին, իսկ մաշելիության գործակցով գերազանցում են նրան: Կարելի է միայն ենթադրել, որ կալցիումի կամ մագնեզիումի կարբոնատները ինչ-որ չափով լուծվում կամ քիմիապես փոխազդում են հեղուկ ապակու հետ ֆազերի բաժանման սահմանում առաջացնելով շատ ավելի կայուն, ամուր ու կարծր սոսնձող շերտ՝ շնորհիվ նատրիում-կալցիում-մագնեզիում սիլիկատների, քան նատրիումի սիլիկատը: Հետաքրքիր են նաև կվարցիտի ու տուֆի պարազաներում ստացված արդյունքները: Սպասելիքներն առաջինի դեպքում շատ ավելի բարձր էին, իսկ երկրորդի դեպքում՝ ցածր, քան ստացվել են փորձնականորեն: Իրոք, կվարցիտը ուսումնասիրված լցանյութերից առավել կարծրն է, մեխանիկորեն ամուրն ու քիչ ծակոտկենը, սակայն նրա հիման վրա ստացված փորձանմուշները կարծրությամբ առանձնապես աչքի չեն ընկնում, իսկ ամրությամբ զիջում են բոլոր փորձանմուշներին, բացի տուֆ և պեռլիտ պարունակողներից: Տուֆը, ընդհակառակը, բոլոր լցանյութերի համեմատությամբ ամենածակոտկենն է, մեխանիկորեն ամենաթույլը և ամենափափուկը: Ինչպես երևում է աղ. 1 -ից, բնական հոծ տուֆն ամրությամբ ու մաշելիության գործակցի մեծությամբ մոտ 4 անգամ զիջում է բնական հոծ բազալտին, սակայն բաղադրանյութի կազմում այն ամրությամբ զիջում է բազալտին միայն 24 % -ով, իսկ մաշելիության գործակցը, նույնիսկ ցածր է բնական բազալտի գործակցից: Ստացված արդյունքները կվարցիտի դեպքում, հավանաբար, պայմանավորված են մասնիկների համեմատաբար պակաս թրջողականությամբ հեղուկ ապակու կողմից, իսկ տուֆի դեպքում՝ ընդհակառակը, ծակոտիների լցմամբ և մասնիկների շրջապատումով հեղուկ ապակու շերտով, որը չորանալուց հետո բաղադրանյութին հաղորդում է բարձր ամրություն ու կարծրություն, ցածր ծակոտկենություն: Ի դեպ, պեռլիտի դեպքում ստացված ցածր մեխանիկական ամրությունը նույնպես պայմանավորված է մասնիկների ցածր թրջողականությամբ հեղուկ ապակու կողմից:

Քանի որ մշակված բաղադրանյութերը կոչված են փոխարինելու խեցեղենին, որը շատ դեպքերում ենթարկվում է ջնարակման, ուսումնասիրվել է նաև տարբեր լցանյութերի հիման վրա ստացված փորձանմուշների ջնարակման հնարավորությունը տարբեր ապակիներով: Ելնելով այն հանգամանքից, որ բաղադրանյութերից մի քանիսը, օրինակ, դոլոմիտային բաղադրանյութերը 500°C -ից բարձր ջերմաստիճաններում ենթարկվում են ջերմային դիսոցման, բարձր հալման ջերմաստիճան ունեցող արծնապակիների կողքին փորձարկվել են նաև [2]-ում որպես կապակցանյութեր օգտագործված դյուրահալ ապակիները: Ջնարակային լուծույթները (шликер) պատրաստվել են նուրբ մանրացված (մասնիկների առավելագույն չափերը $\leq 60 \text{ мкм}$) 9:1 կշռային հարաբերությամբ ապակու և կավի խառնուրդը ջրի հետ խառնելու ճանապարհով: Ջնարակապատումն իրականացվել է ընկղմման եղանակով: Բոլոր փորձանմուշները ջնարակային խառնուրդի նկատմամբ ցուցաբերել են ներծծման բավարար ունակություն, որը բացատրվում է նրանց ծակոտկենությամբ: Ջնարակային շերտի հաստությունը կազմել է 0,1...1,0 մմ: Մինչև հրափայլեցումը նմուշները չորացվել են նախ սենյակային, ապա 80, 120 և 300°C ջերմաստիճանների տակ, ամեն անգամ կես ժամ տևողությամբ: Հրափայլեցման գործընթացն իրականացվել է մուֆելային էլեկտրական վառարանում, ապակու փափկեցման ջերմաստիճանից $200...300^{\circ}\text{C}$ բարձր ջերմաստիճանում: Նախապես չորացված փորձանմուշները սառը վիճակում մտցվել են տաք վառարան, պահվել 8...10 րոպե, հանվել և սառեցվել են օդում:

Օգտագործվել են հետևյալ ապակիները.

- կապարաբորատային դյուրահալ ապակի (85 գ. % PbO , 11 B_2O_3 , 2 SiO_2 , 2 Al_2O_3), հրափայլեցման ջերմաստիճանը՝ 500 °C,
- ցինկֆոսֆատային դյուրահալ ապակի (50 գ. % ZnO , 15 P_2O_5 , 25 B_2O_3 , 8 R_2O , 2 SiO_2)՝ 600 °C,
- բորասիլիկատային դյուրահալ ապակի (32 գ. % SiO_2 , 17 B_2O_3 , 20 TiO_2 , 24 R_2O , 5 Al_2O_3 , 1 CdO)՝ 650 °C,
- C 82-3 մակնիշի ծածկության ապակի՝ 650 °C,
- C 88-5 մակնիշի կցորդային ապակի՝ 850 °C,
- Cn - 87 մակնիշի արծնապակի՝ 900 °C,
- տարբեր երանգի ու բաղադրության ապակյա ներկեր՝ 700...900 °C:

Ստացվել են հետևյալ արդյունքները.

1. Որպես լցանյութեր բազալտ, տուֆ և դունիտ պարունակող բաղադրանյութերի համար համատեղելի են եղել բոլոր ապակիները, բացի կապարաբորատային դյուրահալ ապակուց, որը ջերմային ընդարձակման գործակցի անհամատեղելիության պատճառով (110...120գ10⁻⁷К⁻¹ բաղադրանյութերի 80...90գ10⁻⁷К⁻¹ դիմաց) ճաքճքվել է: Մնացած բոլոր դեպքերում ապակյա ծածկույթը ստացվել է անթերի, նույնիսկ մանրադիտակի տակ դիտարկելիս: Չեն նկատվել նաև գծային չափերի փոփոխություններ և ծավալային դեֆորմացիաներ:

2. Կրաքարի և տրավերտինի դեպքում դրական արդյունք են տվել բոլոր այն ապակիները, որոնց հրափայլեցման ջերմաստիճանը չի գերազանցել 800 °C-ը: Այստեղ նույնպես կապարաբորատային դյուրահալ ապակին նույն պատճառով բացառություն է կազմել: Ինչ վերաբերում է 800 °C-ից բարձր հրափայլեցման ջերմաստիճան ունեցող ապակիներին, ապա կալցիումի կարբոնատի ջերմային դիսոլյուցիայի արդյունքում նրանցից գոյացած թաղանթներում նկատվել են տարբեր քանակության ու չափի բշտիկներ:

3. Մագնեզիումի կարբոնատի ջերմային դիսոլյուցիայի համեմատաբար ցածր ջերմաստիճանի պատճառով դոլոմիտային բաղադրանյութերի ջնարակային թաղանթի փրփրումը սկսվում է արդեն 700 °C-ի սահմաններում: Մա լրջորեն դժվարացնում է դոլոմիտային նյութերի ջնարակման խնդիրը, քանի որ պակաս քիմիական կայունության պատճառով դյուրահալ ապակիները ցանկալի չեն ջնարակման նպատակով օգտագործման համար:

4. Պեռլիտի հնարավոր փքման երևույթներից խուսափելու համար անհրաժեշտ է, որ նրա հիման վրա ստացված բաղադրանյութերի հրափայլեցման ջերմաստիճանը չգերազանցի 850 °C-ը: Իրոք, Cn - 87 մակնիշի արծնապակու և կերամիկական ներկերի դեպքում 900 °C -ի տակ ընդամենը 10 *բոլոր* պահելուց հետո նկատվել են փորձանմուշների գծային չափերի աճ մինչև 10 % -ի սահմաններում: Այստեղ նույնպես, ինչպես և նախորդ բոլոր դեպքերում, կապարաբորատային դյուրահալ ապակին առաջացնում է ճաքեր ջերմային ընդարձակման գործակցի անհամատեղելիության պատճառով:

5. Կվարցիտային բաղադրանյութերի խիստ բարձր ջերմային ընդարձակման գործակցի (> 200գ10⁻⁷к⁻¹) պատճառով, ընդհակառակը, բացի կապարաբորատային դյուրահալ ապակուց բոլոր ապակիները ճաքճքվում են: Ճաքվում են նաև փորձանմուշները, որը բացի վառարան մտցնելու և հանելու ընթացքում գործող ջերմային հարվածներից, պայմանավորված է նաև 570 °C-ում β-կվարց → α-կվարց հակադարձելի ֆազային

անցման պատճառով փորձանմուշների ծավալի մոտ 2 % -ի փոփոխությամբ: Այս ամենի հետևանքով ջնարակման անհրաժեշտության դեպքում ցանկալի է խուսափել նաև կվարցիտային բաղադրանյութերի օգտագործումից:

Այսպիսով, ջնարակման առումով նախընտրելի են բազալտ, տուֆ կամ դունիտ, ապա կրաքար, տրավերտին և պեռլիտ պարունակող բաղադրանյութերը: Այն բոլոր դեպքերում, երբ պարտադիր կարգով պահանջվում է իրերի ջնարակում, ցանկալի է խուսափել դոլոմիտային և կվարցիտային բաղադրանյութերից:

Հայտնի է, որ որոշակի տեսքի ու մեծության իրերի ստացման համար մշակված տեխնոլոգիական մոտեցումները կարող են չհամապատասխանել այլ տեսքի ու չափի իրերի ստացման օպտիմալ պայմաններին: Այդ նկատառումներից ելնելով՝ ջնարակման հետ կապված փորձարկումների ընթացքում օգտագործվել են տարբեր տրամագիծ (20, 45, 150 մմ) և հաստություն (6, 10, 15 մմ) ունեցող սկավառակաձև փորձանմուշներ:

Լցանյութերի հետ հեղուկ ապակու համասեռ խառնումն իրականացվել է հավանգի մեջ էլանյութային խառնուրդի մանրակրկիտ խառնման, ապա նախնական մամլման միջոցով (10 ՄՊա) ձևավորման և ձևավորված փորձանմուշների՝ 1,5 մմ անցքեր ունեցող մադի վրա տրորմամբ անցկացման եղանակով: Նմուշների վերջնական ձևավորումը, չորացումն ու ջնարակումն իրականացվել են վերը նշված ճանապարհով: 20 և 40 մմ տրամագիծ ունեցող ջնարակված փորձանմուշների հատկությունները, ներառյալ ամրությունն ու ջնարակման որակը, պահպանվել են նույնը: 150 մմ տրամագիծ ունեցող դրանց դեպքում նկատվել են նմուշների շերտավորման երևույթներ, որը, հավանաբար, ընտրված օպտիմալ ճնշման (80 ՄՊա) դեպքում պայմանավորված է գերամլման երևույթով: Մամլման ճնշման իջեցմանը (40 ՄՊա) զուգընթաց նշված երևույթներն անհայտացել են: Փորձանմուշների չորացման օպտիմալ պայմանների ձևավորումից հետո, անկախ նրանց չափերից, ստացվել են միևնույնը՝ նրանց հատկությունների ոչ մեծ տարբերության շնորհիվ:

Արդյունքը հասկանալի է, քանի որ ջրազրկման գործընթացի արագությունը կախված է ջրազրկվող մարմնի պատերի հաստությունից, իսկ մեր պարագայում այն առանձնակի փոփոխության չի ենթարկվել (8...12 մմ): Միայն սահմաններում (0 10 %) անփոփոխ են մնացել նաև չորացված փորձանմուշների հիմնական հատկությունները (ծավալային կշիռ, ծակոտկենություն, ծավալային կծկում, ջրակլանում, ջրակայունություն և մաշելիություն): Նվազել կամ, ավելի ճիշտ, ոչ վերաբարձրելի է դարձել սեղմման ամրության սահմանը, որը մեկ անգամ ևս հաստատում է ճաքերի ներկայությունը մեծ տրամագիծ ունեցող փորձանմուշներում: Եթե նկատի չունենանք դրանց ճաքման երևույթը, ապա անփոփոխ է մնում նաև դրանց ջնարակման հնարավորությունը: Ջնարակային լուծույթը հեշտությամբ նստում է նմուշների վրա ոչ միայն ընկղմման, այլ նաև ջրման և ցողացման եղանակով: Համապատասխան ընտրության դեպքում ջնարակման որակը ստացվում է բավականին բարձր: Բացակայում են նաև փորձանմուշների գծային չափերի փոփոխություններն ու ծավալային դեֆորմացիաները: Նշվածը լիովին վերաբերում է բոլոր բաղադրանյութերին, անկախ լցանյութի տեսակից: Իսկ քանի որ փորձերի այս համակարգում օգտագործված են եղել աղ. 1 -ում թվարկված բոլոր լցանյութերը, կարելի է վստահորեն պնդել, որ դիտարկված օրինաչափություններն ունեն ընդհանուր բնույթ:

Այսպիսով.

1. Նախկինում բազալտ-հեղուկ ապակի խառնուրդների պատրաստման, փորձանմուշների ձևավորման և ամրացման համար որոշված օպտիմալ պայմանները փորձարկվել են նաև լեռնային այլ ապարների ու քարատեսակների վրա: Ամրության, ջրակայունության ու մաշելիության առումով լավագույն արդյունքներ են ցուցաբերել կարբոնատային բնույթի ապարները, որը պայմանավորված է, հեղուկ ապակու հետ նրանց մասնակի փոխազդեցության արդյունքում առավել կայուն միացությունների գոյացմամբ:
2. Տարբեր բաղադրություն և հրափայլեցման ջերմաստիճան ունեցող ապակիների միջոցով ուսումնասիրվել է նաև տարաբնույթ լեռնային ապարների և հեղուկ ապակու հիման վրա առանց թրծման ստացված փորձանմուշների ջնարակման հնարավորությունը: Պարզվել է, որ ջնարակման առումով նախընտրելի են բազալտ, տուֆ կամ դունիտ, ապա կրաքար, տրավերտին և պեռլիտ պարունակող բաղադրանքները: Այն բոլոր դեպքերում, երբ պարտադիր կարգով պահանջվում է իրերի ջնարակում, ցանկալի է խուսափել դոլոմիտային և կվարցիտային բաղադրանքներից՝ 600°C -ից բարձր ջերմաստիճանների տակ առաջինի գազաանջատման և երկրորդի՝ ջերմային ընդարձակման գործակցի բարձր արժեքի պատճառով:
3. Ուսումնասիրվել է նաև մասշտաբային գործոնի ազդեցությունն առանց թրծման ստացված փորձանմուշների մեխանիկական հատկությունների և ջնարակման հնարավորության վրա: Պարզվել է, որ գծային չափերի մեծացմանը զուգընթաց որոշակիորեն նվազում կամ, ավելի ճիշտ, պակաս վերարտադրելի է դառնում փորձանմուշների սեղմման ամրության սահմանը: Փորձանմուշների ջնարակման հնարավորության և գծային չափերի միջև կախվածություն չի նկատվել:
4. Դիտարկված օրինաչափություններն ուսումնասիրված բոլոր լցանյութերի համար ընդհանուր բնույթ ունեն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գեոդակյան Ջ.Ա.** Խեցեղենային իրերի բարձրորակ և էժանագին փոխարինիչների ստացման հնարավորությունը // Տեղեկագիր Հայաստանի Շինարարների. – 2009. – թիվ 12 (148). – էջ. 12-18:
2. **Գեոդակյան Ջ.Ա., Պետրոսյան Բ.Վ., Գեոդակյան Կ.Ջ., Իսրայելյան Ռ.Վ.** Խեցեղենի էժանագին փոխարինիչների բաղադրություններն ու ստացման պայմանները // Տեղեկագիր ՀԳԱՍ և ՀՊՃՀ. Տեխնիկական գիտություններ սերիա. – 2010. – Հ. 63, N 1. – էջ 95-101:

Նյութաբանության գիտարտադրական ձեռնարկություն (ՆԳԱԶ «ՓԲԸ»): Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 22.01.2010:

Д.А. ГЕОДАКЯН, О.К. ГЕОКЧЯН, К.Т. ГЕОДАКЯН, Р.В. ИСРАЕЛЯН

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ И ГЛАЗУРИРОВАНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ БЕЗОБЖИГОВЫХ ЗАМЕНИТЕЛЕЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ МЕСТНЫХ ПОРОД

На основе порошков различных горных пород с использованием в качестве связки натриевого жидкого стекла получены и исследованы безобжиговые керамические материалы. Исследована также возможность глазурирования полученных материалов стеклоглазуриями различного состава. Определено влияние размеров на механические свойства образцов.

Ключевые слова: порода, жидкое стекло, глазурь, керамика, заменители керамики.

J.A. GEODAKYAN, O.K. GEOKCHYAN, K.T. GEODAKYAN, R.V. ISRAELYAN

THE OPPORTUNITY OF ACHIEVING AND GLAZING HIGH-QUALITY SUBSTITUTES OF CERAMICS-SUBSTANCE WITHOUT FIRING BASED ON VARIOUS LOCAL ROCK- POWDERS

Based on various mountainous rocks using sodium liquid water solution of glass as a connective substance, the main properties of ceramics substitutes without firing have been prepared and determined after being dried in different conditions. The glazing possibility of the achieved samples and the influence of scale factor on their mechanical properties have been studied.

Keywords: rock, liquid, glass, glaze, ceramics, ceramics substitute.

Р.М. АБРАМЯН

УСТАНОВЛЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ИДЕАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА С РЕГЕНЕРАТОРОМ

Получена зависимость КПД циклов Стирлинга от отношения масс регенератора и рабочего тела для всех циклов работы двигателя. Показано, что оптимальный КПД циклов Стирлинга растет на начальной стадии работы двигателя, что связано с увеличением степени регенерации. Получена зависимость степени регенерации от коэффициента регенерации для любого цикла работы. Найдены предельное значение степени регенерации и соответствующий КПД. Показано, что оптимальное использование регенератора возможно при изменении по ходу работы машины коэффициента регенерации от единицы до максимально возможного значения в стационарном режиме.

Ключевые слова: тепловые машины, цикл Стирлинга, регенератор, КПД.

Введение. Шотландский изобретатель Р. Стирлинг в 1816 г. получил патент на двигатель внешнего сгорания, где рабочим телом был воздух. Поскольку в двигателях Стирлинга использовались сравнительно высокие давления, то они быстро выходили из строя. Проиграв в надежности и мощности паровым машинам, двигатели Стирлинга были надолго забыты. Второе их "рождение" произошло в 60-х годах прошлого столетия, когда были получены новые материалы и новые конструкции. Теперь оказалось, что они, не проигрывая в мощности, более предпочтительны в плане экологии [1-3]. Двигателями Стирлинга интересуются автомобилисты и медики, строители подводных лодок, работники сельского хозяйства и создатели космических кораблей. На базе конструкций этих двигателей разработаны эффективные криогенные системы. Важным узлом двигателя Стирлинга является регенератор тепла, без которого было бы невозможным развитие современной тепло-техники и техники низких температур [1]. Следует отметить, что экономичность – не единственное достоинство двигателей Стирлинга. Их нетрудно приспособить для работы с любым источником тепла: солнечными лучами, атомным реактором, дровами, соломой, углем, керосином, соевым расплавом и даже подземной горячей лавой. В тех производственных процессах, где необходимо охлаждение системы, возможно применение двигателя Стирлинга. Во всех случаях, когда имеется стационарное состояние градиента температуры, можно запустить двигатели Стирлинга и Эриксона. Двигатель Стирлинга может также способствовать экономии воды. Известно, что в тепловых и атомных электростанциях используется водное охлаждение производительностью 1

млн.м³/ч [4]. Здесь применение двигателей Стирлинга позволит не только уменьшить расход воды, но и получить дополнительно электроэнергию. Идеальный регенеративный цикл Стирлинга может служить таким же термодинамическим эталоном для двигателей внешнего сгорания, как цикл Карно.

Теоретическая часть. Идеальный цикл Стирлинга состоит из двух изохор и двух изотерм (см. рис.). Считается, что рабочее тело - идеальный газ. КПД цикла определяется температурой нагревателя T_1 и холодильника T_2 , а также степенью сжатия $r = V_3 / V_4$. Обычно r не превышает 6. Температура нагревателя ограничена сверху способом подачи горячего воздуха, что составляет около 900 К. Часто холодильником служит окружающая среда, поэтому машины Стирлинга особенно эффективны в пароходах и космических кораблях. Одним из наиболее эффективных решений по повышению экономичности тепловых машин является возврат тепловой энергии с помощью регенератора. Напишем значения КПД цикла Стирлинга без регенератора η' и с регенератором η . Имеем (см. [1,5])

$$\eta' = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + \frac{T_1 - T_2}{(\gamma - 1) \cdot \ln r}}. \quad (1)$$

Здесь γ - показатель адиабаты.

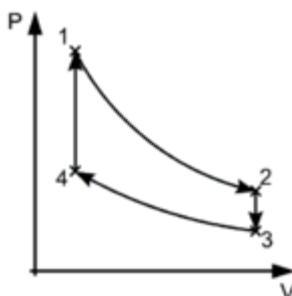


Рис.

Регенератор работает по принципу термоаккумуляции: отбирая тепло у рабочего тела при его охлаждении, он возвращает такое же количество тепла рабочему телу при нагревании. Вычислим КПД первого идеального цикла Стирлинга, принимая начальную температуру регенератора равной температуре холодильника T_2 . Рассмотрим вопрос вычисления КПД двигателя во время n -го цикла η_n ($n=1,2,3,\dots$) и вопрос единственности предела $\lim \eta_n$ при $n \rightarrow \infty$. Пусть m - масса регенератора, C - удельная теплоемкость его вещества, m_0 - масса

рабочего тела, а C_v - не зависящая от температуры удельная теплоемкость идеального газа при постоянном объеме. В начале процесса 2-3 регенератор отнимает тепло у рабочего тела, чтобы затем вернуть его при нагреве 4-1. Применяя уравнение теплового баланса и пренебрегая потерями тепла, получим

$$T - T_1 + \alpha(T - T_2) = 0, \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{mC}{m_0 C_v}$ - характеристика регенератора или коэффициент регенерации.

Нагретый до T регенератор в состоянии 4 отдает тепло рабочему телу, охлаждаясь до температуры T' и нагревая газ до той же температуры. Имеем

$$T' - T_2 + \alpha(T' - T) = 0. \quad (3)$$

С помощью (2) и (3) находим

$$T' = \frac{\alpha \cdot T_1 + (1 + \alpha + \alpha^2) \cdot T_2}{(1 + \alpha)^2}. \quad (4)$$

При этом тепло, отдаваемое регенератором рабочему телу при нагревании, т. е. выигрыш в тепле, составит

$$Q = m_0 C_v (T' - T_2). \quad (5)$$

Теперь термический КПД цикла Стирлинга с регенератором будет

$$\eta = \frac{A_{12} + A_{34}}{Q_{41} + Q_{12} - Q}. \quad (6)$$

Подставляя известные значения изотермической работы расширения и сжатия газа в (6), с помощью (5) получим

$$\eta = \frac{(T_1 - T_2) \cdot \frac{m_0}{\mu} \cdot R \cdot \ln r}{m_0 C_v (T_1 - T_2) + \frac{m_0}{\mu} \cdot R T_1 \cdot \ln r - m_0 \cdot C_v (T' - T_2)}. \quad (7)$$

Выразив $T' - T_2$ через $T_1 - T_2$, получим

$$T' - T_2 = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)^2} \cdot (T_1 - T_2) = \beta_1 (T_1 - T_2). \quad (8)$$

Здесь $\beta_1 = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)^2}$ - так называемая степень регенерации в начальном цикле.

Подставляя (8) в (7), после несложных преобразований получим

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + \frac{(1 - \beta_1) \cdot (T_1 - T_2)}{(\gamma - 1) \cdot \ln r}} \quad (9)$$

Аналогичная формула получится и для последующих циклов, однако зависимость степени регенерации от α будет иной. Так, для второго цикла получим

$$\beta_2 = \frac{\alpha + 2\alpha^2 + 2\alpha^3}{(1 + \alpha)^4}, \quad (10)$$

а для третьего:

$$\beta_3 = \frac{\alpha + 4\alpha^2 + 7\alpha^3 + 6\alpha^4 + 3\alpha^5}{(1 + \alpha)^6}. \quad (11)$$

Можно показать, что для n -го цикла имеет место формула

$$\eta_n = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + \frac{(1 - \beta_n) \cdot (T_1 - T_2)}{(\gamma - 1) \cdot \ln r}}, \quad (12)$$

где

$$\beta_n = \frac{\alpha}{(1 + \alpha)^2} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha} \right)^{2i-2}. \quad (13)$$

Как видно из (9), максимальный КПД получается при максимальном β . Обратим внимание на тот факт, что значение β меньше единицы и всегда положительно. В [5] показано, что для первого идеального регенеративного цикла Стирлинга максимальный КПД получится при $\alpha = 1$, что соответствует значению $\beta = 0,25$. Таким же способом получим для последующих циклов: $\alpha_2 = 1,54$ при $\beta_2 = 0,32$ и $\alpha_3 = 2,03$ при $\beta_3 = 0,364$ [5].

При достаточно большом значении n , т.е. при $n \rightarrow \infty$, $\beta_n \rightarrow \beta = \frac{\alpha}{1 + 2 \cdot \alpha}$ что уже получено в [5] для стационарного режима работы двигателя. Таким образом, до установления стационарного режима максимальный КПД получится при использовании регенератора с переменным значением коэффициента регенерации α .

Выводы. Приведем численные оценки. При рабочем теле гелий $\gamma = 5/3 = 1,67$, и при $r=5$, если $T_1 = 400 \text{ K}$, $T_2 = 300 \text{ K}$ (при КПД цикла Карно 25%), получим без регенератора для первого цикла 20%, а с регенератором - 21,3%. Если $T_1 = 750 \text{ K}$, $T_2 = 400 \text{ K}$, то для цикла Карно КПД равен 46,7%, для Стирлинга без регенератора - 32,5%, с регенератором - 35,2%. Так как в формуле (9) знаменатель всегда

больше T_1 , то КПД цикла Стирлинга всегда меньше КПД цикла Карно. Поскольку значение β растет, оставаясь сверху ограниченным, то надо полагать, что оно стремится к некоторому пределу. Температура регенератора после каждого цикла оказывается больше, чем в предыдущем, и после некоторого количества циклов система переходит в стационарное состояние. В [2] считают, что это произойдет через 5...10 циклов. В более реальных условиях, а именно - при учете теплотерь и неидеальности рабочего тела, КПД может уменьшиться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ридер Т.Т., Хупер Ч.** Двигатели Стирлинга.- М.: Наука, 1986. – 464 с.
2. **Urieli I., Berchowitz D.M.** Stirling Cycle Engine Analysis. - 1984. Stirling Cycle Machine Analysis. - Winter, 2008.
3. **Organ A.** Stirling Cycle Theory. – Wikipedia. - April, 2008.
4. **Մարուխյան Ռ.Զ., Հովհաննիսյան Լ.Ս.** Ջրախնայողական տեխնոլոգիաների կիրառումը էներգետիկայում. - Երևան, 2007. – 287 էջ:
5. **Абрамян Р.М.** О максимальном значении КПД регенеративного цикла Стирлинга // Изв. НАН Армении. Сер. Физика. - 2010. - Том 45, №3. - С. 210.

ГИУА (П). Материал поступил в редакцию 11.06.2010.

Ռ.Մ. ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ

**ԻՂԵԱԼԱԿԱՆ ՌԵԳԵՆԵՐԱՏՈՐԱՅԻՆ ՍՏԻՐԼԻՆԳԻ ՇԱՐԺԻՉԻ
ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՍՏԱՏՈՒՄԸ**

Ստացված է Ստիրլինգի շարժիչի օ.գ.գ.-ի կախումը ռեգեներատորի և բանոդ մարմնի զանգվածների հարաբերությունից՝ աշխատանքային բոլոր ցիկլերի համար: Ցույց է տրված, որ Ստիրլինգի շարժիչի օպտիմալ ՕԳԳ-ն աճում է աշխատանքի սկզբնական փուլում՝ կապված ռեգեներացիայի աստիճանի աճի հետ: Աշխատանքային ցանկացած ցիկլի համար ստացվել է ռեգեներացիայի աստիճանի և գործակցի կապը: Ստացված է ռեգեներացիայի աստիճանի սահմանային արժեքը և դրան համապատասխանող ՕԳԳ-ն, որը միշտ փոքր է նույն ջերմաստիճանային տիրույթում գործող Կարնոյի ցիկլի ՕԳԳ-ից: Նշվում է, որ ռեգեներատորի օպտիմալ օգտագործումը կարելի է իրականացնել շարժիչի աշխատանքի ընթացքում ռեգեներատորային գործակցի փոփոխման միջոցով՝ միավորից մինչև հնարավոր ամենամեծ արժեքը:

Առանցքային բառեր. ջերմային մեքենա, Ստիրլինգի ցիկլ, ռեգեներատոր, օ.գ.գ.:

R.M. ABRAHAMYAN

**ESTABLISHING THE STIRLING MODE WITH REGENERATOR OPERATION STEADY-
STATE CONDITION**

The dependence of the of Stirling cycle efficiency on the mass ratio of the regenerator and the working body, for all cycles of engine work is obtained. It is shown that optimal efficiency of Stirling cycle increases in the initial stage of the engine work which is associated with an increase in the degree of regeneration. The dependence between the degree of regeneration of the coefficient on regeneration for each cycle of work is obtained. The limit degree of regeneration and the corresponding efficiency is found. It is shown that the optimal use of the regenerator is possible with changing the regeneration coefficient while the machine running from 1 to maximum possible value in the stationary mode.

Keywords: heat engine, Stirling cycle, regenerator, efficiency.

Альберт Князевич Погосян
(к 70-летию со дня рождения)

17 августа исполнилось 70 лет со дня рождения известного армянского ученого в области трибологии, машиноведения и материаловедения, председателя



Армянского трибологического комитета, вице-президента Международного трибологического совета (ИТС), члена-корреспондента Национальной академии наук Армении, доктора технических наук, профессора **Альберта Князевича Погосяна**.

Свою научно-педагогическую деятельность А.К. Погосян начал в 1962 г. после окончания Ереванского политехнического института. С 1963 г. и по настоящее время работает в Государственном инженерном университете Армении, где прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой деталей машин, затем - директора Магистерской и Аспирантской школы. В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию, в 1982

г. - докторскую, а в

член-корр. НАН Армении.

1983 г. ему присвоено звание профессора. С 2000г. он

А.К. Погосян – известный специалист в области расчета и конструирования деталей и узлов трения машин на базе композиционных самосмазывающихся полимерных материалов. Он является основателем трибологической школы в Армении, а его работы в области повышения надежности и износостойкости машин по праву занимают важное место в научно-технической литературе.

Профессор Погосян А.К. – автор ряда оригинальных исследований и расчетных методов, посвященных разработке научных принципов создания наполненных полимерных материалов фрикционного и антифрикционного назначения; изучению явления фрикционного переноса и механизма самосмазывания; развитию теории и практики обеспечения виброустойчивости движения в условиях трения; синтезу и исследованию присадок к смазочным маслам и прогнозированию противозадирных свойств смазочного материала; разработке пластичных смазок с применением природного бентонита; изучению механизма высокотемпературного изнашивания фрикционных материалов тормозных устройств; физическому моделированию процессов трения и

изнашивания; прогнозированию работоспособности фрикционных пар по результатам ускоренных испытаний.

А.К. Погосян прошел прекрасную научно педагогическую школу. Будучи аспирантом МВТУ в Москве, он выполнял совместную с ИМАШ АН СССР научно-исследовательскую тему. Проходил научную стажировку в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета, затем были совместные научные работы в Мичиганском университете в США, в Империял колледже Лондонского университета, в Национальном техническом университете в Афинах, в Государственном университете Айовы в США. Список его научных трудов включает более 340 наименований, в том числе: 7 книг, 24 изобретения и 12 патентов. Участвовал в работах многих международных и всемирных конгрессов, симпозиумах и конференциях, в том числе нередко в качестве члена оргкомитета или сопредседателя секции.

А.К. Погосян возглавляет научную школу, сформировавшуюся на возглавляемой им кафедре в Ереванском политехническом институте. Подготовленные им научно-педагогические кадры, в том числе один доктор и 12 кандидатов наук, успешно развивают тематику его исследований. В деле развития трибологии в Армении значительную роль играет организованный им в 1974 г. Трибологический комитет, ныне член Международного трибологического совета (ИТС). Научно-организационная деятельность профессора А.К. Погосяна в составе Международного совета по трибологии, а также в Национальном комитете по трибологии широко известна научной общественности. Он - член редакционной коллегии журнала "Трение и износ", научного Совета НАН Армении, Американского общества инженеров механиков (ASME) и Международного координационного трибологического комитета. Является редактором отдела технических наук журнала "В мире науки" НАН Армении.

Редакция журнала, коллеги, друзья и ученики сердечно поздравляют Альберта Князевича с юбилеем, желают ему крепкого здоровья, новых творческих успехов и удачи в личной жизни.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ Գ.Խ., ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ Ա.Ա., ԶԱՔԱՐՅԱՆ Ա.Ա.

ՄԱՇԱԿԱՅՈՒՆ ՀԱԿԱՇՓԱԿԱՆ ՓՈՇԵՆՅՈՒԹԵՐԻ ՍՏԱՅՄԱՆ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆ 229

ՄԻՆԱՍՅԱՆ Զ.Ա., ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ Ա.Ն.

ՀԱԳՈՒՍՏԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ԼՎԱՅՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ 236

ՄԱՐԳՍՅԱՆ Լ.Ե., ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ Ն.Ռ.

ՊԻՐԻՏԱՅԻՆ ՊԱՐՓԱԿ ՈՍԿՈՒ ԵՎ ԱՐԾԱԹԻ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏ ԿՈՐԶՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ 242

ՄՈԱՏԱՍԵՄ Մ.Խ.

ԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԻ ՎԵՐԱՄՇԱԿՄԱՆ ՍՈՐԱԽՑՈՒԿԻ ՑԻԱՆԻԴԱՅԻՆ ՏԱՐԲԱԼՈՒԾՈՒՄԸ ԵՎ ԱԶՆԻՎ ՄԵՏԱՂՆԵՐԻ ԿՈՐԶՈՒՄԸ ԼՈՒԾՈՒՅԹԻՑ 248

ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ Լ.Վ., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Ս.Գ., ՂԱՐԻԲՅԱՆ Գ.Վ., ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Գ.Ս., ԳԱԼՍՅԱՆ Գ.Հ.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՅՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆԸ ՆՈՐ ԷՆԵՐԳԱԲԼՈԿՆԵՐԻ ՇԱՀԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԱՆՁՆԵԼՈՒ ՀԱՇՎԱՌՄԱՄԲ 257

ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ Վ.Պ., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Լ.Ա.

110-220 ԿՎ ԷԼԵԿՏՐԱՀԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԵՐԻ ՄԱՆԻՏԱՐԱՊԱՇՏՊԱՆԱԿԱՆ ԳՈՏԻՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ 266

ՇԱՂԳԱՍՅԱՆ Ն.Ա.

ԶԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆՆԵՐԻ ՏԱՐԲԵՐՈՒԹՅԱՆ ՉԱՓԻՉ ԿԵՐՊԱՓՈԽԻՉ 273

ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Գ.Է., ՄԵԼՔՈՒՍՅԱՆ Դ.Վ.

ՍՏԱՏԻԿ ՆԱՆՈՄԵՏՐԱՆՈՑ ՀԻՇՈՂ ՍԱՐՔԵՐՈՒՄ ՍՏԱՏԻԿ ԵՎ ԴԻՆԱՄԻԿ ԱՆՍԱՐՔՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՏԵՂԱՅՆԱՅՄԱՆ ԵՎ ԱԽՏՈՐՈՇՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄ 280

ՆԱՎՈՅԱՆ Զ.Է., ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ Հ.Գ.

ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆ ՄՐՅԱԿՅՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԱԿԻՑ ՈՒՆԵՅՈՂ ԻՆՏԵՐՆԵՏ ԿԱՊՈՒԴՈՒ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈԴԵԼ 288

ԱՎՇԱՐՅԱՆ Հ.Բ., ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Ռ.Գ.

ՔՈՄՓՅՈՒԹԵՐԱՅԻՆ ՑԱՆՅԻ ՇՂԹԱՅԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴ 296

ՄԻՄՈՆՅԱՆ Ռ.Հ., ՄԱՆՈՅԱՆ Ա.Ա., ՂՈՒԼՅԱՆ Ա.Գ.

ԲԱՐՁՐ ՃՇԳՐՏՈՒԹՅԱՄԲ ՄԻԿՐՈԶԵՐՄԱԿԱՅՈՒՆԱՅՈՒՅԻՉ 302

<i>ՄԻՆԱՍՅԱՆ Վ.Ա., ՄԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Ս., ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ Հ.Վ.</i>	
ԵՐԿՀԱՅԵԼԱՅԻՆ ՍՖԵՐԻԿ ԱՆՏԵՆԱՆԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԻ ԵՎ ՄՈՂԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՓԱԹԵԹԻ ՄՇԱԿՈՒՄ	306
<i>ՄԱՐԳՍՅԱՆ Վ.Կ.</i>	
ԹՎԱՅԻՆ ԼԱՅՆԱՏԻՐՈՒՅԹ ԵՌԱԲԱՂԱԴՐԻՉ ՍԵՅՄԱՉԱՓ	313
<i>ԹԵՐԶՅԱՆ Հ.Ա., ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ Հ.Ս., ՀԱԿՈԲՅԱՆ Ա.Է., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Ա.Ա.</i>	
ՎԵՐՋԱՎՈՐ ՏԱՐՐԵՐԻ ՄԵԹՈԴՈՎ ԴԱՇՏԱՅԻՆ ԽՆԴԻՐՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՀԱՄԱՐ ՕՊՏԻՄԱԼ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ ՑԱՆՅԻ ԿԱՌՈՒՑՄԱՆ ՄԱՍԻՆ	319
<i>ՊՈՂՈՍՅԱՆ Գ.Ա.</i>	
ԴԵՄՔԻ ԱՎՏՈՄԱՏ ՃԱՆԱՉՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ԲԱԶՄՅԻ ԾԱՎԱԼԻ ՆՎԱԶԵՑՈՒՄ	328
<i>ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ Զ.Ա., ԳԵՈԿՉՅԱՆ Օ.Կ., ԳԵՈՂԱԿՅԱՆ Կ.Տ., ԻՍՐԱՅԵԼՅԱՆ Ռ.Վ.</i>	
ՏԵՂԱԿԱՆ ԲԱԶՄԱԲՆՈՒՅԹ ԱՊԱՐԱՓՈՇԻՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ԱՌԱՆՑ ԹՐԾՄԱՆ ԽԵՅԱՆՑՈՒԹԵՐԻ ԲԱՐՁՐՈՐԱԿ ՓՈԽԱՐԻՆԻՉՆԵՐԻ ՍՏԱՑՄԱՆ ԵՎ ԶՆԱՐԱԿՄԱՆ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆԸ	334
<i>ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ Ռ.Մ.</i>	
ԻԴԵԱԼԱԿԱՆ ՌԵԳԵՆԵՐԱՏՈՐԱՅԻՆ ՍՏԻՐԼԻՆԳԻ ՇԱՐԺԻՉԻ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԿԱՅՈՒՆԱՑՎԱԾ ՌԵԺԻՄԻ ՀԱՍՏԱՏՈՒՄԸ	341
<i>ՊՈՂՈՍՅԱՆ Ա.Կ.</i>	
ԾՆՆԴՅԱՆ 70-ԱՄՅԱԿԻ ԿԱՊԱԿՑՈՒԹՅԱՄԲ	347

СОДЕРЖАНИЕ

<i>АГБАЛЯН С.Г., КАРАПЕТЯН Г.Х., ПЕТРОСЯН А.А., ЗАКАРЯН А.А.</i>	
ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	229
<i>МИНАСЯН З.А., МЕЛИКСЕТЯН А.Н.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТРОЕНИЯ И СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА ОДЕЖДЫ ВО ВРЕМЯ СТИРКИ	236
<i>САРГСЯН Л.Е., МАНУКЯН Н.Р.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭФФЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗАМКНУТЫХ В ПИРИТЕ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА	242
<i>МОАТАСЕМ М.Х.</i>	
ЦИАНИДНОЕ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ КЕКА ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ И ИЗВЛЕЧЕНИЕ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРА	248
<i>ЕГИАЗАРЯН Л.В., АКОБЯН С.Г., КАРИБЯН Г.В., АРУТЮНЯН Г.С., ГАЛСТЯН Г.Г.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ АРМЯНСКОЙ ЭЛЕКТРО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ВВОДА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ НОВЫХ ЭНЕРГОБЛОКОВ	257
<i>АРАКЕЛЯН В.П., АКОПЯН Л.А.</i>	
ОЦЕНКА САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ 110-220 КВ	266
<i>ШАХКАМЯН Н.А.</i>	
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ РАЗНОСТИ ТЕМПЕРАТУР	273
<i>АРУТЮНЯН Г.Е., МЕЛКУМЯН Д.В.</i>	
АЛГОРИТМ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В СТАТИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ УСТРОЙСТВАХ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ ВЫБОРКОЙ	280
<i>НАВОЯН З.Э., АЛАВЕРДЯН А.Г.</i>	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНТЕРНЕТ-СОЕДИНЕНИЯ, ИМЕЮЩЕГО МАКСИМАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ КОНКУРЕНТНОСТИ	288
<i>АВШАРЯН Г.Б., КИРАКОСЯН Р.Г.</i>	
МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ	296
<i>СИМОНЯН Р.А., САНОЯН А.А., ГУЛЯН А.Г.</i>	
ВЫСОКОТОЧНЫЙ МИКРОТЕРМОСТАТ	302

МИНАСЯН В.А., САРГСЯН А.С., АБРАМЯН Г.В.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ПАКЕТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И
РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ДВУХЗЕРКАЛЬНЫХ СФЕРИЧЕСКИХ
АНТЕНН **306**

САРКИСЯН В.К.

ЦИФРОВОЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫЙ ШИРОКОДИАПАЗОННЫЙ
СЕЙСМОМЕТР **313**

ТЕРЗЯН А.А., СУКИАСЯН Г.С., АКОПЯН А.Э., ГЕВОРГЯН А.А.

К ПОСТРОЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ ДЛЯ
РЕШЕНИЯ ПОЛЕВЫХ ЗАДАЧ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ **319**

ПОГОСЯН Г.А.

УМЕНЬШЕНИЕ ОБЪЕМА БАЗЫ ДАННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В
СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ЛИЦА **328**

ГЕОДАКЯН Д.А., ГЕОКЧЯН О.К., ГЕОДАКЯН К.Т., ИСРАЕЛЯН Р.В.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ И ГЛАЗУРИРОВАНИЯ ВЫСОКОКА-
ЧЕСТВЕННЫХ БЕЗОБЖИГОВЫХ ЗАМЕНИТЕЛЕЙ КЕРАМИКИ НА
ОСНОВЕ РАЗНОРОДНЫХ МЕСТНЫХ ПОРОД **334**

АБРАМЯН Р.М.

УСТАНОВЛЕНИЕ СТАЦИОНАРНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ
ИДЕАЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА С РЕГЕНЕРАТОРОМ **341**

ПОГОСЯН А.К.

К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ **347**

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., KARAPETYAN G.X., PETROSYAN A.A., ZAKARYAN A.A. TECHNOLOGY OF OBTAINING WEARPROOF ANTIFRICTIONAL POWDER MATERIALS	229
MINASYAN Z.A., MELIKSETYAN A.N. STUDY OF CHANGES IN STRUCTURE AND QUALITY OF CLOTHES MATERIALS DURING WASHING	236
SARGSYAN L.YE., MANUKYAN N.R. INVESTIGATION OF EFFECTIVELY RECOVERY PROCESS IN PYRITE- LOCKED GOLD AND SILVER	242
MOATASEM M.KH. CYANIDE LEACHING OF POLYMETALLIC ORE TREATMENT RESIDUUM AND THE RECOVERY OF NOBLE METALS FROM LEACH LIQUOR	248
YEGHIAZARYAN L.V., HAKOBYAN S.G., GHARIBYAN G.V., HARUTYUNYAN G.S., GALSTYAN G.H. THE ARMENIAN POWER SYSTEM OPERATION STABILITY INVESTIGATION ACCOUNTING PUTTING NEW POWER SYSTEMS INTO OPERATION	257
ARAKELYAN V.P., HAKOBYAN L.A. EVALUATION OF SANITARY-PROTECTIVE 110-220 KV ELECTRIC TRANSMISSION LINE ZONES	266
SHAGHGAMYAN N.A. MEASURING CONVERTER OF TEMPERATURE DIFFERENCE	273
HARUTYUNYAN G.E., MELKUMYAN D.V. FAULT LOCATION AND DIAGNOSIS ALGORITHM FOR STATIC AND DYNAMIC FAULTS IN SRAMS	280
NAVOYAN Z.E., ALAVERDYAN H.G. MATHEMATICAL MODEL OF INTERNET CHANNEL HAVING MAXIMAL CONTENTION RATIO	288
AVSHARYAN H.B., KIRAKOSSIAN R. G. A METHOD FOR DESIGNING A COMPUTER NETWORK	296
SIMONYAN R.H., SANOYAN A.A., GHULYAN A.G. HIGH-ACCURACY MICRO-THERMOSTAT	302

MINASYAN V.A., SARGSYAN A.S., ABRAHAMYAN H.V.	
SOFTWARE PACKAGE FOR MODELLING AND DESIGN OF DOUBLE REFLECTOR SPHERICAL ANTENNAS	306
SARGSYAN V.K.	
BROADBAND THREE-COMPONENT SEISMOMETER WITH DIGITAL OUTPUT	313
TERZIAN H. A., SUKIASYAN H. S., HAKOBYAN A. E., GEVORGYAN A.A.	
ON CONSTRUCTION OF OPTIMAL MESH FOR SOLUTION OF FIELD PROBLEMS BY FINITE-ELEMENT METHOD	319
POGHOSYAN G.A.	
DECREASING VOLUME OF IMAGE DATABASE FOR AUTOMATION FACE RECOGNITION SYSTEM	328
GEODAKYAN J.A., GEOKCHYAN O.K., GEODAKYAN K.T., ISRAELYAN R.V.	
THE OPPORTUNITY OF ACHIEVING AND GLAZING HIGH-QUALITY SUBSTITUTES OF CERAMICS-SUBSTANCE WITHOUT FIRING BASED ON VARIOUS LOCAL ROCK-POWDERS	334
ABRAHAMYAN R.M.	
ESTABLISHING THE STIRLING MODE WITH REGENERATOR OPERATION STEADY-STATE CONDITION	341
POGHOSYAN A.K.	
TO THE 70-TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH	347