

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 ԿՈԼԵԳԻԱ

Ռ.Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ (գլխավոր խմբագիր), Ա.Խ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ (գլխ. խմբ.
տեղակալ), Զ.Կ. ՍՏԵՓԱՆՅԱՆ (պատասխանատու քարտուղար), Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ,
Վ.Վ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Ժ.Դ. ԴԱՎԻԴՅԱՆ, Ս.Պ. ԴԱՎԹՅԱՆ, Ս.Մ. ԴԱԶԱՐՅԱՆ,
Ո.Զ. ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ, Վ.Շ. ՄԵԼԻԿՅԱՆ, ՅՈՒ.Լ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Վ.Ս. ՍԱՐԳՍՅԱՆ,
Վ.Ս. ՍԱՖԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Մ.Գ. ՍՏԱԿՅԱՆ, Ա.Թ. ՔՈՒՉՈՒԿՅԱՆ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Р.М. МАРТИРОСЯН (главный редактор), А.Х. ГРИГОРЯН (зам. глав. редактора),
З.К. СТЕПАНЯН (ответственный секретарь), С.Г. АГБАЛЯН, В.В. БУНИАТЯН,
Ж.Д. ДАВИДЯН, С.П. ДАВТЯН, С.М. КАЗАРЯН, А.Т. КУЧУКЯН, В.З. МАРУХЯН,
В.Ш. МЕЛИКЯН, Ю.Л. САРКИСЯН, В.С. САРКИСЯН, В.С. САФАРЯН,
С.О. СИМОНЯН, М.Г. СТАКЯН

EDITORIAL BOARD

R.M. MARTIROSSYAN (editor-in-chief), A.Kh. GRIGORYAN (vice-editor-in-chief),
Z.K. STEPANYAN (executive secretary), S.G. AGHBALYAN, V.V. BUNIATYAN,
Zh.D. DAVIDYAN, S.P. DAVTYAN, S.M. GHAZARYAN, A.T. KUCHUKYAN,
V.Z. MARUKHYAN, V.Sh. MELIKYAN, YU.L. SARGSYAN, V.S. SARKISSYAN,
V.A. SAFARYAN, S.H. SIMONYAN, M.G. STAKYAN

Հրատ. խմբագիր՝

Ժ.Ս. ՄԵՅԴԱՆՅԱՆ

Խմբագիրներ՝

Հ.Յ. ՊԵՏԴՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ԴԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. техн. наук), 2017

В.А. АНАНЯН

**РАЗДАЧА ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ
ДАВЛЕНИЕМ ИМПУЛЬСНО-МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Рассмотрена возможность деформирования тонкостенной трубчатой заготовки раздачей импульсным магнитным полем с целью решения технологически особой задачи с получением трубчатой детали сложной конфигурации с большими относительными деформациями без повреждения обработанных поверхностей и с отверстиями без заусениц. Выявлено напряженно-деформированное состояние детали, а также приведена расчётная формула работы деформирования с целью определения предварительно накопленной электроэнергии в конденсаторной батарее магнитно-импульсной установки.

Ключевые слова: импульсно-магнитное поле, раздача, тонкостенная заготовка, матрица, напряженное состояние, работа.

Введение. Импульсные методы деформирования отличаются мобильностью, простотой и низкой стоимостью применяемой оснастки, не требуют установки громоздкого оборудования, при этом дают значительную экономию.

Развитие авиационной и ракетной техники, приборостроения, химического, пищевого машиностроения и других отраслей промышленности требует дальнейшего внедрения современных импульсных методов деформирования для осуществления всевозможных операций, в частности, формоизменения и разделительных операций, особенно в тонкостенных заготовках. Многие из этих операций не могут быть осуществлены из-за технологически обусловленной труднодоступности и специфики условий деформирования, а также налагаемых на деталь жестких ограничений технических условий.

Наиболее прогрессивным из этих методов для формоизменения и штамповки тонкостенных и полых небольших заготовок является их деформирование энергией импульсно-магнитного поля (ИМП). Этот метод имеет ряд преимуществ по сравнению с известными методами. При деформировании ИМП давление на заготовку принципиально отличается от нагружения при взрыве взрывчатого вещества (ВВ) в жидкости и электрогидравлического способа нагружения тем, что проникновение электромагнитного поля в материал приводит к возникновению объемно-распределенной нагрузки по толщине заготовки. Сказанное дает возможность достижения значительных относительных деформаций без повреждения предварительно обработанных поверхностей,

качественно изменяет характер концентрации напряжений, существенно влияет на показатели особенностей напряжений и их распределения в зонах концентрации [1-4].

Постановка задачи. Рассмотрим местное формоизменение локальной части трубки раздачей ИМП в зависимости от запаасаемой в конденсаторной батарее электроэнергии. Выявим напряжённое состояние деформируемой стенки, работу деформирования, а также произведем расчёт необходимой запаасаемой энергии в конденсаторной батарее для осуществления процесса. На рис. 1 показана находящаяся в трубке катушка индуктивности, на которую разряжается накопленная в конденсаторной батарее электроэнергия.

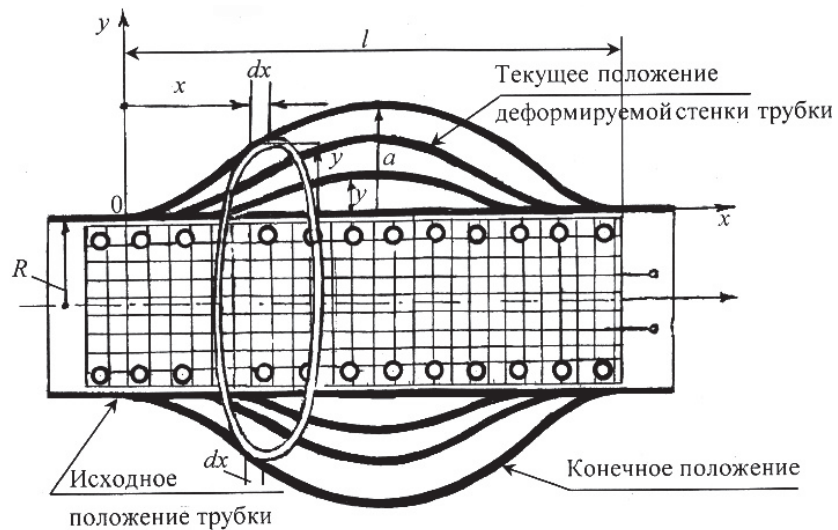


Рис. 1. Раздача трубки давлением ИМП

Принимая число витков катушки (число проводников с током) равным числу наведенных токов стенки трубки, в качестве зеркального отображения получим ту же модель взаимодействия, что и в случае вырубки-пробивки тонкостенной заготовки [5]. Силовое воздействие в середине зоны нагружения максимально, а по краям, наоборот, минимально. Больше всего от раздачи пройденный путь будет у срединных кольцевых элементов с уменьшением раздачи до нуля у крайних элементов.

Решение. Рассмотрение опытных образцов [1, 4] показывает, что часть трубки при свободной раздаче (концы трубки не защемлены), по всей вероятности, в сечении примет форму, близкую к синусоиде (см. на рис. 1 текущее положение деформируемой стенки). Выбрав координатную систему Oxy для деформирующихся кольцевых профилей элементов трубки, можем записать

$$y = a \sin kx, \quad (1)$$

где a - максимальная амплитуда раздачи у кольцевых элементов, равная $0 \leq a \leq a_{\max}$.

На рис. 2 показан кольцевой элемент трубки, равномерно нагруженный текущим давлением p , откуда видно, что имеет место напряженное состояние, которое можно представить уравнением Лапласа

$$\frac{p}{s} - \frac{\sigma_\rho}{R_\rho} - \frac{\sigma_\theta}{\rho_\theta} = 0. \quad (2)$$

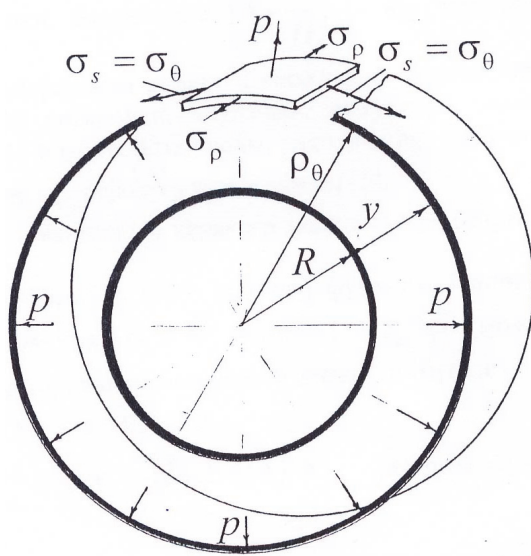


Рис.2. Кольцевой элемент трубки, нагруженный импульсным давлением p

Согласно принятой схеме, когда концы трубки свободны (не защемлены), имеем

$$\sigma_\rho \ll \sigma_\theta, \quad R_\rho \gg \rho_\theta = R + y.$$

Принимая $\sigma_\rho = 0$, уравнение (2) примет вид

$$\frac{p}{s} - \frac{\sigma_\theta}{\rho_\theta} = 0, \quad \sigma_\theta = \frac{p}{s} \rho_\theta. \quad (3)$$

При $\Delta \ll s$ (Δ - глубина проникновения магнитного поля в материал деформируемой заготовки) давление магнитного поля выражается равенством [5,6]

$$p = \frac{\mu H^2}{2}, \quad (4)$$

где μ - относительная магнитная проницаемость; H - напряженность магнитного поля.

Глубина проникновения магнитного поля в материал деформируемой заготовки выражается формулой [5,6]

$$\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \gamma}}, \quad (5)$$

где ω - круговая частота разряда; γ - удельная электрическая проводимость материала заготовки.

При неполном затухании магнитного поля в заготовке среднее давление определяется формулой [5,6]

$$p = \frac{\mu H_1^2}{2} \left(1 - \frac{H_2^2}{H_1^2} \right). \quad (6)$$

Здесь H_1 и H_2 - действующие значения напряженностей на входной и выходной поверхностях заготовки. Выражение $\left(1 - \frac{H_2^2}{H_1^2} \right) = k_{oc}$ называется коэффициентом ослабления. Этот коэффициент является сложной функцией, зависит от параметров импульсно-магнитной установки, заготовки, индуктора, взаимного расположения индуктора и заготовки и от свойств среды, находящейся за пределами заготовки. Для удобства определения k_{oc} строятся номограммы [5].

На рис. 3 показан известный характер зависимостей разрядного тока и давления ИМП во времени [4, 7].

Таким образом, формула (3) представляет собой сложную функцию. Принимая, что деформация происходит без упрочнения ($\sigma_i = \sigma_s = const$) и $\varepsilon_p \approx 0$, можем определить работу пластического деформирования кольцевого элемента трубки:

$$dA = \sigma_i \varepsilon_i dv_i = \sigma_i \varepsilon_\theta dv_i. \quad (7)$$

В нашем случае $\varepsilon_\theta = \left| \varepsilon \right|_{\max}$, где $\varepsilon_i = (1 \div 1,155) \cdot \left| \varepsilon \right|_{\max}$ [3], поэтому принято $\varepsilon_i = \varepsilon_\theta$.

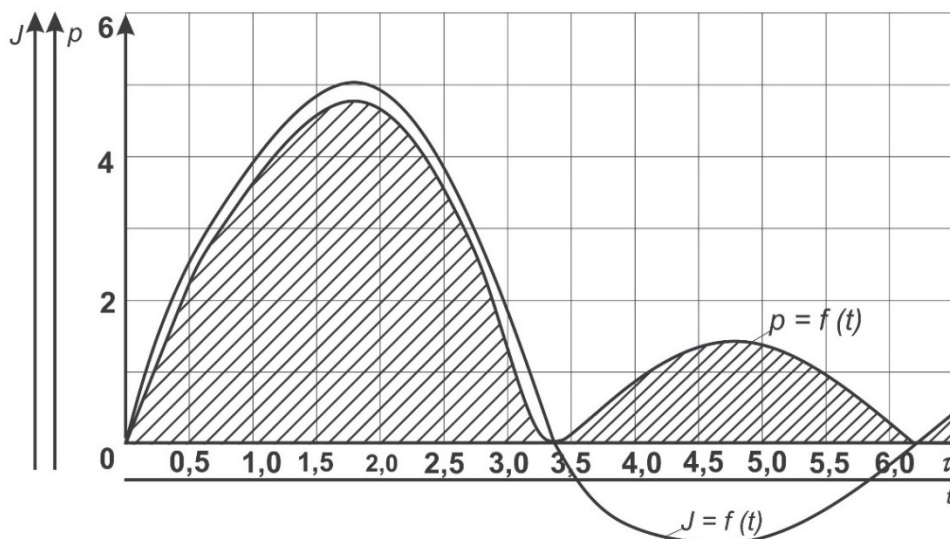


Рис.3. Характер зависимостей силы разрядного тока и давления поля от времени

Из рис. 2 можно определить

$$\varepsilon_\theta = \frac{2\pi(R+y) - 2\pi R}{2\pi R} = \frac{y}{R}. \quad (8)$$

Особо отметим, что при импульсно-магнитном деформировании тонкая стенка заготовки по всей “толще” испытывает объемно-распределенную нагрузку. Исследования [1] показывают, что относительная деформация (ε) может достичь 100...150% и более. В нашем случае также ожидаются значительные деформации без разрыва стенки и без повреждения предварительной полированной поверхности.

Объем кольцевого элемента шириной dx будет

$$dv_i = 2\pi(R+y)sdx. \quad (9)$$

Подставив (8), (9) и (1) в равенство (7), получим

$$dA_{nl} = \sigma_s \frac{y}{R} 2\pi(R+y)sdx = \frac{\sigma_s 2\pi a \sin kx}{R} (R + a \sin kx) dx.$$

Полная работа пластической деформации будет

$$A_{nl} = 2 \int_0^{l/2} \frac{\sigma_s 2\pi s a}{k} \left(\sin kx + \frac{a}{R} \sin^2 kx \right) dkx. \quad (10)$$

Здесь

$$\int \sin^2 kx dkx = \int \frac{(1 - \cos 2kx)}{2} dkx = \frac{1}{2} \left(kx - \frac{\sin 2kx}{2} \right) = \frac{kx}{2} - \frac{\sin 2kx}{4},$$

$$\int \sin kx dkx = -\cos kx.$$

Подставив последние уравнения в (10), после интегрирования получим

$$A_{nl} = \frac{4\pi a s}{k} \sigma_s \left[1 - \cos \frac{kl}{2} + \frac{a}{R} \left(\frac{kl}{4} - \frac{\sin kl}{4} \right) \right]. \quad (11)$$

При раздаче трубки до максимальной амплитуды $a_{\max}$ в (1), когда $x = \frac{l}{2}$, $y = y_{\max} = a_{\max}$, получим $y_{\max} = a_{\max} \sin k \frac{l}{2}$, откуда $\frac{kl}{2} = \frac{\pi}{2}$, $k = \frac{\pi}{l}$.

Подставляя последнее уравнение в (11), окончательно получим

$$A_{nl} = 4als \left(1 + \frac{\pi a}{4R} \right) \sigma_s. \quad (12)$$

Исходя из опыта деформирования тонкостенной заготовки при раздаче ИМП, можем определить КПД процесса раздачи: $\approx 10\%$ от W_0 (запасаемой энергии в конденсаторной батарее), следовательно,

$$W_0 = \frac{A_{nl}}{\eta_{nc}}. \quad (13)$$

На практике могут быть использованы охватывающие трубку внешние штампы (рис. 4), где происходит комбинированное деформирование: раздача трубки с одновременным формоизменением и пробивкой отверстий.

Таким образом, получается трубка сложной конфигурации без повреждения полированных поверхностей, а также с пробитыми отверстиями без заусениц [1, 2, 6].

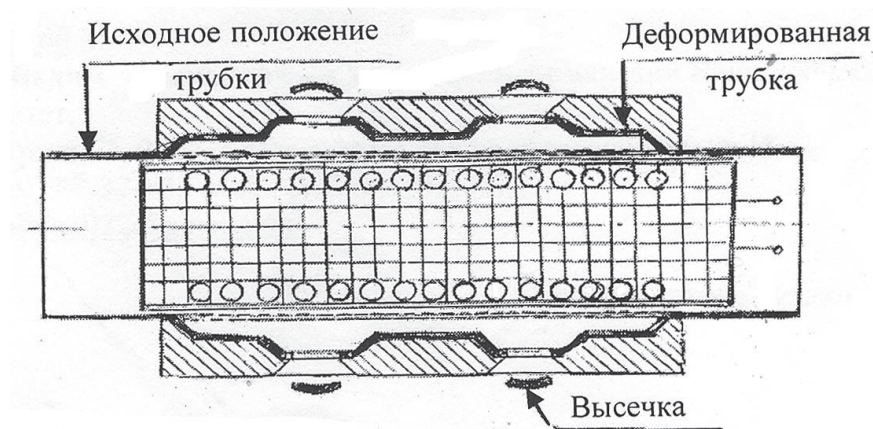


Рис. 4. Раздача трубки с комбинированным деформированием

При такой пробивке работа на деформирование запишется в виде

$$A = A_{\text{пласт}} + A_{\text{изгиба}} + A_{\text{пробивки}}, \quad (14)$$

т.е. надо учесть также работу на изгибы и на пробивку [1, 3, 7, 8], после чего можно определить предварительно запасаемую энергию в конденсаторной батарее. Окончательный точный расчёт может быть произведен с учетом практики деформирования конкретной детали.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кононенко В.Г., Ананян В.А. Экспериментальные исследования к анализу процессов вырубки-пробивки тонкостенной листовой заготовки импульсным магнитным полем, сконцентрированным по контуру вырубки // В сб.: Самолётостроение. Техника воздушного флота. – Харьков, 1980. – Вып. 47. – С. 109-116.
2. Опыт формирования металлических деталей сложной конфигурации / О.Г. Цыплаков и др. – ЛДНТП, 1968. – 24 с.
3. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. - М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
4. Батыгин Ю.В., Левинский В.И. Диффузионные процессы при раздаче трубчатых заготовок в магнитно-импульсной обработке металлов // Электротехника і Електромеханіка. – Харьков: ХПИ, 2005. – N 2. – С. 72-77.
5. Кононенко В.Г., Ананян В.А. К анализу динамики процесса вырубки-пробивки тонкостенной листовой заготовки импульсным магнитным полем, сконцентрированным по контуру вырубки // Обработка металлов давлением в машиностроении. – 1982. – Вып. 18. – С. 3-8.
6. Белый И.В., Фертик С.М., Хименко Л.Т. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов. – Харьков: Вища школа, 1977. - 168 с.

7. **Ананян В.А.** Магнитно-импульсная пробивка тонколистовой заготовки метанием пуансона // Изв. НАН Армении. Механика. - 2008. - Т.61, №4. - С.52-59.
8. **Ананян В.А.** Деформированное состояние в очаге деформации на кромке отверстия и работа деформирования при магнитно-импульсной пробивке тонколистовой заготовки // Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. – 2002. - Т.55, №3. - С.385-391.

Национальный аграрный университет Армении. Материал поступил в редакцию 11.06.2016.

Վ.Ա. ԱՆԱՆՅԱՆ

**ԽՈՂՈՎԱԿԱԶԵՎ ԲԱՐԱԿԱՊԱՏ ՆԱԽԱՊԱՏՐԱՍՏՈՒԿԻ ԸՆԴԱՐՃԱԿՈՒՄԸ
ՄԱԳՆԻՍԱ-ԻՄՊՈՒԼՍԱՅԻՆ ԴԱՇՏՈՎ**

Դիտարկված է իմպուլսամագնիսական դաշտով ընդարձակված խողովակաձև բարակապատ նախապատրաստուկի դեֆորմացիայի հնարավորությունը՝ լուծելու համար տեխնոլոգիական հատուկ խնդիր՝ ստանալ հարաբերականորեն մեծ դեֆորմացումներով բարդ ձևափոխություններով խողովակաձև դետալներ՝ առանց վնասելու մշակվող մակերևույթները և անձեպ անցքերով: Բացահայտվել է դետալի լարվածադեֆորմացիոն վիճակը, ինչպես նաև ներկայացված է դեֆորմացիայի աշխատանքի հաշվարկային բանաձևը՝ որոշելու համար մագնիսաիմպուլսային տեղակայանքի կոնդենստորային մարտկոցում նախնական կուտակված էլեկտրաէներգիան:

Առանցքային բառեր. իմպուլսա-մագնիսական դաշտ, ընդարձակում, բարակապատ նախապատրաստուկ, մատրից, լարվածային վիճակ, աշխատանք:

V.A. ANANYAN

**EXPANSION OF A THIN-WALLED PIPE BLANK BY THE PRESSURE OF A
MAGNETIC-PULSE FIELD**

The possibility of deformation of a thin-walled pipe blank is considered by a magnetic pulse field aimed at solving the specific technological practical problem in order to obtain complex structure pipe parts which have large relative deformation, without damaging the polished surface, and without filing the holes. The pipe part stress-strain state is revealed, as well as the calculation formula for the deformation impact is given to determine the needed energy accumulated in the magnetic-impulse battery.

Keywords: magnetic-pulse, distribution, thin-sheet, blank, matrix, stress state, operation.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Գ.Ա. ՎԱՍԻԼՅԱՆ, Ա.Ռ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Cu+1,0%Cr+0,8%Zr+10%Cu₂ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ

ՆՅՈՒԹԻ ՖԻԶԻԿԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ

ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել են Cu+1,0%Cr+0,8%Zr+10%Cu₂ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկամեխանիկական հատկությունները: Ցույց է տրվել, որ ծակոտկեն մամլվածքի տաք արտամղումն ապահովում է գործնականում անծակոտկեն կառուցվածք և բարձր մեխանիկական հատկություններ՝ $\sigma_{\theta} = 350...360$ ՄՊա, HB = 1200...1300 ՄՊա: Կոմպոզիտային նյութի տաք արտամղման ժամանակ մետաղաթելքի հատկությունները մայրակի նյութում օգտագործվում են ամբողջությամբ: Տաք արտամղումը բարձրացնում է «մետաղաթելք-մայրակ» կոնտակտային ամրությունը, կոդմնորոշում և վերաբաշխում է մետաղաթելքը մայրակում՝ պլաստիկ դեֆորմացման ուղղությամբ: Արդյունքում՝ մետաղաթելքի դեֆորմացումը և ծավալային պարունակությունն ազդում են կոմպոզիտային նյութի ամրության, ջերմահաղորդականության և էլեկտրահաղորդականության վրա՝ նշանակալիորեն բարձրացնելով դրանք:

Առանցքային բառեր. փոշեկոմպոզիտային նյութ, ամրանավորում, ջերմամաշակում, դիսպերս կարծրացում, ամրություն, կարծրություն, մածուցիկություն, ջերմակայունություն, էլեկտրահաղորդականություն:

Ներածություն. 21-րդ դարում տեխնիկական առաջընթացն անհնար է պատկերացնել առանց նոր նյութերի ստեղծման, որոնցից պահանջվում է բարձր ամրություն, կարծրություն, ջերմակայունություն, հրամրություն, հրակայունություն, տեսակարար ամրություն, կոռոզիակայունություն, ջերմահաղորդականություն, էլեկտրահաղորդականություն և այլն: Այս նյութերի ստեղծման բնագավառում մեծ հետաքրքրություն են ներկայացնում դիսպերս մասնիկներով կարծրացող և դիսպերս հատիկներով ամրացվող մետաղական հիմքով կոմպոզիտային նյութերը, որոնցից առաջինում դիսպերս մասնիկների չափերը տատանվում են 10...100 նմ, իսկ ծավալային պարունակությունը՝ 1...15 ծավ.%, մինչդեռ երկրորդում դիսպերս հատիկների չափերը գերազանցում են 1,0 մկմ-ը, իսկ ծավալային պարունակությունը՝ մոտավորապես 25 ծավ.%. Հատկությունների բազմազանության տեսանկյունից առավել հետաքրքիրն են մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերը, որոնց մեջ մետաղական թելքերի տրամագիծը տատանվում է 1,0 մկմ-ի մասերից մինչև մի քանի տասնյակ և հարյուր մկմ, իսկ ծավալային պարունակությունը՝ մի քանի %-ից մինչև 70 ծավ. % և ավելի [1, 2]:

Մետաղական թելքերով ամրանավորված կոմպոզիտային նյութերի առանհատկությունն այն է, որ դրանք օժտված են բարձր ամրացման գործակցով, իսկ կառուցվածքային տեսակետից՝ ամրանավորող ֆազի մեկ չափը մեծ է, մինչդեռ մյուս երկու խմբերի կոմպոզիտային նյութերում ամրացնող մասնիկները համարյա հավասարառանցք են: Կոմպոզիտային նյութերի հատկությունները խիստ կերպով կախված են բովախառնուրդի մեջ ավելացված դիսպերս հատիկների տրամագծից, մետաղաթելքերի l/d հարաբերությունից, ինչպես նաև ջերմային մշակման ընթացքում մայրակից անջատված դիսպերս մասնիկների չափերից:

Կոմպոզիտային նյութերի ստացման բնագավառում փոշեմետալուրգիան ունի լայն հնարավորություններ և հեռանկարային մեթոդներից մեկն է: Այսպիսի նյութերը պետք է ունենան անձակոտկեն կառուցվածք և բարձր ֆիզիկա-մեխանիկական հատկություններ, որոնք գործնականորեն հնարավոր է ապահովել տաք արտամղման և ջերմային մշակման միջոցով [3-6]: Նշված նյութերը մեծ կիրառություն են ստացել կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների պատրաստման բնագավառում, որոնցից առաջին հերթին պահանջվում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն և ջերմակայունություն:

Ելնելով վերը նշվածից՝ հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել բարձր էլեկտրահաղորդականությամբ և ջերմակայունությամբ օժտված, դիսպերս մասնիկներով (ֆազերով) կարծրացող և պղնձյա թելքերով ամրանավորված $Cu+1,0\%Cr+0,8\%Zr+10\%Cu_p$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի ֆիզիկա-մեխանիկական հատկությունները:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը. Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդներն աշխատում են բարդ պայմաններում, հատկապես՝ մեխանիկական ուժերի և ջերմության ազդեցության տակ [7-9]: Կախված եռակցվող մետաղներից, նրա չափերից և սառեցման պայմաններից՝ էլեկտրոդի ծայրում ջերմաստիճանը բարձրանում է մինչև $600...700^{\circ}C$, իսկ տեսակարար ճնշումը՝ $300...400$ ՄՊա:

Ելնելով վերը նշվածից՝ էլեկտրոդներից պահանջվում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն, լայն ջերմաստիճանային տիրույթում բարձր մեխանիկական հատկություններ, բավարար մաշակայունություն, բարձր ջերմահաղորդականություն, չեռակցվելու հատկություն եռակցվող մետաղի հետ բարձր ջերմաստիճաններում, որն առաջանում է «եռակցվող դետալ-էլեկտրոդ» սահմանում, կոռոզիակայունություն, շիկակայունություն և ցածր արժեք ու պարզ կառուցվածք: Այս հատկությունների ապահովման լավագույն նյութը պղինձը և նրա համաձուլվածքներն են, ինչպիսիք են՝ BpX և Mx տիպի բրոնզները (ГОСТ 18175-72): Mx մակնիշի բրոնզներից ամենամեծ հրամրությամբ օժտված են այն համաձուլվածքները, որոնց քիմիական բաղադրությունը համընկնում է քվադրիմար կտրվածքի եռակի և քառակի համակարգին, օրինակ, բրոնզ $Mx86$, պարունակությունը՝ $0,3...0,5\% Cr$,

0,2...0,35 % Zr: Համաշխարհային պրակտիկայում գոյություն ունեցող բրոնզներից այս դասին են պատկանում մելորի-3 (0,5% Cr-ին բրոնզ) և մելորի-22 (Cd-Zr, 1,2% Cd և 0,3% Zr) բրոնզները: Էլեկտրոդների նյութերից են նաև շիկակայուն բրոնզները, որոնք ամրանում են ջերմամեխանիկական մշակման միջոցով: Դրանք նախատեսված են չժանգոտվող և շիկակայուն պողպատների եռակցման համար:

Անձակոտկեն նմուշների ամրությունը, կարծրությունը և հարվածային մածուցիկությունը որոշվել են համապատասխանաբար ըստ ԳՈՍՏ 1412-85-ի, ԳՈՍՏ 9012-95-ի, ԳՈՍՏ 9013-95-ի և ԳՈՍՏ 9454-78-ի:

Մշակված փաշեհամաձուլվածքների ջերմահաղորդականությունը չափվել է ստացիոնար մեթոդով գլանաձև նմուշների վրա և հաշվարկել է

$$\chi = \frac{WL}{\Delta TS} \cdot \frac{q_{\text{տ}}}{q_{\text{մ}}}$$

բանաձևով [10], որտեղ χ -ն ջերմահաղորդականությունն է, W-ն՝ ջերմության քանակն ըստ ժամանակի միավորի, L-ը՝ նմուշի երկարությունը, ΔT -ն՝ նմուշի ջերմաստիճանային գրադիենտը, S-ը՝ նմուշի լայնական հատույթի մակերեսը:

Հետազոտության արդյունքները. Cu-Cr-Zr-Cu_բ բաղադրությամբ փոշեհամաձուլվածքների մեխանիկական փորձարկումների արդյունքները ցույց են տալիս, որ Zr-ի ու Cr-ի ավելացումը բարձրացնում է կարծրությունն ու ամրության սահմանը, բայց բացասաբար է ազդում պլաստիկության վրա հատկապես այն դեպքում, երբ Zr>0,6% և Cr>1,6%: Աղ. 1, 2 և 3-ում բերված են Cu-Cr-Zr-Cu_բ բաղադրությամբ փոշեհամաձուլվածքների մեխանիկական փորձարկումների արդյունքները:

Աղյուսակ 1

Անձակոտկեն Cu-Cr-Zr-Cu_բ համաձուլվածքների մեխանիկական հատկությունները՝ կախված Zr-ի բաղադրությունից, երբ Cr=1,0%, Cu_բ=10%

Zr-ի բաղադրությունը, %	Ջգման ամրության սահմանը՝ σ_s , ՄՊա	Հարվածային մածուցիկությունը՝ KCU, Ջ/սմ ²	Կարծրությունը՝ HB, ՄՊա
0,15	335,5	8,0	980
0,30	347,0	7,8	1030
0,60	359,1	7,5	1110
0,90	366,3	6,4	1180
1,10	370,0	5,5	1220

Cu-Cr-Zr-Cu_p անձակոտկեն համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը Cr-ի բաղադրությունից, երբ Zr=0,8%, Cu_p=10%

Cr-ի բաղադրությունը, %	Ձգման ամրության սահմանը՝ σ_d , ՄՊա	Հարվածային մածուցիկությունը՝ KCU, Ջ/սմ ²	Կարծրությունը՝ HB, ՄՊա
0,15	288,0	8,1	830
0,30	305,0	8,0	980
0,90	335,0	7,7	1050
1,50	347,0	7,1	1120
1,75	356,1	6,5	1210

Cu-Cr-Zr-Cu_p անձակոտկեն համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների կախվածությունը Cu_p բաղադրությունից, երբ Zr=0,8%, Cr=1,0%, մնացածը՝ Cu

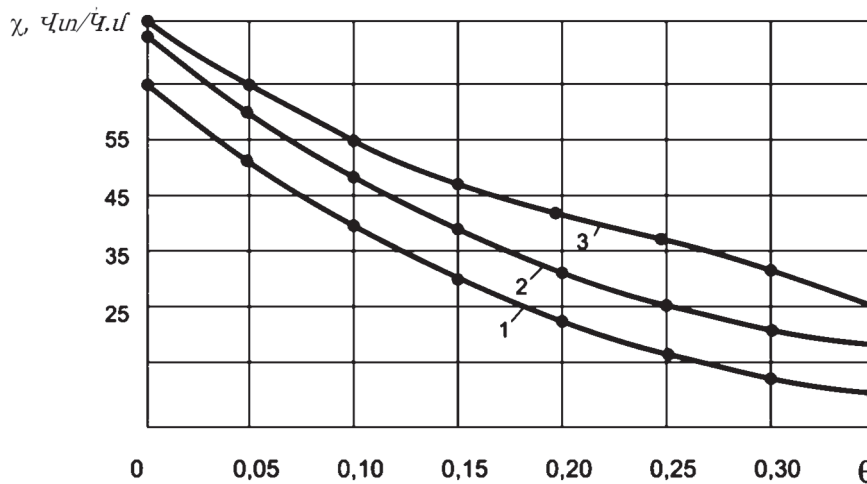
Cu _p -ի բաղադրությունը, %	Ձգման ամրության սահմանը՝ σ_d , ՄՊա	Հարվածային մածուցիկությունը՝ KCU, Ջ/սմ ²	Կարծրությունը՝ HB, ՄՊա
5,0	368,6	6,8	1350
7,5	364,7	7,2	1320
10,0	351,8	7,7	1210
12,5	347,2	8,0	1180
15,0	345,9	8,2	1050

Ինչպես տեսնում ենք, նմուշների ամրության սահմանը բավականին բարձր է՝ 340...400 ՄՊա: Zr-ի և Cr-ի պարունակության ավելացմամբ կարծրությունն ու ամրության սահմանը սկզբում մեծանում են, իսկ հետո կայունանում: Ինչպես երևում է աղ. 1, 2 և 3-ից, Cu-Cr-Zr-Cu_p համաձուլվածքի մեխանիկական հատկությունների օպտիմալ բաղադրություններն են՝ Zr=0,6...0,9%, Cr=1,0%, Cu_p=10%, մնացածը՝ Cu:

Մշակված փոշեհամաձուլվածքի ջերմահաղորդականությունը կազմում է 65-75 Վտ/Գ.սմ, այն դեպքում, երբ հայտնի է, որ պղնձի հիմքով կոնստրուկցիոն համաձուլվածքներինը կազմում է 30...50 Վտ/Գ.սմ [11]: Համեմատության կարգով որոշվել են ծակոտկեն և անձակոտկեն Cu-Cr-Zr-Cu_p համաձուլվածքների ջերմահաղորդականությունները: Նկ. 1-ում բերված է ջերմահաղորդականության կախվածությունը ծակոտկենությունից և թելքերի տոկոսային պարունակությունից: [12] աշխատանքում ներկայացված է ջերմահաղորդականության բանաձևային կախվածությունը ծակոտկենությունից՝ $\chi = \chi_0(1-\theta)^2$, որտեղ χ -ն ջերմահաղորդականության թվային բնութագիրն է որոշակի ծակոտկենության դեպքում, χ_0 -ն՝ ջերմահաղորդականու-

թյան թվային բնութագիրը անծակոտկեն համաձուլվածքի դեպքում, θ -ն՝ ծակոտկենությունը:

Ինչպես երևում է նկ. 1-ից, հաշվարկների և գիտափորձերի արդյունքները բավարար ճշտությամբ համընկնում են:

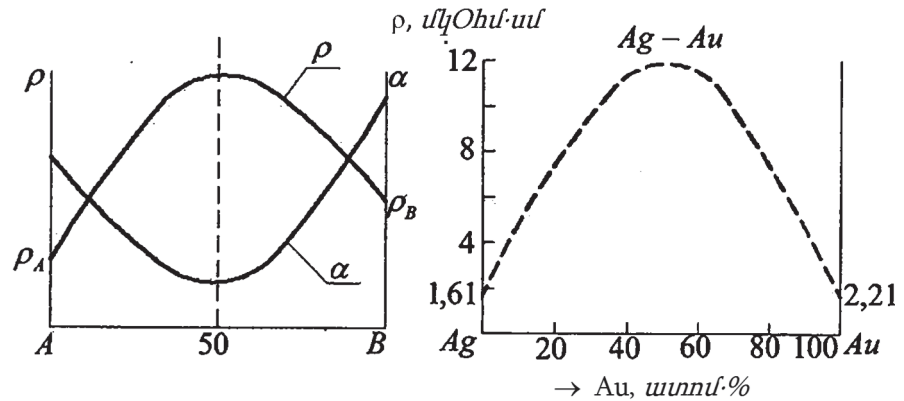


Նկ. 1. Cu-Cr-Zr-Cu_p համաձուլվածքի ջերմահաղորդականության կախվածությունը ծակոտկենությունից. 1- Cu_p=5 %, 2- Cu_p=10 %, 3- Cu_p=15 %

Կոնտակտային եռակցման էլեկտրոդների խիստ կարևոր հատկություն է էլեկտրահաղորդականությունը, որը հնարավորություն է տալիս ապահովել որակյալ եռակցում: Պիևդ լուծույթի առաջացման ժամանակ մետաղի էլեկտրահաղորդականությունը նվազում է [13]: Սա ընդհանուր կանոն է նույնիսկ այն դեպքում, երբ ցածր էլեկտրահաղորդականություն ունեցող A մետաղում լուծվում է բարձր էլեկտրահաղորդականություն ունեցող B մետաղ: Դա բացատրվում է լուծիչ մետաղի բյուրեղային ցանցի աղավաղմամբ և, ըստ երևույթին, նաև քիմիական փոխներգործությամբ: Կուրնակովի և նրա աշակերտների ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ անսահմանափակ պիևդ լուծույթներում լուծվող մետաղի բաղադրության բարձրացման հետ ρ -ն աճում է և հասնում իր մեծագույն արժեքին 50% (ատոմային) դեպքում (նկ. 2):

Ֆերոմագնիսական և ուժեղ պարամագնիսական մետաղների պիևդ լուծույթները դրսևորվում են այլ կերպ: Նրանցում ρ_{max} կարող է առաջանալ 50 *ատ. %* տարբերվող արժեքի դեպքում: Օրինակ, միավալենտ մետաղների և անցումային մետաղների պիևդ լուծույթների ρ -ն մեծ բաղադրությունների դեպքում չափազանց մեծ է, որը բացատրվում է նրանով, որ վալենտական էլեկտրոնները կարող են անցնել ավելի խորն ընկած չլրացված d կամ f ենթամակարդակները, որի հետևանքով հոսանք առաջացնող էլեկտրոնների թիվը կպակասի: Սա կարելի է

դիտել որպես քիմիական կապի ուժեղացում (անցումային մետաղի առկայության դեպքում):



Նկ. 2. Անսահմանափակ լուծելիությամբ պինդ լուծույթների էլեկտրական հատկությունների փոփոխությունը՝ կախված քիմիական բաղադրությունից [13]

Տաքացնելիս պինդ լուծույթների ρ -ն, որպես կանոն, աճում է, սակայն ոչ այնքան զգալի կերպով, որքան մաքուր մետաղների դեպքում: Էլեկտրադի-մադրության ջերմաստիճանային գործակիցը (α) միշտ փոքր է, քան մաքուր մետաղինը, և կախված բաղադրությունից՝ փոփոխվում է հաղորդականության համանմանությամբ: Համաձուլվածքի էլեկտրադիմադրությունը բաղկացած է երկու բաղադրիչից. առաջինը՝ լուծիչի տեսակարար էլեկտրադիմադրությունից, որը կախված է ջերմաստիճանից և աճում է նրա բարձրացմանը զուգընթաց, և երկրորդը՝ աղավաղում առաջացնող (որի հետևանքով՝ ρ -ն մեծացնող) կողմնակի ատոմի առկայությամբ բացատրվող տեսակարար էլեկտրադիմադրության բաղադրիչից, որը կախված չէ ժամանակից:

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ տարբեր խառնուրդների 1 առ. %-ի առաջ բերած ρ -ի աճը կախված է լուծիչի և խառնուրդի վալենտականությունների տարբերությունից: Որքան մեծ է այդ տարբերությունը, այնքան մեծ է էլեկտրադի-մադրությունը:

Երկու կամ ավելի ֆազերից բաղկացած համաձուլվածքի էլեկտրահաղորդականությունն արտաքին հայացքից պետք է հավասար լինի այդ ֆազերի էլեկտրահաղորդականությունների գումարին: Սակայն նման մոտեցմամբ էլեկտրահաղորդականության հաշվարկը հաճախ անհնար է, քանի որ համաձուլվածքի էլեկտրահաղորդականությունը կառուցվածքային առումով զգալուն հատկություն է: Առաջին հերթին, ինչպես և միաֆազ համակարգերում, նմուշի էլեկտրահաղորդականության վրա ազդում է հատիկի մեծությունը: Այդ ազդեցությունը կախված է ցանցի աղավաղումից և շատ փոքր է: Մեծ ազդեցություն ունի դիսպերսությունը,

հատկապես այն դեպքում, երբ երկրորդ ֆազի բյուրեղիկների մեծությունը համաչափ է էլեկտրոնների ազատ վազքի երկարությանը: Այս դեպքում տեղի է ունենում էլեկտրոնների լրացուցիչ ցրում երկրորդ ֆազի ներխառնուկներում: Առավելագույն աճ ստացվում է 1,0 նմ չափերի դեպքում, և ρ -ի աճը կազմում է 10...15 %

Որոշակի ազդեցություն է ունենում նաև նմուշի տեքստուրան: Հետերոգեն համաձուլվածքների նկատմամբ էլեկտրահաղորդականությունը որոշելիս կարելի է կիրառել ադիտիվության օրենքը, եթե անտեսենք վերը նշված գործոնները: Դա հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ համաձուլվածքը թրծված է, տեքստուրավորված չէ, կազմված է համառանցք համեմատաբար խոշոր հատիկներից և մոտավորապես հավասար է 0,75...1,75:

Հետերոգեն համաձուլվածքի ֆազերը կարող են լինել և՛ պարզ տարրեր, և՛ պինդ լուծույթներ, ինչպես մշակված համաձուլվածքինը:

Գումարելիության օրենքից զգալի շեղում է նկատվում էվտեկտիկական համաձուլվածքներում: Տեսակարար էլեկտրադիմադրության աճը, համեմատած նրան հարակից ոչ էվտեկտիկական համաձուլվածքների հետ, կազմում է մոտ 5% γ -ի, ինչպես նաև α -ի զգալի նվազումն արդյունք է միջֆազային սահմանների խիստ զարգացման, ինչպես նաև փոքր հաղորդականություն ունեցող ֆազերի ընդլայնական դասավորության:

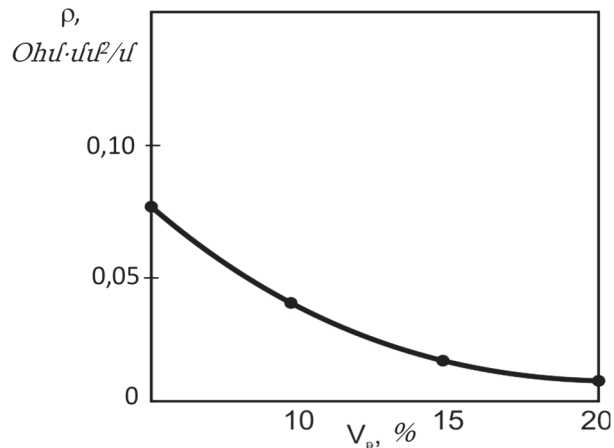
Այսպիսով, համաձուլվածքի էլեկտրահաղորդականությունը, ըստ բաղադրիչ ֆազի, կարելի է հաշվել, եթե հայտնի են յուրաքանչյուր ֆազի ծավալային պարունակությունը, նրանց բյուրեղիկների ձևը և փոխադարձ դասավորությունը: Հաշվարկը կատարվել է ըստ էլեկտրաստատիկայի օրենքների, և հաշվի չեն առնվել շատ փոքր մասնիկները, որոնցում էլեկտրոնների ցրումը շատ աննշան է:

$\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_\text{P}$ բաղադրությամբ կոմպոզիտային նյութի էլեկտրադիմադրությունը որոշվել է $\Phi 5 \times 60$ մմ չափերով գլանաձև նմուշների դեպքում երկգոնդային մեթոդով՝ լաբորատոր սարքավորման վրա: Քանի որ հոսանքի ուժը նմուշում (մինչև 250 մԱ) շատ փոքր է, հետևապես՝ նմուշի տաքացում, կարելի է ասել, տեղի չի ունենում, և այն կարելի է անտեսել: Նմուշների տեսակարար էլեկտրադիմադրությունները՝ ρ -ն, հաշվվել է՝ ելնելով ստացված տվյալներից նմուշի R_x տեղամասի վրա: Իմանալով S -կտրվածքը մմ²-ով և ℓ երկարությունը մմ-ով, ըստ Օհմի հայտնի բանաձևի կստանանք՝

$$\frac{R_x}{R_\omega} = \frac{U_x}{U_\omega}, \rho = R_x \cdot \frac{S}{\ell} = U_x \frac{S}{I\ell},$$

որտեղ U_x -ը նմուշի չափման տեղամասում լարվածության անկումն է, մՎ, I -ն՝ նմուշում հոսանքի ուժը, մԱ, ρ -ի ճշտության աստիճանը հիմնականում կախված է U_x -ից և S -ից: Իր հերթին՝ U_x -ի ճշտության աստիճանը կախված է պոտենցիալի

ճշտությունից, գալվոնոմետրից, զոնդի ցցաձողերի և նմուշի միջև կոնտակտների կատարելությունից, շրջապատող միջավայրի ջերմաստիճանի փոփոխությունից: Գումարելով հնարավոր շեղումները՝ կարելի է նշել, որ դրանք չափվում են 2...4% ճշտությամբ: Մշակված կոմպոզիտային նյութում տեսակարար դիմադրության կախվածությունը մետաղաթելի կոնցենտրացիայից բերված է նկ. 3-ում:



Նկ. 3. $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+\text{Cu}_p$ կոմպոզիտային նյութի տեսակարար էլեկտրադիմադրության կախվածությունը մետաղաթելի կոնցենտրացիայից

Մետաղական հիմքով կոմպոզիտային նյութերի էլեկտրադիմադրությունը, որոնք ամրանավորված են նույն ուղղությունն ունեցող անընդմեջ մետաղաթելերով, երբ չափումը կատարվել է մետաղաթելին զուգահեռ ուղղությամբ, ներկայացնում է ֆունկցիա՝ կախված բաղադրիչների էլեկտրադիմադրություններից և ծավալային պարունակությունից.

$$\rho_{\text{կ}} = f(\rho_{\text{ս}}, \rho_{\text{թ}}, V_{\text{թ}}) :$$

Այս դեպքում կոմպոզիտային նյութի տեսակարար էլեկտրադիմադրությունը կլինի [14]՝

$$\rho_{\text{կ}} = \frac{\rho_{\text{ս}}(T)\rho_{\text{թ}}(T)}{\rho_{\text{թ}}(T)(1-V_{\text{թ}})_{\text{թ}} + \rho_{\text{ս}}(T)V_{\text{թ}}},$$

որտեղ $\rho_{\text{ս}}(T)$ -ն և $\rho_{\text{թ}}(T)$ -ն մայրակի նյութի և մետաղաթելի տեսակարար էլեկտրադիմադրության ջերմաստիճանային կախվածություններն են: Բաղադրության ամբողջ տիրույթում (նկ. 3)-ի արժեքը համընկնում է փորձի արդյունքներին:

Եզրակացություն. Գիտափորձական հետազոտությունների արդյունքում ապացուցվել է, որ $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}$ բաղադրությամբ փոշեկոմպոզիտային նյութի կառուցվածքը քառաֆազ է: Այն բաղկացած է $\alpha\text{-Cu}$ -ից (Cr-ի և Zr-ի պինդ լուծույթը պղնձում), Cr-ի դիսպերս մասնիկներից, Cu_5Zr ինտերմետաղական ֆազից և պղնձի թելքերից: Ընդ որում, պինդ լուծույթի հիմքով մայրակն ապահովում է բարձր մեխանիկական հատկություններ ($\sigma_{\text{с}}=350\dots360 \text{ MPa}$, $\text{HB}=1200\dots1300 \text{ MPa}$) և ջերմակայունություն, իսկ պղնձյա թելքերը՝ բարձր ջերմահաղորդականություն ($\chi=70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) և էլեկտրահաղորդականություն՝ պղնձի հաղորդականության $\approx 95\%$ -ը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Карпинос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р.** Новые композиционные материалы. - Киев: Вища школа, 1977. - 312 с.
2. Современные композиционные материалы / Под ред. **И.Л. Светлова**. - М.: Мир, 1970. - 672 с.
3. **Манукян Н.В.** Технология порошковой металлургии. - Ереван: Айастан, 1986. - 232 с.
4. **Агбалиян С.Г., Петросян А.С., Амалиян Э.С., Василян Г.А.** Порошковые композиционные материалы, упрочненные волокнами // Порошковая металлургия. - Киев, 2001. - № 11-12. - С. 66-72.
5. **Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Աղբալյան Ա.Ս.** Պղնձի հիմքով ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի տաք արտամղման տեխնոլոգիական հիմունքների մշակումը // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և կառավարում. - Երևան, 2003. - N1. - էջ 134-141:
6. **Աղբալյան Ս.Գ., Վասիլյան Գ.Ա., Սարգսյան Ա.Ռ.** Ամրանավորված կոմպոզիցիոն նյութերի ստացման տեսական և տեխնոլոգիական առանձնահատկությունները // ՀՀ ԳԱԱ և ՀՊՃՀ Տեղեկագիր. ՏԳ սերիա. - 2012. - Հատ. LXV, №4. - էջ 335-345:
7. **Чулошников П.Л.** Точечная и роликовая электросварка легированных сталей и сплавов. - М.: Машиностроение, 1974. - 232 с.
8. **Слюзберг С.К., Чулошников П.Л.** Электроды контактной сварки. - Л.: Машиностроение, 1972. - 96 с.
9. **Кутковский С.И.** Электроды контактных электросварных машин. - Л.: Машиностроение, 1964. - 112 с.
10. **Микрюков В.Е.** Теплопроводность и электропроводность металлов и сплавов. - М.: Металлургиздат, 1965. - 260 с.
11. **Федорченко И.М., Пугина Л.И.** Композиционные спеченные антифрикционные материалы. - Киев: Наукова думка, 1980. - 404 с.
12. **Скорород В.В.** Физико-механические свойства пористых материалов // Порошковая металлургия-77. - Киев: Наукова думка, 1977. - С. 120-129.
13. **Աղբալյան Ս.Գ., Աբրյան Ա.Հ., Պետրոսյան Ա.Ա.** Մետաղների ֆիզիկա և դրանց ֆիզիկական հատկությունները. - Եր.: Ճարտարագետ, 2008. - 385 էջ:

14. Карпинос Д.М., Максимович Т.Г., Кадыров В.Х., Лютый Е.М. Прочность композиционных материалов.- Киев: Наукова думка, 1978.- 236 с.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 02.12.2016:

С.Г. АГБАЛЯН, Г.А. ВАСИЛЯН, А.Р. САРКИСЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СОСТАВА
 $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_f$**

Изучены физико-механические свойства высокопрочного композиционного материала состава $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_f$. Показано, что экструзия пористых прессовок обеспечивается практически беспористой структурой и высокими механическими свойствами - $\sigma_b=350...360 \text{ МПа}$, $\text{HB}=1200...1300 \text{ МПа}$. В процессе экструзии композиционных материалов свойства металлических волокон в матрице практически полностью используются. Экструзия повышает контактную прочность "металлическая волокно – матрица", ориентирует и перераспределяет волокна вдоль направления пластической деформации. В результате деформация волокон и их объемное содержание положительно влияют на твердость композиционного материала, его теплопроводность и электропроводность, значительно повышая их.

Ключевые слова: порошковый композиционный материал, армирование, термообработка, дисперсное твердение, прочность, твердость, вязкость, теплостойкость, электропроводность.

S.G. AGHBALYAN, G.A. VASILYAN, A.R. SARKISYN

**INVESTIGATING THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF POWDER
COMPOSITE MATERIALS OF COMPOSITION $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_f$**

The physical-mechanical properties of high strength composite material with a copper composition of $\text{Cu} + 1,0\% \text{Cr} + 0,8\% \text{Zr} + 10\% \text{Cu}_f$ are studied. It is shown that the extrusion of porous compacts is practically provided by porous structure and high mechanical properties $\sigma_m = 350 ... 360 \text{ MPa}$, $\text{HB} = 1200...1300 \text{ MPa}$. The properties of metallic fibers in the matrix are almost completely used during extrusion of composite materials. The extrusion improves the contact strength "metal fiber – matrix", orients and redistributes the fibers along the direction of the plastic deformation. As a result, the deformation of fibers, and their volumetric content positively affect the hardness of the composite material, increasing its electrical and thermal conductivity, significantly increasing them.

Keywords: composite powder, heat treatment, particulate hardening, reinforcement, strength, hardness, heat resistance, electrical conductivity, viscosity.

М.В. МАРТИРОСЯН, Ж.М. АРСТАМЯН**ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ЗОЛОТОПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ ШАУМЯНСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Показана принципиальная возможность извлечения основных (Cu, Zn, Pb, Fe), благородных (Au, Ag) и сопутствующих (Se, Te, Bi, Cd) металлов из концентрата, полученного из золотополиметаллической руды Шаумянского месторождения Республики Армения. Технология передела промпродукта из полиметаллического концентрата включает ряд операций, в том числе низкотемпературный сульфатизирующий обжиг концентрата, растворение обожженного огарка в слабокислом растворе, селективное извлечение металлов из жидкой и твердой фаз и их очистка методами цементации и электровосстановления. Полученный свинец может служить базовым металлом для организации производства электродных материалов в республике и способствовать развитию существующей аккумуляторной промышленности, а также созданию производства нерастворимых анодных материалов на основе свинца и его сплавов.

Ключевые слова: извлечение, сульфатизирующий обжиг, золотополиметаллическая руда, полиметаллический концентрат, электродный материал, свинец.

Введение. На территории Республики Армения (РА) находится множество месторождений ценного минерального сырья, среди которых хорошо известно Шаумянское золотополиметаллическое месторождение на юго-восточном фланге Капанского рудного поля. В настоящее время рудник эксплуатируется. Руды этого месторождения характеризуются достаточно сложным минеральным и геохимическим составом. Они, в основном, сульфидно-полиметаллические. Главными рудообразующими минералами месторождения являются пирит (FeS_2), сфалерит (ZnS), халькопирит (Cu FeS_2), галенит (PbS). В различных типах руд установлены также тетраэдрит (сульфоантимонит меди), борнит (Cu_5FeS_4), халькозин (Cu_2S), ковелин (CuS), теллуриды свинца, золота, серебра и висмута, самородное золото, самородное серебро. Встречаются также редкие элементы, как теллур, селен, индий, галлий и др. [1].

В таблице приведен химический состав основных и сопутствующих элементов золотополиметаллической руды Шаумянского месторождения.

Золотополиметаллическая руда Шаумянского месторождения служит минеральным сырьем для изготовления цинковых и медных концентратов

методом флотации на Капанской горно-обогатительной фабрике. Из этого сырья в начале 2000 г. временно был произведен также коллективный полиметаллический концентрат (промпродукт), богатый свинцом и драгоценными металлами (Au и Ag). Химический состав концентратов является удовлетворительным, чтобы с достаточно высокой эффективностью извлечь из них металлический цинк, медь, свинец и драгоценные металлы.

Таблица

Химический состав основных и сопутствующих элементов золотополиметаллической руды Шаумянского месторождения

Основные и сопутствующие элементы, %								
Zn	Cu	Pb	Au*	Ag*	In*	Te*	Ga*	S
2,56	0,67	0,13	2,88	54,49	8,5	34,14	14,48	7,11

* - содержание в г/т.

Комплексное и эффективное извлечение ценных металлов из концентратов сульфидного характера - достаточно сложный и трудоемкий процесс, обусловленный, с одной стороны, сложной технологической схемой и дорогостоящим оборудованием для металлургической переработки сырья, а с другой - экологическими проблемами, связанными с выбросами как газового (сернистый), так и жидкого и твердого характера.

Для реализации наиболее полного комплексного извлечения ценных и сопутствующих металлов из концентратов (на примере полиметаллического промпродукта) может быть применен гидрометаллургический способ переработки сырья, отличающийся возможностью избирательного извлечения различных металлов из водных растворов и не требующий сложного и дорогостоящего оборудования. Кроме того, технологические процессы можно проводить при сравнительно низких температурах и часто под атмосферным давлением, режимы извлечения металлов управляемы и контролируемы, а в экологическом аспекте метод считается менее опасным [2]. Такой способ позволяет извлечь как из водных растворов концентрата основные металлы – цинк и медь, так и из твердых осадков - свинец, драгоценные (Au, Ag) и сопутствующие элементы (Sb, Cd, Se, Te, Bi).

В настоящее время из перечисленных металлов определенный интерес представляет свинец – металл, потребительский спрос которого за последние десятилетия чрезмерно возрастает, что связано с интенсивным ростом производства автомобильно–тракторных транспортных средств. Металлический свинец высокой чистоты широко используется в аккумуляторной промышленности для изготовления активной массы и различных электропроводящих

деталей аккумуляторных батарей [3]. Кроме этого, свинец служит основным материалом для изготовления нерастворимых анодов, применяемых в гидро-электрометаллургии и во многих областях электрохимии [4,5]. Анод из свинца в чистом виде применяется в редких случаях. В основном предпочитают бинарные или многокомпонентные сплавы на основе свинца [4,6,7].

Из вышеизложенного следует, что золотополиметаллическая руда Шаумянского месторождения может служить подходящим сырьем для получения основного (например, свинец) и легирующих компонентов (Sb, Bi, Ag, Se, Te) электродных материалов (нерастворимые аноды, аккумуляторные решетки, болванки для катодной защиты и т.п.).

Постановка задачи и методика исследования. В настоящей работе сделана попытка выяснения возможностей и перспектив применения процесса гидрометаллургического метода извлечения свинца из полиметаллического промпродукта, полученного флотационным обогащением золотополиметаллической руды Шаумянского месторождения, для последующей разработки технологии комплексного извлечения основных и сопутствующих металлов.

Для исследования был взят концентрат, в химический состав которого входят следующие основные элементы и соединения (в %): 6,3 Zn; 24,7 Fe; 14,9 Cu; 3,07 Pb; 32,4 S; 2,3 SiO₂; 0,34 MgO и 0,67 CaO. Рентгенофазовый анализ (РФА) концентрата выполнен на дифрактометре ДРОН-2 с использованием медного (CuK_α) излучения. Расшифровка дифрактограмм проведена с использованием базы данных [8]. Обжиг концентратов проводился в муфельной печи марки СНОЛ-1,6. 2,5 1/11-М1 в условиях тщательного термостатирования реактора при определенной температуре. Температура и продолжительность обжига концентрата варьировались в интервале 300...1050 °C и от 3 до 6 ч в атмосфере воздуха с перемешиванием концентрата через каждые 20...25 мин. Толщина слоя обжигаемого концентрата весом 550 г составляла 10...15 мм.

Обсуждение результатов. При совместном обжиге компонентов полиметаллического промпродукта взаимодействие между ними приобретает сложный характер, и для выбора оптимальных условий переработки сырья необходимо иметь сведения о поведении сульфидов основных металлов при обжиге.

Так, галенит ниже 600 °C взаимодействует с кислородом воздуха с образованием сульфатов свинца в соответствии с реакциями [9]



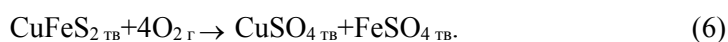
Проведенные термодинамические расчеты с использованием справочных данных термодинамических величин показывают [10], что реакции (1)-(3) в интервале температур 500...750 °C (773...1023 K) обладают сравнительно большим отрицательным значением свободной энергии, и, следовательно, протекание указанных реакций в достаточной степени вероятно.

Сфалерит при низких температурах (650 °C) окисляется до сульфата цинка по реакции

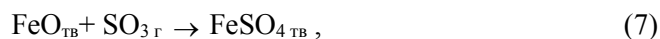


Эта реакция термодинамически также возможна, поскольку она протекает в сторону уменьшения изменения свободной энергии в рассматриваемом температурном интервале. При этих температурах константа равновесия реакции (4) достаточно высокая, что подтверждает предпочтительность сульфатизации сфалерита.

Халькопирит, характеризующийся различной степенью компонентов, при низких температурах (< 850 K) в атмосфере воздуха может превращаться в оксид и сульфат меди по следующим реакциям:



Моноксиды железа и меди могут взаимодействовать с серным ангидридом и образовывать сульфаты железа и меди по реакциям



Сульфат двухвалентного железа при доступе воздуха может окисляться в сульфат трехвалентного железа



Протекание приведенных реакций (5)-(9) термодинамически вполне возможно, т.к. оно сопровождается значительным уменьшением энергии изменения Гиббса.

На рис. 1 показаны графики температурной зависимости от температуры изменения свободной энергии Гиббса (ΔG) реакций сульфидов основных металлов в системе полиметаллического промпродукта. Энергии изменения Гиббса рассмотренных реакций (1)-(9) в интервале температур от 300 до 1050 °C (573...1323 K) находятся в области отрицательных значений, что указывает на термодинамическую возможность протекания этих реакций. Сравнение

ΔG реакций (1)-(9) показывает, что при низких температурах предпочтительно протекают реакции образования сульфатов свинца (2), (9), меди и железа (6), для которых энергия изменения Гиббса имеет меньшее значение. Из рис. 1 видно, что все рассмотренные реакции являются экзотермическими, что создает предпосылки для ведения процесса обжига в автогенном режиме.

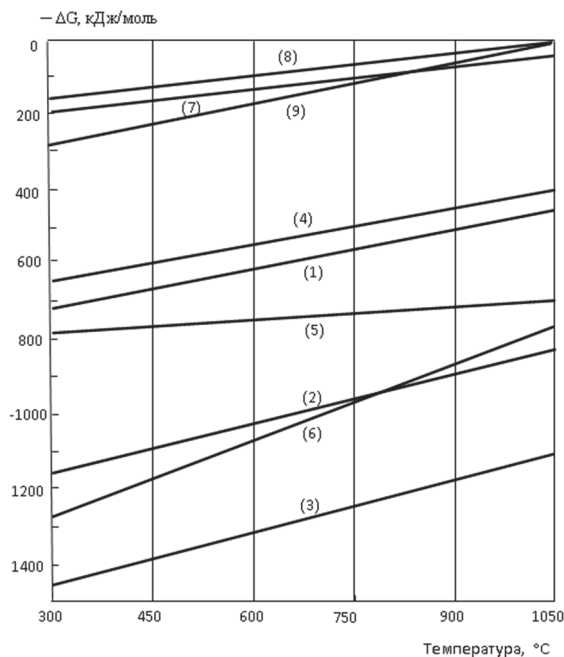


Рис.1. Влияние температуры сульфатирующего обжига на свободную энергию Гиббса (ΔG) реакций (1)-(9), протекающих в системе полиметаллического промпродукта

На дифрактограмме образца из полиметаллического промпродукта, как и следовало ожидать, отчетливо видны сульфидные фазы основных металлов (рис. 2). Так, наибольшей яркостью дифракционных отражений представляется пирит, содержание которого в промпродукте ~25%. Характерная тройка дифракционных максимумов (101), (110) и (111) не вуалирована дифракционными отражениями сопутствующих сульфидов.

Вторая по интенсивности дифракционных отражений фаза - это халькопирит, который представлен своими наиболее яркими отражениями (112), (204) и (312). Третья составляющая из сульфидных фаз – это сфалерит. Характерные дифракционные линии (100) и (101) α -ZnS фазы вуалированы с отражениями FeS_2 , CuFeS_2 и PbS . Галенит представлен характерными дифракционными линиями, совмещенными с линиями α -ZnS.

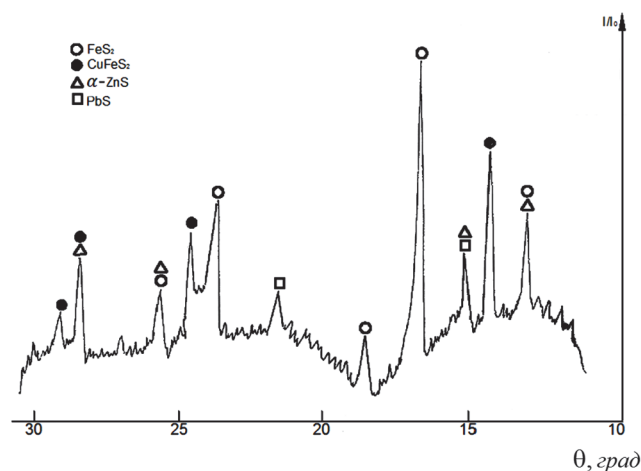


Рис. 2. Дифрактограмма исходной золотополиметаллической руды Шаумянского месторождения

Особенность сульфидных фаз компонентов полиметаллического промпродукта предопределяет возможность комплексного и селективного извлечения из него основных металлов, в том числе и свинца.

С целью перевода основных извлекаемых металлов в форму растворимых водных сернокислых растворов нами был применен сульфатизирующий обжиг, который, будучи низкотемпературным, имеет явное преимущество по сравнению с окислительно-восстановительным обжигом свинцовых концентратов, широко применяемым на всех свинцовых заводах. Это выражается в том, что потери легкоплавких компонентов концентрата минимальны, т.к. процесс обжига проводится при сравнительно низких температурах.

С другой стороны, такой вид обжига позволяет перерабатываемый полиметаллический промпродукт селективно окислять на водорастворимую (в частности, ZnSO_4 , ZnO , CuSO_4 , CuO , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) и нерастворимую в воде (в частности, PbSO_4) фазы. После разделения фаз можно, применяя различные технологические приемы, успешно извлечь металлы как из жидкой фазы, так и из твердого осадка.

Режим сульфатизирующего обжига установлен исходя из поведения серы в концентрате после обжига. Оптимальный режим сульфатизирующего обжига: температура - 600 ± 10 °C, продолжительность – 4 ч, периодическое перемешивание шихты в атмосферных условиях.

Образование сульфатов основных металлов при обжиге полиметаллического промпродукта подтверждается данными РФА (рис. 3). На дифрактограмме обожженного образца отчетливо видны характерные дифракционные отражения сульфатов меди, трехвалентного железа, свинца и цинка.

Данные РФА обожженного промпродукта с учетом парциальных давлений системы Cu-Fe-S-O при 850 K подтверждают возможность химических превращений при окислении халькопирита по схеме [11]: $\text{CuFeS}_2 \rightarrow (\text{CuFeS}_4 + \text{Fe}_3\text{O}_4) \rightarrow (\text{Cu}_2\text{S} + \text{Fe}_3\text{O}_4) \rightarrow (\text{CuFeO}_2 + \text{Fe}_3\text{O}_4) \rightarrow (\text{CuFeO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \rightarrow (\text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \rightarrow (\text{CuSO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)$.

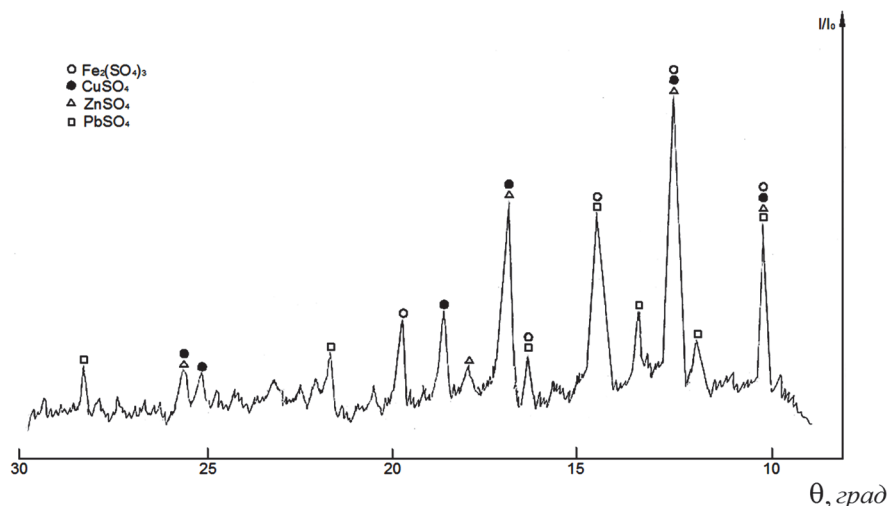


Рис. 3. Дифрактограмма обожженного ($600 \pm 10^\circ \text{C}$, $\tau = 4 \text{ ч}$) полиметаллического промпродукта

Присутствие $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ в обожженном концентрате обусловлено окислением пирита, который, возможно, в процессе обжига превращается в трехвалентный сульфат железа по следующей схеме: $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ или через оксидные фазы по схеме: $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

Данные РФА также хорошо согласуются с диаграммой парциальных давлений системы Pb-S-O, из которой следует, что при 873 K галенит может окисляться, превращаясь в сульфат свинца по схеме $\text{PbS} \rightarrow \text{PbSO}_4$ [12].

Сульфат цинка представляется характерными дифракционными линиями (111), (101), (220) и (222) (см. рис. 3). Полученные данные находятся в хорошем соответствии с диаграммой термодинамического состояния системы Zn-S-O [13], из которого следует, что сульфат цинка более устойчив при сравнительно низких температурах ($< 700^\circ \text{C}$).

Заключение. На основании данных термодинамического и рентгенофазового анализов обожженного полиметаллического промпродукта с применением диаграмм парциальных давлений систем Cu-Fe-S-O, Pb-S-O и Zn-S-O можно утверждать о принципиальной возможности извлечения основных (Cu, Zn, Pb, Fe), благородных (Au, Ag) и сопутствующих (Se, Te, Bi, Cd) металлов

из золотополиметаллического концентрата гидрометаллургическим способом. Преимущество такого передела заключается в том, что обжиг можно осуществлять при сравнительно низких температурах ($< 600\text{ }^{\circ}\text{C}$), в результате которого основные компоненты концентрата превращаются в сульфатные водорастворимые фазы (ZnSO_4 , CuSO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) и нерастворимый в воде сульфат свинца. Железо, медь и цинк почти полностью переходят в жидкую фазу, из которой первые два металла можно избирательно извлечь цементацией, а цинк – электролизом. Осадок переводится в насыщенный раствор поваренной соли, из которого осаждается свинец железным скрапом. Оставшиеся в кеке металлы могут извлекаться применением соответствующих технологических схем.

На базе свинца и некоторых металлов, извлекаемых из промпродукта, целесообразно организовать производство электродных материалов для аккумуляторных батарей, а также анодных сплавов, легированных Ag, Se, Te, Bi и др. для изготовления нерастворимых анодов, применяемых в гидроэлектрометаллургии и электрохимии.

Работа выполнена при финансовой поддержке фонда Государственного комитета при Министерстве образования и науки РА, грант 15T-2F166.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://geo.web.ru/db/msg.html?uri=part02.htm&mid=1171518>
2. **Вольдман Г.М., Зеликман А.Н.** Теория гидрометаллургических процессов. - М.: Интернет Инжиниринг, 2003. - 464с.
3. **Варламов В.Р.** Современные источники питания: Справочник. - М.: ДМК-пресс, 2001. - 224 с.
4. **Дунаев Ю.Д.** Нерастворимые аноды из сплавов на основе свинца. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 316 с.
5. **Мартиросян М.В., Джорухян Р.Б., Мазманиян В.А.** Поведение нерастворимых анодов, полученных на основе вторичного свинца, при электроэкстракции меди из сернокислого раствора // Записки Горного института. - 2011. - Т.192. - С. 94-99.
6. **Hrussanova A., Mirkova I., Dobrev Ts.** Electrochemical Properties of Pb-Sb, Pb-Ca-Sn and PbCo_3O_4 Anodes in Copper Electrowinning // J. Appl. Electrochem. - 2002. - V.32, N5. – P. 505-512.
7. **Мартиросян М.В., Саргсян Л.Е.** Получение и свойства свинцово-серебряных анодных сплавов, легированных Se и Te // Цветные металлы. - 2005. - N11. – С. 46-48.
8. **Американская рентгенометрическая картотека.** ASTM (USA).
9. **Лоскутов Ф.Н.** Metallurgy of lead. – М.: Metallurgy, 1985. – 528 с.
10. **Кубашевский О., Олкокк.** Metallurgical thermochemistry. – М.: Metallurgy, 1982. – 392 с.
11. Теория металлургических процессов / Под ред. **Д.И. Рыженкова.** – М.: Metallurgy, 1989. – 390 с.
12. **Спивак М.М., Исакова Р.А., Кожухметов С.М.** Использование диаграмм парциальных давлений в исследовании процесса окисления сульфида свинца // Комплексное использование минерального сырья. – 1982. – N 8(50). – С.56-60.

13. Металлургия вторичных цветных металлов. – М.: Металлургия, 1987. – 528 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 04.10.2016.

Մ.Վ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, Ժ.Մ. ԱՌՍՏԱՄՅԱՆ

**ՇԱՀՈՒՄՅԱՆԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՈՍԿԻԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՑԻՆ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ
ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԼԵԿՏՐՈՂԱՑԻՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
ՍՏԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱՐ**

Ցույց է տրված Հայաստանի Հանրապետության Շահումյանի հանքավայրի ոսկի-բազմամետաղային հանքաքարից ստացված խտանյութից բազային (Cu, Zn, Pb, Fe), ազնիվ (Au, Ag) և ուղեկցող (Se, Te, Bi, Cd) մետաղների կորզման սկզբունքային հնարավորությունը: Բազմամետաղային խտանյութից արտադրական վերջնանյութի ստացման տեխնոլոգիան ներառում է մի շարք գործողություններ, այդ թվում՝ խտանյութի ցածրջերմաստիճանային սուլֆատացման թրծումը, թրծված թերայրուկի լուծումը թույլ թթվային լուծույթում, մետաղների ընտրողական կորզումը հեղուկ և պինդ ֆազերից և նրանց գտումը ցեմենտացման ու էլեկտրավերականգնման մեթոդներով: Ստացված կապարը կարող է կիրառվել որպես բազային մետաղ հանրապետությունում էլեկտրոդային նյութերի արտադրության կազմակերպման համար՝ նպաստելով գոյություն ունեցող կուտակիչների, ինչպես նաև կապարի ու նրա համաձուլվածքների հիմքով անլուծելի անոդային նյութերի արտադրության զարգացմանը:

Առանցքային բառեր. կորզում, սուլֆատացնող թրծում, ոսկիբազմամետաղային հանքաքար, բազմամետաղային խտանյութ, էլեկտրոդային նյութ, կապար:

M.V. MARTIROSYAN, Z.M. ARSTAMYAN

**THE PERSPECTIVE OF USING THE GOLD POLYMETALLIC ORE OF
THE SHAHUMYAN DEPOSIT FOR OBTAINING ELECTRODE
MATERIALS**

The fundamental possibility of using the hydrometallurgical method for extracting basic (Cu, Zn, Pb, Fe), noble (Au, Ag) and accompanying (Se, Te, Bi, Cd) metals from the gold polymetallic ore concentrate of the Shahumyan deposit of Republic of Armenia is shown. The technology of hydrometallurgical repartition of industrial products from polymetallic concentrate includes a number of operations, including the low temperature sulphatization roasting of the concentrate, the dissolution of the calcined cinder in a slightly acidic solution, the selective extraction of metals from liquid and solid phases and their cleaning by the methods of cementation and electroreduction. The possibility of extraction of lead by cementation with scrap iron solid residue obtained after the separation of the pulp is proposed and experimentally substantiated. The resulting lead can serve as a base metal for the production of electrode materials in the country and contributes not only to the development of the existing battery industry, but also the creation of insoluble anode materials based on lead and its alloys.

Keywords: extraction, sulphatization roasting, goldpolymetallic ore, polymetallic concentrate, electrode material, lead.

Ո.Ջ. ՄԱՐՈՒԹՅԱՆ, Ս.Հ. ԷԼԲԱԿՅԱՆ

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՑԱՆՆԵՐԻ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱԾԽԱԾՆԻ ԵՐԿՕՔՍԻԴԻ ԿԱՊԱԿՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Հաշվի առնելով գլոբալ տաքացման գործընթացում ածխածնի երկօքսիդի՝ որպես ջերմոցային գազի ներգործությունը՝ վերլուծվել են էկոլոգիապես անվտանգ ջերմային էլեկտրակայաններում դրա կապակցման տեխնոլոգիական լուծումները և իրականացման հնարավորությունները: Գնահատվել է ծխագազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերով կահավորված և նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ էլեկտրակայաններում CO₂-ի կրճատման և քվոտների վաճառքի ազդեցությունը կայանի տնտեսական արդյունավետության ցուցանիշների վրա:

Առանցքային բառեր. էկոլոգիապես անվտանգ ջերմային էլեկտրակայան, ծխագազերի մաքրման համակարգեր, ածխի գազիֆիկացում, ջերմոցային գազ, ածխածնի երկօքսիդ, քվոտների վաճառք:

Այն երկներում, որտեղ էներգետիկ ոլորտի զարգացման հեռանկարները ենթադրում են օրգանական վառելիքի նկատմամբ որոշակի հովանավորչական քաղաքականության իրականացում, նոր նախագծվող ջերմային էլեկտրակայաններում (ՋԷԿ) հիմնականում նախատեսում են ածխափոշային վառելիքի կիրառումը:

Վերոնշյալը առավելապես վերաբերում է Գերմանիային, Չինաստանին և Հնդկաստանին, որտեղ ածխի արդյունահանման զարգացման համար առկա են անհրաժեշտ նախադրյալներ և տնտեսական աճի բարձր տեմպեր ապահովելու հնարավորություն: Էներգետիկական նպատակներով ածխի լայնածավալ կիրառման հիմնական կաշկանդիչները կլիմայի համընդհանուր տաքացման դեմ ուղղված միջոցառումների շրջանակներում ընթացող գործառնություններն են: Ածխի՝ որպես վառելիքի առանձնահատկությունն այն է, որ ածխափոշային ՋԷԿ-ում արտադրված էլեկտրական էներգիայի յուրաքանչյուր միավորին, ի համեմատություն գազային վառելիքով աշխատող էլեկտրական կայանների, բաժին են ընկնում ջերմոցային գազերի զգալիորեն ավելի մեծ արտանետումներ: Էկոլոգիական չափորոշիչների անընդհատ խստացումը, ինչպես նաև արտանետումների և շրջակա միջավայրին հասցված վնասի փոխհատուցման համար գանձվող վճարների աճը և սահմանային թույլատրելի արտանետումների գերազանցման պարագայում ձեռնարկության սեփական շահույթից վճարվող տուգանքների պատիկայնության սկզբունքը

ստիպում են մշակել և կիրառել արտանետումների մաքրման արդյունավետ մեթոդներ՝ բարելավելով էներգատեղակայանքների էկոլոգիական բնութագրերը: Ոլորտում ստեղծված իրավիճակն ավելի լավ պատկերացնելու համար հարկ է դիմել էլեկտրաէներգիայի արտադրման տարբեր տեխնոլոգիաների համեմատական օրինակին, որից և պարզորոշ կլինի, որ ածխի օգտագործման նորագույն տեխնոլոգիաները հնարավորություն կընձեռեն, ի տարբերություն ավանդական ածխափոշային ՋԷԿ-երի, շահագործել տնտեսական և բնապահպանական առավել բարձր ցուցանիշներով էլեկտրակայաններ [1]:

Կարծր վառելիքով աշխատող շոգետուրբինային էներգաբլոկներում էկոլոգիապես անվտանգ ՋԷԿ-երին ներկայացվող չափորոշիչներն ապահովվում են 2 ձևով.

- ծխագազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերի ներդրմամբ,
- շրջանառվող եռացող շերտով կաթսաների կիրառմամբ:

Մասնավորապես, Ալտբախ-Դեյցիգաու գերմանական ՋԷԿ-ի №5 էներգաբլոկը կարծր վառելիքով աշխատող էկոլոգիապես անվտանգ էներգահամալիր է, որտեղ բարձր արդյունավետությամբ իրականացվում է ծխագազերի մաքրում բոլոր վնասակար միացություններից՝ մոխրի մասնիկներից, ծծմբի և ազոտի օքսիդներից: Մթնոլորտ արտանետվող ջրային գոլորշիների նվազեցման նպատակով շահագործվում է համակցված կիսաչոր ստիպողական քարշով աշտարակահովացուցիչ: Գլոբալ տաքացման գործընթացում քանակական տեսանկյունից ամենամեծ ներդրում ունեցող ածխաթթու գազի արտանետումների կրճատման տեխնոլոգիական սարքավորումներով կայանը կահավորված չէ, սակայն էլեկտրական և ջերմային էներգիաների համատեղ արտադրության իրականացումը որոշ չափով մեղմում է այդ իրողությունը:

Առաջնորդվելով էկոլոգիական չափորոշիչների պահպանման նկատառումներով՝ շվեյցարական Vattenfall ընկերությունը կառուցեց 30 ՄՎտ հզորությամբ «մաքուր» ածխափոշային Schwarze Pumpe էլեկտրակայանը, որտեղ թթվածնային միջավայրում այրման կազմակերպումը բացառում էր ազոտի օքսիդների արտանետումները, իսկ մոխրի մասնիկներից և ծծմբի օքսիդներից ծխագազերի մաքրումից հետո իրականացվում էր ածխաթթու գազի հեղուկացում և պահում:

Vattenfall ընկերությունը հետագոտում է նաև 2 այլ տեխնոլոգիաներ՝

- ✓ ավանդական այրման գործընթացից հետո ծխագազերից ածխաթթու գազի որսում՝ հեղուկ աբսորբենտի միջոցով (postcombustion մեթոդ),
- ✓ նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացում և ածխածնի կապակցում (precombustion մեթոդ):

Ածխային վառելիքի օգտագործման առավել ուշագրավ լուծումներից մեկը ամերիկյան Foster Wheeler ընկերության մշակած գերկրիտիկական ճնշմամբ

եռացող շրջանառվող շերտով կաթսան է, որը թույլ է տալիս նվազագույն շահագործման ծախսերով էապես բարելավել կայանի էկոլոգիական անվտանգությունը: Շնորհիվ իրականացվող տեխնոլոգիական լուծման՝ այրման ակտիվ գոտում պահպանվում է ջերմաստիճանային ցածր մակարդակ, ինչի հետևանքով անհրաժեշտություն չի առաջանում իրականացնել ագոտի օքսիդների ելքի կրճատում, իսկ ծծմբային անհիդրիդի նվազեցումը կատարվում է կրային չոր աղիտիվ մեթոդով: Դիտարկվող դեպքում շրջանառվող եռացող շերտով շոգեկաթսաներից արտանետվող ածխածնի երկօքսիդի նվազեցման համար հարկավոր է լրացուցիչ կապիտալ ներդրումներով և շահագործման ծախսերով իրականացնել վերջինիս կապակցումը [2]:

Ածխափոշային էլեկտրակայանների մրցունակության և արդյունավետության բարձրացման հնարավորություններից մեկը ածխի գազիֆիկացման շնորհիվ դրա ապրանքային պոտենցիալի համալիր օգտագործումն է [3]: Մյուս կողմից՝ էներգաբլոկի տնտեսական և էկոլոգիական անվտանգության ցուցանիշների լավացման հիմնական սկզբունքներից մեկը վերջինիս օգտակար գործողության գործակցի մեծացումն է կամ էլ վառելիքի տեսակարար ծախսի նվազեցումը, ինչով էլ կկանխարգելվի մթնոլորտային օդի աղտոտումը: Շարադրվածի իրականացման ամենանպատակահարմար տարբերակը ածխի ներցիկային գազիֆիկացմամբ շոգեգազատուրբինային տեղակայանքների (IGCC) շահագործումն է, որի արդյունքները վկայում են, որ ածուխը կարող է դառնալ ոչ միայն էկոլոգիապես մաքուր վառելիք, այլ նաև արժեքավոր հումք՝ տարբեր անհրաժեշտ ապրանքների ստացման համար [4]:

Բնապահպանական խնդիրների լուծման համար ավելի քան 20 տարի է՝ հետազոտվում են շուկայական մեխանիզմների կիրառման հնարավորությունները, որոնք շատ հաճախ ավելի արդյունավետ են, քան ավանդական մոտեցումները (արտանետումների նորմավորում, աղտոտվածության համար վճարումներ և այլն): Առավել հեռանկարային շուկայական մեխանիզմներ են գումարային արտանետումների սահմանափակումը և քվոտների առևտուրը: Մկսած 2005 թ.-ից Եվրամիությունում գրանցված ձեռնարկությունների համար սահմանված են ջերմոցային գազերի արտանետումների քվոտներ, և գործում է դրանց առևտրի ներքին շուկա: Ձեռնարկությունները պարտավոր են անցկացնել ջերմոցային գազերի արտանետման ամենամյա հաշվառում և ներկայացնել հաշվետվություն: Եթե արտանետումները գերազանցում են քվոտը, ապա ձեռնարկությունը պարտավոր է տուգանք վճարել կամ ներկայացնել սահմանված նմուշի փաստաթուղթ այն մասին, որ որպես ներդրող և իրացնող մասնակցել է Գլոտոյի արձանագրության՝ ջերմոցային գազերի արտանետման կրճատման նախագծին, Եվրամիության սահմաններից դուրս այլ մասնակից երկրում: Ձեռնարկությունները կարող են

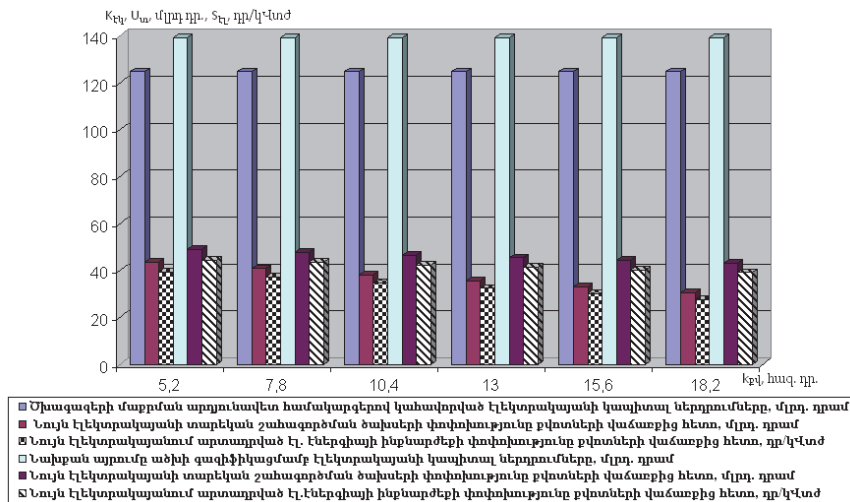
ազատ կերպով վաճառել և գնել քվոտներ, ինչպես նաև կուտակել դրանք՝ հետագայում օգտագործելու համար:

Կատարված աշխատանքի նպատակն է գնահատել ածխածնի երկօքսիդի կապակցման տեխնոլոգիաների հնարավոր ներդրման ազդեցությունը էլեկտրակայանի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշների վրա՝ գերակա համարելով էկոլոգիական չափորոշիչը: Դեպի մթնոլորտ արտանետվող ածխածնի երկօքսիդի քանակությունը կարելի է կրճատել նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ (և ստացվող սինթեզ գազի օգտագործմամբ), թթվածնային միջավայրում այրման գործընթացի կազմակերպմամբ և տարատեսակ մեմբրաններով ծխագազերից որսալով ածխածնի երկօքսիդը: Նշված տարբերակներից որևէ մեկի ընտրությունը կատարվել է՝ հաշվի առնելով նաև դրանց ներդրման համար պահանջվող կապիտալ և շահագործման ծախսերը: Թթվածնային միջավայրում այրում կազմակերպելու համար անհրաժեշտ է ՋԷԿ-ին կից ունենալ այրման գործընթացի կազմակերպման համար պահանջվող քանակությամբ թթվածնի ստացման բավականին թանկ հանգույց և թթվածնով աշխատող կաթսայական ագրեգատ: Նկարագրված մեթոդի համար որպես առավելություն կարելի է նշել CO₂-ի կապակցման նվազագույնը 80% արդյունավետությունը: Ածխածնի երկօքսիդի կապակցման համար նախատեսված ամենաարդյունավետ մեմբրաններ արտադրող եվրոպական NanoGLOWA ընկերության տվյալների համաձայն՝ 1 տ CO₂-ի կապակցման համար պահանջվող ծախսերը գտնվում են 15...20 *եվրո/տ* տիրույթում, մինչդեռ CO₂-ի արտանետումների շուկայում քվոտի արժեքը միջինացված կազմում է մոտ 20 *եվրո/տ*: Մեմբրանների միջոցով ածխածնի երկօքսիդի անջատում տեղի է ունենում կամ ծխագազերի բարձր ճնշման հաշվին, կամ էլ մեմբրանից հետո առկա նոսրացման հաշվին: Գոյություն ունի հստակ կապ կոմպրեսորի շարժաբերի համար ծախսված հզորության, մեմբրանի մակերեսի, վերջնարդյունքի որակի և գործընթացի արագության միջև: Ընդ որում, վերջնարդյունքի որակի բարձրացումը կամ հանգեցնում է գործընթացի արագության նվազման, կամ էլ ծախսվող էներգիայի քանակության մեծացման՝ դրանից բխող հետևանքներով: Բացի նշված հանգամանքներից, քանի որ ծխագազերից CO₂-ի զատումը համարվում է վերջնամաքման փուլ, ապա ածխափոշային ՋԷԿ-երում մեմբրանային մոդուլը տեղակայվում է մոխրի մասնիկներից, ծծմբի և ազոտի օքսիդներից ծխագազերի մաքրման տեղակայանքներից հետո:

Առաջնորդվելով օդային ավազանի վրա ունեցած ազդեցության տեսանկյունից էկոլոգիապես անվտանգ ՋԷԿ-երին ներկայացվող չափորոշիչներով՝ ավանդական ածխափոշային էլեկտրակայանը պետք է կահավորել մոխրի մասնիկների որսման էլեկտրագոյիչ, ծծմբային անհիդրիդից ծխագազերի մաքրման թաց կրային [5], ազոտի օքսիդների վերականգնման սելեկտիվ կատալիտիկ տեղա-

կայանքներով [6], ինչպես նաև ածխածնի երկօքսիդի որսման համապատասխան նանոմեմբրաններով: Կատարված հաշվարկների արդյունքները վկայում են այն մասին, որ ՋԷԿ-ի կահավորումը նշված տեղակայանքներով արդեն իսկ հանգեցնելու է (ի համեմատություն ավանդական ածխափոշային ՋԷԿ-ի) պահանջվող կապիտալ ներդրումների մոտ 30%-ով ավելացման, իհարկե, տարեկան շահագործման ծախսերը ևս աճելու են մոտ 25%-ով: Ծխագազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերի ներդրմամբ ածխափոշային նույն 200 *ՄՎտ* հզորությամբ էներգաբլոկի տնտեսական ցուցանիշները համեմատվել են նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ տարբերակի հետ: Հաշվարկներն իրականացվել են 26187.5 *կՋ/կգ* այրման ստորին ջերմությամբ գորշ ածխի գազիֆիկացումից ստացված սինթեզ գազով (կազմը՝ մոտ 40% H_2 , 15% CO , 30...35% CO_2 , 8% CH_4 և այլն, այրման ստորին ջերմությունը՝ 18430 *կՋ/կգ*): Նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ տարբերակը էկոլոգիական տեսանկյունից արդարացված է, քանզի մինչ այրման գործընթացի իրականացումը հում սինթեզ գազը նախապես անցնում է մաքրման բազմաստիճան համակարգ, ինչի արդյունքում էլ վերանում է կարծր մասնիկներից և ծծմբի միացություններից ծխագազերի հետագա մաքրման անհրաժեշտությունը: Այս տարբերակի համար որպես առավելություններ կարող ենք նշել արտանետվող CO_2 -ի մինչև 90% կրճատման հնարավորությունը, մաքրման գործընթացի կազմակերպման համար ջրի և գոյացող պինդ թափոնների փոքր քանակությունը, ինչպես նաև ներդրման դյուրինությունը: Դիտարկվող տարբերակների համեմատական գնահատականը տալու համար հաշվի է առնվել նաև այն հանգամանքը, որ կրճատված CO_2 -ի փաստացի քանակության դիմաց ստացված հավաստագրով կարելի է դառնալ արտանետումների քվոտների շուկայի մասնակից (որում քվոտի արժեքը տատանվում է 10...35 *եվրո/տ* տիրույթում), դրանով իսկ մեղմելով շահագործման ծախսերի վրա ունեցած ազդեցությունը և նվազեցնելով կապիտալ ներդրումների հետգնման ժամկետը:

Ստորև պատկերված դիագրամում (նկ.) բերված են ծխագազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերով և նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ էլեկտրակայաններում կապիտալ և շահագործման ծախսերի, ինչպես նաև էլեկտրական էներգիայի ինքնարժեքի մեծության փոփոխությունները՝ կախված քվոտների շուկայում 1 *տ* CO_2 -ի վաճառքի գնից:



Նկ. Միացված գազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերով կահավորված և նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ էլեկտրակայանի կապիտալ ներդրումների, շահագործման ծախսերի և արտադրված էլեկտրական էներգիայի ինքնարժեքի կախվածությունը ածխածնի երկօքսիդի քվտների վաճառքի գնից

Ստացված արդյունքների վերլուծությունից եզրահանգում ենք, որ քվտների վաճառքից գոյացած լրացուցիչ գումարը ծխագազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերով կահավորված էլեկտրակայանի շահագործման ծախսերի և արտադրված էլեկտրական էներգիայի ինքնարժեքի վրա ավելի մեծ ազդեցություն է ունենում, քան նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ էլեկտրակայանի պարագայում: Նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացմամբ էլեկտրակայանից դեպի շրջակա միջավայր CO₂-ի արտանետումները մոտ 45%-ով ավելի քիչ են, հետևաբար՝ անգամ շուկայում գործող քվտի վաճառքի առավելագույն գնով դրանց իրացման դեպքում վաճառքից ստացված գումարը տարեկան շահագործման ծախսերի և էլեկտրական էներգիայի ինքնարժեքի մեծությունները նվազեցնում է ընդամենը 12%-ով, մինչդեռ ծխագազերի մաքրման արդյունավետ համակարգերով կահավորված էլեկտրակայանի նույնանուն մեծությունները նվազում են գրեթե 30%-ով: Գնահատելով համեմատվող էլեկտրակայանների կապիտալ ներդրումների, շահագործման ծախսերի և արտադրված էլեկտրական էներգիայի ինքնարժեքի մեծությունները, ինչպես նաև CO₂-ի քվտների վաճառքի հանգամանքը՝ հստակորեն կարելի է փաստել, որ նախքան այրումը ածխի գազիֆիկացման տարբերակը, իր էկոլոգիական բոլոր առավելություններով հանդերձ, տնտեսապես ավելի նպատակահարմար է կիրառել առավել մեծ օ.գ.գ. ունեցող շոգեգազատուրբինային տեղակայանքներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Современные природоохранные технологии в электроэнергетике: Инф. сб. / Под ред. **В.Я. Путилова**. - М.: Издательский дом МЭИ, 2007.- 388 с.
2. **Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Литун Д.С.** Перспективы использования технологии ЦКС при техническом перевооружении ТЭС России // Теплоэнергетика. - 2009.- № 1. - С. 28-36.
3. **Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Санкин Д.А.** Сепарация CO₂ с использованием химических циклов сжигания и газификации топлив // Теплоэнергетика. - 2009. - № 6.- С. 39-49.
4. **Батенин В.М., Масленников В.М., Выскубенко Ю.А, Штеренберг В.Я.** Сравнительный технико-экономический анализ вариантов использования угля в ПГУ с минимальными выбросами диоксида углерода в атмосферу // Теплоэнергетика. – 2007.- № 1. - С. 24-30.
5. **Մարուխյան Ռ.Զ., Էլբակյան Ս.Հ.** Ծծմբի միացություններից ծխազագերի մաքրման գործընթացի ազդեցությունը էլեկտրական էներգիայի ինքնարժեքի վրա // ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2010.- Հատոր 2, № 2. - էջ 376-380:
6. **Մարուխյան Ռ.Զ., Էլբակյան Ս.Հ.** Ազոտի օքսիդների նվազեցման միջոցառումների համադրական վերլուծություն // ՀՊՃՀ (Պոլիտեխնիկ) տարեկան գիտաժողովի նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2011.- Հատոր 2. - էջ 392-397:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 20.03.2017:

В.З. МАРУХЯН, С.Г. ЭЛБАКЯН

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА СВЯЗЫВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Учитывая вклад диоксида углерода, как парникового газа, в процесс глобального потепления, анализируются технологические решения его связывания и возможности реализации в экологически безопасных теплоэлектростанциях. В электрических станциях, оснащенных эффективными системами очистки дымовых газов и газификации угля до сжигания, оценено влияние сокращения CO₂ и торговли квотами на экономическую эффективность.

Ключевые слова: экологически безопасная теплоэлектростанция, системы очистки дымовых газов, газификация угля, парниковый газ, диоксид углерода, торговля квотами.

V.Z. MARUKHYAN, S.H. ELBAKYAN

**EVALUATING THE IMPACT OF THE CARBON DIOXIDE CAPTURING
PROCESS ON THE INDICES OF ECONOMIC EFFICIENCY IN
THERMAL POWER PLANTS**

Taking into account the input of carbon dioxide as a greenhouse gas in the global warming process, the technological solutions of its capturing, and the implementation possibilities in environmentally safe thermal power plants are considered. In power plants equipped with effective systems for cleaning the fuel gas and the coal gasification, the influence of the CO₂ reduction and realization of quotes on the indices of economic efficiency is estimated.

Keywords: environmentally safe thermal power plant, fuel-gas cleaning systems, coal gasification, greenhouse gas, carbon dioxide, emission quote trading.

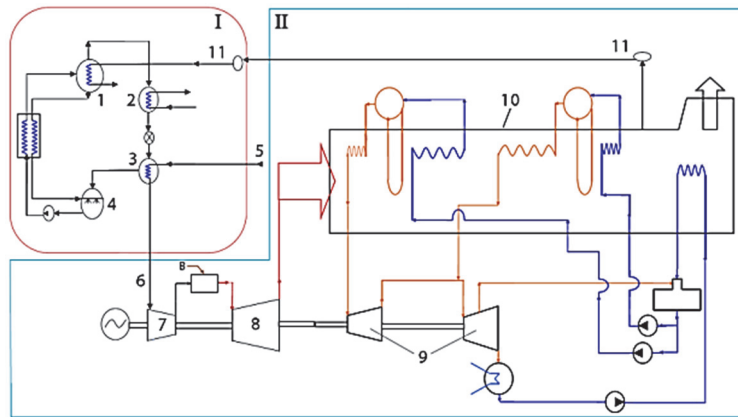
Լ.Ս. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Ռ.Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ

ԳԱԶԱՏՈՒՐԲԻՆԱՅԻՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔ ՄԱՏՈՒՑՎՈՂ ՕԴԻ՝ ՍԱՌԱՐԱՆԱՅԻՆ
ՄԵՔԵՆԱՅՈՎ ՀՈՎԱՑՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ
ՕՊՏԻՄԱԼ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

Դիտարկվել է գազատուրբինային տեղակայանքի (ԳՏՏ) կոմպրեսոր մատուցվող մթնոլորտային օդը արտաբերվող բրոմալիթիումային սառնարանային մեքենայի (ԱԲՄՄ) միջոցով հովացնելու տեխնիկատնտեսական շահավետությունը: Գնահատվել է ԱԲՄՄ-ի արդյունավետությունը: Վերլուծվել է հովացման համակարգը նախագծելիս մթնոլորտային օդի առավել նպատակահարմար հաշվարկային ջերմաստիճանի ընտրության հարցը:

Առանցքային բառեր. ԳՏՏ-ի մուտքում օդի հովացում, արտաբերվող բրոմալիթիումային սառնարանային մեքենա, զուտ բերված շահույթ:

Սառնարանային մեքենաների միջոցով տեղակայանք մատուցվող օդի հովացումը (նկ.1) հնարավորություն է տալիս նվազեցնել մթնոլորտային օդի պարամետրերի ազդեցությունը շոգեգազային տեղակայանքների (ՇԳՏ) էներգետիկական ցուցանիշների վրա՝ պահպանելով ներծծվող օդի հաստատուն ջերմաստիճան կոմպրեսորի մուտքում [1]:

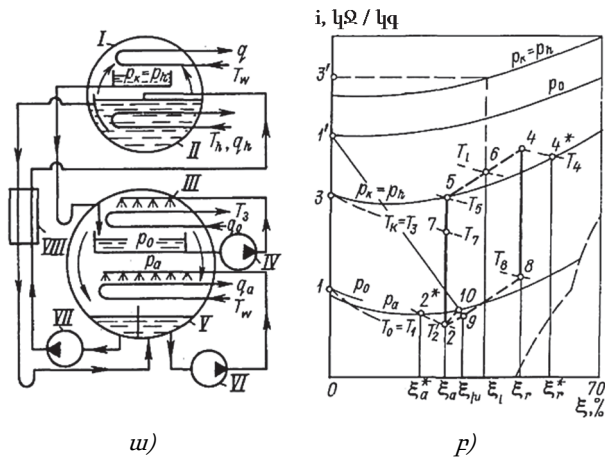


Նկ. 1. Ներծծվող օդի հովացմամբ շոգեգազային համակցված ցիկլով տեղակայանքի սկզբունքային սխեման:

I - արտաբերվող հովացման համակարգ, *II* - երկկոնտուր օգտահանիչ կաթսայով ՇԳՏ:

1 - գեներատոր, 2 - կոնդենսատոր, 3 - գոլորշացուցիչ, 4 - արտաբեր, 5 - արտաքին օդ, 6 - հովացված օդ, 7 - կոմպրեսոր, 8 - գազային տուրբին, 9 - շոգետուրբին, 10 - օգտահանիչ կաթսա, 11 - ՕԿ-ից դեպի ԱԲՄՄ-ի գեներատոր տրվող ջերմություն

Ներծծվող օդի հովացման համար ընտրված է հեղեղված տիպի գեներատորով, արտորբերում և գոլորշացուցիչում համապատասխանաբար ցածր կոնդենստացիայով լուծույթի ու ջրի վերաշրջանառությամբ սառնարանային մեքենայի սխեման (նկ.2): Հովացնող ջրի մատուցումը արտորբեր և կոնդենսատոր զուգահեռ է:



Նկ. 2. ԱՄՄՄ-ի սխեման (ա) և պրոցեսները $\xi - i$ դիագրամի վրա (բ).
 I – կոնդենսատոր, II – գեներատոր, III – գոլորշացուցիչ, IV, VI, VII – համապատասխանաբար շրջապտույտային ջրի, լիթիումի բրոմիդի խառնված և նոսր լուծույթների պոմպերը, V – արտորբեր, VIII – ռեկուպերատիվ ջերմափոխանակիչ

Ելակետային տվյալներն են. տաքացնող ջրի ջերմաստիճանը՝ $t_h = 98^\circ\text{C}$, հովացնող՝ $t_w = 22^\circ\text{C}$, սառեցված՝ $t_3 = 7^\circ\text{C}$:

Առավելագույն ջերմաստիճանը գեներատորում լուծույթի եռման պրոցեսի վերջում. $t_4 = t_h - \Delta t_h = 98 - 10 = 88^\circ\text{C}$: Ջրային գոլորշու կոնդենսացման ջերմաստիճանը ընդունված է հավասար $t_k = t_w + \Delta t_w = 22 + 8 = 30^\circ\text{C}$, լուծույթի ջերմաստիճանը արտորբման պրոցեսի վերջում՝ $t_2 = t_w + \Delta t_a = 22 + 8 = 30^\circ\text{C}$, գոլորշացուցիչում ջրի եռման ջերմաստիճանը՝ $t_0 = t_3 - \Delta t_3 = 7 - 3 = 4^\circ\text{C}$: Ուստի բանող մարմնի կոնդենսացման ճնշումը կլինի $p_k = 4,241 \text{ կՊա}$, և եռման ճնշումը՝ $p_0 = 0,83 \text{ կՊա}$: Գոլորշու շարժման արագությունը գեներատորից կոնդենսատոր ցածր է, հետևաբար, հիդրավիկական դիմադրությունները կարելի է անտեսել և գեներատորում լուծույթի եռման ճնշումը p_h ընդունել հավասար գոլորշու կոնդենսացման ճնշմանը՝ $p_h = p_k$: Արտորբեր-գոլորշացուցիչ բլոկում գոլորշու տեսակարար ծավալի բարձր արժեքի պատճառով գոլորշացուցիչից արտորբեր դրա հոսքի արագությունը կլինի զգալի (40...50 մ/վ), ուստի անհրաժեշտ է հաշվի առնել գումարային հիդրավիկական դիմադրությունը, որը փորձնական տվյալների համաձայն՝ արդյունաբերական նշանակության մեքենաներում հասնում է $\Sigma \Delta p = 0,13 \text{ կՊա}$: Այդ դեպքում արտորբերում գոլորշու ճնշումը՝ $p_a = p_0 - \Sigma \Delta p = 0,7 \text{ կՊա}$:

Նոսր ξ_a^* և խիտ ξ_r^* լուծույթների կոնցենտրացիաների տեսական արժեքները որոշվում են ըստ $\xi - i$ դիագրամի՝ T_2, p_a և T_4, p_h համապատասխան արժեքների համաձայն [2]: Խիտ լուծույթի իրական կոնցենտրացիան տեսական արժեքից ցածր է լուծույթից ջրի ոչ լրիվ գոլորշացման չափով $\Delta\xi_r$, իսկ նոսր լուծույթի իրական կոնցենտրացիան արտորբերում տեսական արժեքից բարձր է լուծույթի թերհագեցման մեծության չափով $\Delta\xi_a$: Նկ. 2-ում պատկերված ցիկլերի հանգուցային կետերի պարամետրերը ներկայացված են աղ.1-ում:

Աղյուսակ 1

ԱՐՄՄ-ի հանգուցային կետերի պարամետրերը

Նյութի վիճակը	t, °C	p, կՊա	ξ , %	i, կՋ/կգ
Ջուրը կոնդենսատորից հետո	$t_k = t_2 = 30$	$p_k = 4,24$	$\xi = 0$	$i_3 = 544,3$
Լուծույթը. նոսր արտորբերից հետո	$t_2 = 30$	$p_a = 0,7$	$\xi_a = 58$	$i_2 = 245,6$
Խիտ գեներատորից հետո	$t_4 = 88$	$p_h = 4,24$	$\xi_r = 64$	$i_4 = 361,7$
Խիտ ջերմափոխանակիչից հետո	$t_8 = 45$	$p_h = 4,24$	$\xi_r = 64$	$i_8 = 279,3$
Ջուրը գոլորշացուցիչում	$t_0 = t_1 = 4$	$p_0 = 0,83$	$\xi = 0$	$i_1 = 435,5$
Գոլորշին գոլորշացուցիչից հետո	$t_1 = 4$	$p_0 = 0,83$	$\xi = 0$	$i_{1'} = 2914,2$

Օգտագործելով լուծույթի շրջանառության բազմապատիկը՝ հաշվարկվում են ռեկուպերատիվ ջերմափոխանակիչի ջերմությունը q_{ρ} և նոսր լուծույթի էնթալպիան ջերմափոխանակիչից հետո i_7 .

$$f = \xi_r / (\xi_r - \xi_a) = 64 / (64 - 58) = 10,7 \text{ կգ/կգ,}$$

$$q_{\rho} = (f - 1)(i_4 - i_8) = 799,3 \text{ կՋ/կգ,}$$

$$i_7 = i_2 + q_{\rho} / f = 320,3 \text{ կՋ/կգ.}$$

Նոսր լուծույթը գեներատորի մուտքում թերտաքացած է, այն գեներատորում նախ տաքացվում է մինչև հավասարակշռության վիճակին՝ 5 հասնելը և ապա եռում է 5-4 պրոցեսում:

Գեներատորում եռացող լուծույթի միջին ջերմաստիճանին համապատասխանող լուծույթի կոնցենտրացիան հավասար է $\xi_l = 61\%$: Գերտաք գոլորշու էնթալպիան գեներատորի ելքում որոշում են $\xi - i$ դիագրամից ըստ հայտնի p_h և ξ_l արժեքների. $i_{3'} = 3052 \text{ կՋ/կգ}$: Գեներատորի ջերմությունը՝
 $q_h = i_{3'} + (f - 1)i_4 - fi_7 = 3052 + (10,7 - 1) \cdot 361,7 - 10,7 \cdot 320,3 = 3133 \text{ կՋ/կգ.}$

Գոլորշացուցիչի ջերմությունը՝ $q_0 = i_{1'} - i_3 = 2914,2 - 544,3 = 2370 \text{ կՋ/կգ}$: Կոնդենսատորի ջերմությունը՝ $q = i_{3'} - i_3 = 3052 - 544,3 = 2508 \text{ կՋ/կգ}$: Արտորբերի

ջերմությունը՝ $q_a = i_1 + (f - 1)i_8 - fi_2 = 2914,2 + (10,7 - 1) \cdot 279,3 - 10,7 \cdot 245,6 = 2995$ կՋ/կգ Ջերմային հաշվեկշիռը՝ $q_h + q_0 = q + q_a = 5503$ կՋ/կգ Ջերմության օգտագործման գործակիցը.

$$\zeta = \frac{q_0}{q_h} = \frac{2370}{3133} = 0,756: \quad (1)$$

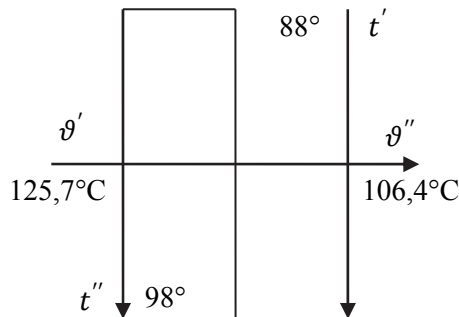
Անվանական պարամետրերով աշխատող գազաջրային տաքացուցիչի (ԳՋՏ) ջերմությունը ամբողջությամբ օգտագործող 7782 կՎտ ցրտարտադրողականությամբ ԱԲՄՄ-ի ելքում տաքացնող ջրի ջերմաստիճանը կկազմի $t' = 98 - 10 = 88^\circ\text{C}$: Ընդ որում, տաք ջրի հոսքից տրված ջերմությունը կկազմի. $Q_\rho = \frac{Q_0}{\zeta} = 7782/0,756 = 10294$ կՎտ: Հետևաբար՝ պահանջվող տաք ջրի (98°C) ծախսը հավասար կլինի. $G_\rho = Q_\rho/(i'' - i') = 245$ կգ/վ:

Տաք ջուրն արտադրվելու է հեռացող ծխագազերից չորս ջերմափոխանակիչների միջոցով օգտահանվող ջերմության հաշվին: Գազաջրային տաքացուցիչն ունի շախմատաձև խողովակափնջերում գազերով լայնակիորեն ողողվող, արտաքինից կողավորված խողովակների տեսքով տաքացման մակերևույթ: Կոնվեկտիվ տաքացման մակերևույթների հաշվարկը հիմնվում է ջերմային հաշվեկշռի հավասարումների համակարգի և ջերմափոխանակության հավասարման համատեղ լուծման վրա [3]: Տաքացուցիչի ելքում գազերի ջերմաստիճանի որոշման համար կազմենք տաքացուցիչի ջերմային հաշվեկշռի հավասարումը. $Q_\rho = Q_q$, որտեղ $Q_q = G_q(h' - h'')$ -ը տաքացուցիչում գազերից ջրին փոխանցված ջերմությունն է, G_q -ը՝ տաքացուցիչներում գազերի ծախսը, h' -ը՝ տաքացուցիչի մուտքում գազերի էնթալպիան: Տաքացուցիչի ելքում գազերի էնթալպիան՝ h'' կորոշվի հետևյալ արտահայտությունից.

$$h'' = h' - \frac{G_\rho(i'' - i')}{G_q} = 130 - \frac{245 \cdot (412 - 370)}{512,7} = 109,9 \text{ կՋ/կգ}: \quad (2)$$

Գազերի ջերմաստիճանը տաքացուցիչի ելքում կկազմի $\vartheta'' = 106,4^\circ\text{C}$:

Տաքացուցիչում կիրառված է խաչաձև հոսքով ըստ ջրի եռաքայլ սխեմա (նկ.3): Ջերմափոխանցման գործակցի $k = 66,5$ Վտ/($u^2 \cdot \vartheta$) դեպքում մեկ տաքացուցիչում անհրաժեշտ ամբողջ տաքացման մակերևույթի մակերեսը 1818,9 u^2 է, հետևաբար, կողավորված խողովակների ընդհանուր երկարությունը կկազմի 2135 u : Տաքացուցի տրված երկրաչափական պարամետրերի դեպքում այդպիսի ջերմափոխանակիչի արժեքը, եթե տեսակարար ծախսերը մեկ մետր երկարությամբ կողավորված խողովակին վերագրած 20,4 \$/մ են, կկազմի 44 880 ԱՄՆ դոլ.: Ջերմափոխանակիչների ձեռքբերման վրա կատարվող ներդրումները վերագրենք փոխանցվող միավոր ջերմաքանակին, կստանանք. $4 \cdot 44 880/10 305$ կՎտ = 17,4 \$/կՎտ:



Նկ. 3. Տաքացուցիչում միջավայրերի շարժման սխեման

ԱԲՄՄ-ում ցուրտն արտադրվում է ԳՋՏ-ում ԳՏՏ-ից հեռացող ծխագազերի օգտահանման հաշվին ստացված ջերմության օգտագործմամբ, այսինքն՝ առանց դրա արտադրության վրա էներգիայի լրացուցիչ քանակություն ծախսելու:

Ելնելով վերը նշվածից՝ կատարենք ՇԳՏ-ում կոմպրեսոր ներծծվող օդի՝ ԱԲՄՄ-ի միջոցով հովացման տնտեսական արդյունավետության գնահատումը: Հովացման համակարգի տեղադրման կապիտալ ներդրումների հիմնական բաղադրիչներն են աբսորբցիոն սառնարանային տեղակայանքի և ջերմա-փոխանակիչների կապիտալ ծախսերը: Որպես ջերմության աղբյուր տաք ջուր օգտագործող միաստիճան աբսորբցիոն սառնարանային մեքենայի (5...12 ՄՎտ) կապիտալ ծախսերը, հովացնող ջրի աշտարակահովացուցիչի արժեքը ներառյալ, կազմում են մոտ 190\$/կՎտ: Ներծծվող օդը հովացնող ջերմափոխանակիչի վրա կատարվող ծախսերը հաշվվում են 17,4\$/կՎտ $Q_{\text{ս}}$ և ԳՋՏ-ի վրա կատարվող ծախսերը՝ 17,4\$/կՎտ $\cdot Q_{\text{ջ}}$, որտեղ $Q_{\text{ս}}$ -ը ԱԲՄՄ-ի ցրտարտադրողականությունն է, իսկ $Q_{\text{ջ}}$ -ը՝ աշխատանքի համար անհրաժեշտ ջերմության քանակությունը՝ $Q_{\text{ջ}} = Q_{\text{ս}}/\zeta$:

Հովացման համակարգի վրա կատարվող գումարային կապիտալ ներդրումներն օդի տարբեր հաշվարկային ջերմաստիճանների՝ $t_{\text{ս.օդ}}^{\text{ն}}$ -ի դեպքում ամփոփված են աղ. 2-ում:

Որպես ԳՏՏ-ի կոմպրեսորի մուտքում ԱԲՄՄ-ով օդի հովացման տնտեսական արդյունք հանդես է գալիս միևնույն վառելիքի ծախսի պայմաններում ($B=\text{idem}$) հովացման արդյունքում արդյունավետության բարձրացման շնորհիվ հավելյալ արտադրված էլեկտրական էներգիայի առևտրային իրացումից ստացված եկամուտը: Տարեկան դրամական հոսքը կորոշվի հետևյալ բանաձևով.

$$CF_{\text{տ}} = U_{\text{էլ}} \cdot (E_{\text{հով}} - E_{\text{առանց}}), \quad (3)$$

որտեղ $U_{\text{էլ}}$ -ը «Երևանի ՋԷԿ» ՓԲԸ շոգեգազային ցիկլով աշխատող էներգաբլոկի կողմից առաքված էլեկտրական էներգիայի սակագնի դրույքն է, որը 2016թ. III-

եռամսյակում կազմել է $U_{\text{էլ}} = 21,3 \text{ ճր/կՎտժ}$, $E_{\text{հոլ}}$ և $E_{\text{առանց}}$ -ը, համապատասխանաբար, հոլացմամբ և առանց հոլացման ԳՏՏ-ով արտադրված էլեկտրաէներգիան է, երբ վառելիքի ծախսն այրման խցում միևնույնն է և հավասար առանց հոլացման մթնոլորտային օդի ջերմաստիճանին համապատասխանող վառելիքի ծախսին՝ $B_{\text{առանց}}$, $կգ/վ$:

Արտադրված էլեկտրաէներգիայի քանակությունը որոշվում է $E = N_{\text{ԳՏՏ}}^{\text{է}} \cdot \tau_{\text{հոլ}}$ բանաձևից, ընդ որում՝ $N_{\text{ԳՏՏ}}^{\text{է}} = B \cdot Q_u^{\text{է}} \cdot \eta_{\text{ԳՏՏ}}$, հետևաբար՝ (3)-ից կստանանք.

$$CF_{\text{տ}} = U_{\text{էլ}} \cdot B_{\text{առանց}} \cdot Q_u^{\text{է}} \cdot \tau_{\text{հոլ}} (\eta_{\text{հոլ}}^{\text{ԳՏՏ}} - \eta_{\text{առանց}}^{\text{ԳՏՏ}}), \quad (4)$$

որտեղ $\tau_{\text{հոլ}}$ -ը սառնարանային մեքենայի աշխատանքի ժամերի թիվն է, ժ , $Q_u^{\text{է}}$ -ը՝ վառելիքի այրման ջերմությունը, $Q_u^{\text{է}} = 47372 \text{ կՋ/կգ}$, $\eta_{\text{հոլ}}^{\text{ԳՏՏ}}$, $\eta_{\text{առանց}}^{\text{ԳՏՏ}}$ -ը՝ ԳՏՏ-ի օ.գ.գ.-ի արժեքներն են, համապատասխանաբար, հոլացմամբ և առանց հոլացման:

Վերջիններս կարելի է որոշել հաշվարկների արդյունքների հիման վրա ստացված արտաքին օդի ջերմաստիճանից t դրանց կախվածությունն արտահայտող հետևյալ արտահայտությունից.

$$\eta_{\text{ԳՏՏ}} = 0,3579 \cdot e^{-0,00242 \cdot t},$$

իսկ վառելիքի ծախսի համար կարող ենք գրել.

$$B = 10,14 \cdot e^{-0,00479 \cdot t}:$$

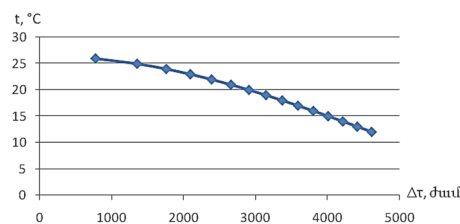
$\tau_{\text{հոլ}}$ -ը հաշվելու համար անհրաժեշտ է իմանալ տարվա ընթացքում ջերմաստիճանների փոփոխության բնույթը: Միջին ջերմաստիճանի փոփոխությունը Երևան քաղաքի համար արտահայտելու համար հեղինակների կողմից ստացվել է հետևյալ կախվածությունը.

$$t = 11,3 + 15,2 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{9500} \cdot (\tau - 2450)\right), \quad (5)$$

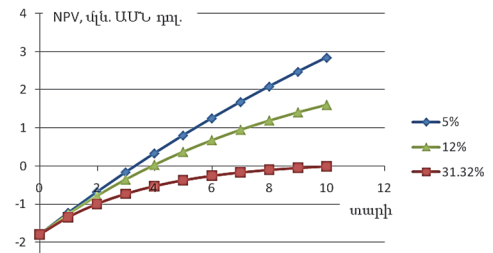
որտեղ τ -ը ժամերի թիվն է տարվա սկզբից: Այս արտահայտությամբ որոշված միջին ջերմաստիճաններն ըստ ամիսների համադրվել են [4]-ում բերված կլիմայական տվյալների հետ: Ստացված արտահայտության հիման վրա որոշվել է որոշակի t միջին ջերմաստիճանից բարձր արտաքին օդի ջերմաստիճանով տարվա ընթացքում գումարային ժամերի քանակը (նկ.4):

Տարեկան դրամական հոսքերը որոշելուց հետո (աղ. 2) կարող ենք գտնել նախագծի իրականացման արդյունքում ստացված զուտ բերված շահույթը (NPV), որի հիման վրա կորոշվի արտաքին օդի օպտիմալ հաշվարկային ջերմաստիճանի արժեքը, որի համար ԱԲՄՄ-ը նախագծելու դեպքում ստացվող շահույթը կլինի առավելագույնը:

Հաշվարկը կատարվել է 10 տարի ժամանակահատվածի համար, որպես դիսկոնտավորման դրույք դիտարկվել է երկու արժեք (նկ.5). առաջին դեպքում R-ն ընդունվել է հավասար ՀՀ կենտրոնական բանկի կողմից սահմանված դրամական միջոցների ներգրավման տոկոսադրույքին՝ R=5%, իսկ երկրորդ դեպքում բանկային տոկոսի հաշվարկային դրույքին՝ R=12%, դրամը ԱՄՆ դոլարի վերահաշվարկելիս օգտագործվել է ԿԲ սահմանած 19.12.2016 փոխարժեքը՝ 1 USD=482,68 դր:



Նկ. 4. t միջին արժեքից բարձր արտաքին օդի ջերմաստիճանով ժամերի քանակը



Նկ. 5. Ջուտ բերված շահույթը տարբեր դիսկոնտավորման դրույքների դեպքում

Աղյուսակ 2

ԱՔՄՄ-ի միջոցով ներծծվող օդի հովացման համակարգի տեխնիկատնտեսական ցուցանիշները

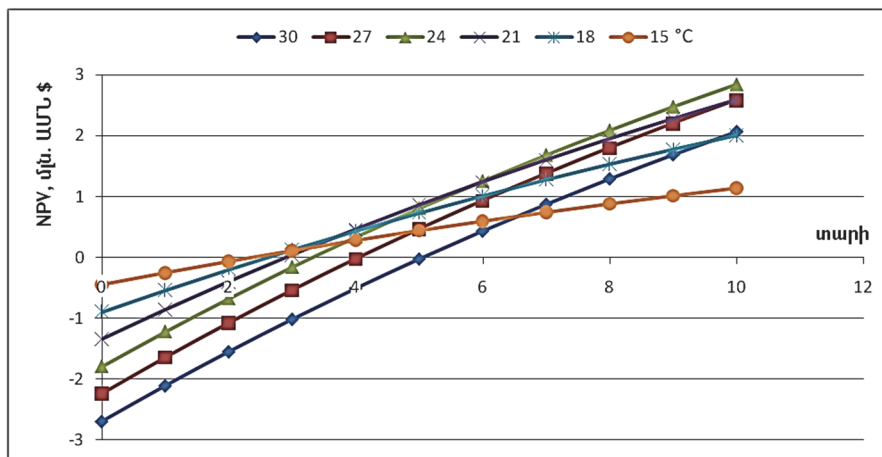
$t_{\text{արտ}}^{\text{ն}},$ °C	$Q_{\text{ԱՔՄՄ}},$ կՎտ	Ջերմափոխանակիչից հետո ծխագազերի ջերմաստիճանը՝ θ'' , °C	Ընդհանուր կապիտալ ներդրումները, դոլ.	$CF_{\text{տ}},$ դոլ./տարի	Պարզ հետզնման ժամկետը, տարի
30	11673	97	2689627	616845	4.36
29	11024	98	2540204	619807	4.10
28	10376	100	2390780	622783	3.84
27	9727	102	2241356	625773	3.58
26	9079	103	2091932	628778	3.33
25	8430	105	1942509	619505	3.14
24	7782	106	1793085	600997	2.98
23	7133	108	1643661	575898	2.85
21	5836	111	1344814	509621	2.64
19	4539	114	1045966	424786	2.46

Օգտահանիչ կաթսայի հաշվարկի արդյունքում ստացված տվյալների և առնչությունների հիման վրա որոշվել է հեռացող ծխագազերի ջերմաստիճանը՝ θ'' դրանց ջերմության հաշվին սառնարանային մեքենայի միջոցով ներծծվող օդի հովացման համակարգի կիրառման դեպքում: Բնչալես երևում է աղ. 2-ից, $\theta'' > 100^\circ\text{C}$ պայմանը պահպանելու նպատակով (ծխագազերում առկա ջրային գոլորշիների

կոնդենսացումից հետագա թթվային միջավայրի ստեղծումից խուսափելու համար) ԱԲՄՄ-ի ցրտարտադրողականությունը պետք է սահմանափակվի 10 ՄՎտ-ով, իսկ $t_{w.o\eta}^{\text{հ}}$ -ը, համապատասխանաբար, 28°C-ով:

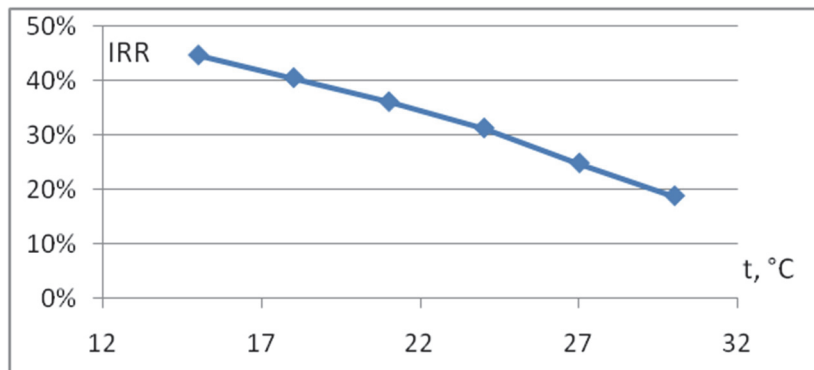
Արտաքին օդի ջերմաստիճանի հաշվարկային արժեքը $t_{w.o\eta}^{\text{հ}}$ որոշելիս կարևոր դերակատարություն ունի դիսկոնտավորման դրույքի R ճիշտ որոշումը, քանի որ այն զգալիորեն ազդում է NPV-ի վրա (նկ.5): Այսպես, պարզ հետզնման ժամկետը և եկամուտը գնահատելիս ($R=0$) օպտիմալ արտաքին օդի ջերմաստիճանը կազմել է $t_{w.o\eta}^{\text{հ}} = 25^{\circ}\text{C}$, որի դեպքում ԱԲՄՄ-ի տեղադրումից 10 տարի անց շահույթն առավելագույնն է՝ 4253 հզ. ԱՄՆ դոլ., իսկ հետզնման ժամկետը՝ $PBP=3,14$ տարի: $R=5\%$ դեպքում (նկ.6) օպտիմալ է $t_{w.o\eta}^{\text{հ}} = 24^{\circ}\text{C}$, որի դեպքում $PBP=4$ տարի, իսկ $NPV=2848$ հզ. ԱՄՆ դոլ.: Մինչդեռ $R=12\%$ դեպքում օպտիմալ է $t_{w.o\eta}^{\text{հ}} = 23^{\circ}\text{C}$, որի դեպքում $PBP=4$ տարի, իսկ $NPV=1610$ հզ. ԱՄՆ դոլ.:

Ինչպես երևում է ստացված գրաֆիկից (նկ.6), էական նշանակություն ունի նախագծի տևողության ընտրությունը, քանի որ տարբեր $t_{w.o\eta}^{\text{հ}}$ -ից կախված $CF_{\text{տ}}$ -ի արժեքները զգալիորեն տարբերվում են, և նախագծի տևողությունից կախված՝ առավելագույն NPV-ին համապատասխանող $t_{w.o\eta}^{\text{հ}}$ -ը կարող է փոխվել:



Նկ. 6. Ձուտ բերված շահույթը $t_{w.o\eta}^{\text{հ}}$ -ի տարբեր արժեքների դեպքում

Կոմպլեքտը ներծծվող օդի հովացման համակարգը նախագծելիս պետք է նաև հաշվի առնել, որ շահութաբերության ներքին նորմը (IRR) զգալիորեն փոփոխվում է՝ ընտրված ԱԲՄՄ-ի ցրտարտադրողականությունից կախված: Ինչպես երևում է նկարից (նկ.7), արտաքին օդի հաշվարկային արժեքից $t_{w.o\eta}^{\text{հ}}$ կախված՝ IRR-ը զգալիորեն նվազում է:



Նկ. 7. IRR-ի կախվածությունը արտաքին օդի հաշվարկային ջերմաստիճանից

Եզրակացություն: Մշակվել է ծխագազերի ջերմությունը օգտահանող, ԳՏՏ ներծծվող օդի աբսորբցիոն հովացման համակարգի նախագծման փուլում էներգետիկական և տնտեսական շահավետության հաշվարկի հիման վրա արտաքին օդի հաշվարկային օպտիմալ ջերմաստիճանի որոշման մեթոդ: Որպես օպտիմալ ընտրվել է $t_{w, օդ}^h = 24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($Q_{UFUU} \approx 7,8\text{ ՄՎտ}$):

Հաշվարկի արդյունքներից ակնհայտ է, որ Երևանի պայմաններում ԳՏՏ-ի կոմպրեսորի մուտքում ԱԲՄՄ-ի միջոցով օդի հովացման համակարգի կիրառումը տնտեսապես շահավետ է: Երևանի ՋԷԿ-ի շոգեգազային էներգաբովի օրինակով այդպիսի համակարգի հետգնման ժամկետը կազմել է 3...4 տարի, տարեկան շահութաբերությունը՝ մոտ 601 հզ. ԱՄՆ դոլ. (290 մլն. դր):

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Սարգսյան Ա.Գ., Խաչատրյան Ռ.Գ.** Գազատուրբինային տեղակայանքների մուտքում օդի հովացման արդյունավետության ջերմատնտեսական մեթոդի վերլուծություն // ՀՀԱ Լրաբեր. – 2016.- Հ.13, №2. – Էջ 249-254:
2. Термодинамические свойства водных растворов бромистого лития / **О.И. Вербя, В.А. Груздев, А.Г. Захаренко и др.** // Теплофизические свойства растворов: Сб. научн. тр.- Новосибирск: Изд-во Ин-та теплофизики, 1983. - С. 19-34.
3. **Тепловой расчет котлов** (Нормативный метод). - СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. - 256 с.
4. **ՀՀՇՆ II-7.01-2011** Շինարարական կլիմայաբանություն

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 01.04.2017:

Л.С. ОГАНЕСЯН, Р.Г. ХАЧАТРЯН

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ
ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ
ВОЗДУХА, ПОСТУПАЮЩЕГО В ГАЗОТУРБИННУЮ УСТАНОВКУ**

Рассмотрена технико-экономическая эффективность охлаждения абсорбционной бромистолитиевой холодильной машиной (АБХМ) атмосферного воздуха, поступающего в компрессор газотурбинной установки. Оценена эффективность АБХМ. Анализирован вопрос выбора оптимальной расчетной температуры наружного воздуха при проектировании системы охлаждения.

Ключевые слова: охлаждение поступающего в газотурбинную установку воздуха, абсорбционная бромистолитиевая холодильная машина, чистый дисконтированный доход.

L.S. HOVHANNISYAN, R.G. KHACHATRYAN

**SELECTING THE OPTIMAL VALUE OF CALCULATION TEMPERATURE AT
DESIGNING A REFRIGERATION COOLING SYSTEM OF THE AIR
ENTERING THE GAS - TURBINE PLANT**

The technical and economic efficiency of the gas-turbine compressor inlet air cooling by means of a lithium-bromide absorption chiller is investigated. The efficiency of LiBr AC is estimated. The issue on selecting the optimal outdoor air temperature at designing the cooling system is analyzed.

Keywords: gas-turbine inlet air cooling, lithium-bromide absorption chiller, net present value.

ՀՏԴ 621. 316

ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ

Ա.Թ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Գ.Մ. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Տ.Ռ. ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ, Կ.Ռ. ԵՆՈՔՅԱՆ,
Ա.Ա. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ

**ՀԱՐԹ ՎԵՐԱՄԲԱՐԶ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՍԻ ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ
ՀԱՄԱԿԱՐԳ**

Մշակվել է հարթ վերամբարձ էլեկտրամագնիսի նախագծման ավտոմատացված համակարգ՝ բաղկացած երկու ենթահամակարգից՝ աշխատանքային և լավարկման: Համակարգը հնարավորություն է տալիս երկխոսության ռեժիմում իրականացնել սարքի նախագծում՝ լավարկված պարամետրերով, ստանալով անհրաժեշտ տեղեկություններ թվային արժեքների տեսքով:

Առանցքային բառեր. հարթ վերամբարձ էլեկտրամագնիս, կառավարման փաթույթ, ավտոմատ նախագիծ, երկխոսության ռեժիմ, լավարկում:

Ներածություն: Հարթ վերամբարձ էլեկտրամագնիսները (ՀՎԷ) կիրառվում են ֆերոմագնիսական նյութից պատրաստված սարքերի, մետաղամնացորդի, ձուլակի և այլ տեսակի բեռների տեղափոխման համար: Երբեմն օգտագործվում են որպես էլեկտրամագնիսական փական: Դրանք ունեն պարզ կառուցվածք, հավաքման տեխնոլոգիա և կառավարում, բարձր ամրություն և երկարակեցություն, աշխատանքային պարամետրերի կայունություն:

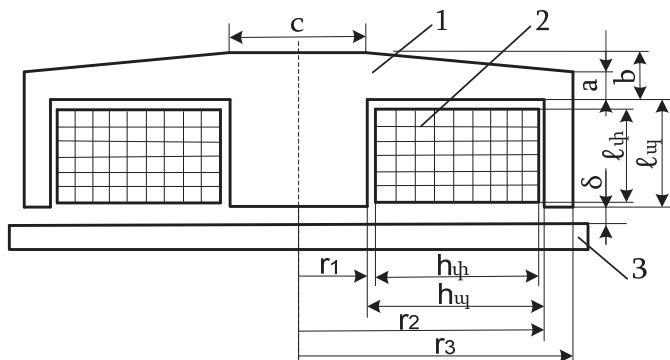
Վերամբարձ էլեկտրամագնիսները նախատեսված են աշխատելու հաստատուն մագնիսական դաշտով, որի համար էլ սնվում են հաստատուն լարման աղբյուրից՝ երկարատև, կարճատև կամ կարճատև կրկնվող ռեժիմներում:

ՀՎԷ-ը բաղկացած է ֆերոմագնիսական պողպատից պատրաստված մագնիսալարից և նրա մեջ տեղադրված կառավարման փաթույթից (ԿՓ), ընդ որում՝ փաթույթը կարող է լինել կարկասով (կոճ) կամ առանց կարկասի (փաթույթ):

Նկ. 1-ում պատկերված է ՀՎԷ-ի կառուցվածքային սխեման՝ բեռի փոխադարձ դասավորվածությամբ, որտեղ 1-ը էլեկտրամագնիսի մագնիսալարն է, 2-ը՝ ԿՓ-ն, 3-ը՝ բեռը, իսկ ծ-ով նշանակված է աշխատանքային օդային բացակը:

Բեռի բարձրացումն ու տեղափոխումն իրականացվում է հետևյալ կերպ: Էլեկտրամագնիսը մոտեցվում է բեռին, ընդհուպ նրան հպվելը, որից հետո ԿՓ-ն միացվում է հաստատուն լարման աղբյուրին: Էլեկտրական հոսանքի և ԿՓ-ի զալարների միջոցով ստեղծվում են մագնիսաշարժ ուժ (ՄՇՈՒ) և մագնիսական դաշտ, որի Փճ աշխատանքային ուժագծերն անցնելով մագնիսալարի կենտրոնական S_1 մակերեսով՝ պայմանավորված r_1 շառավղով, δ չափով աշխատանքային

օդային բացակով ու ճյուղավորվելով բեռի աջ ու ձախ մասերով, նորից անցնում են δ -ով և էլեկտրամագնիսի եզրային S_2 մակերեսով՝ պայմանավորված (r_3-r_2) շառավիղների տարբերությամբ: Ստեղծվում է էլեկտրամագնիսական $P_{էլ}$ ձգող ուժ, որի անհրաժեշտ մեծության դեպքում բեռը ձգվում է դեպի էլեկտրամագնիս-ը, և կարող են միասին տեղափոխվել ըստ նպատակի: ԿՓ-ն լարման աղբյուրից անջատելիս, այսինքն հոսանքազրկելով՝ բեռն անջատվում է էլեկտրամագնիսից՝ ի հաշիվ բեռի ծանրության ուժի:



Նկ. 1. ՀՎԷ-ի հիմնական հանգույցները և բեռի հետ փոխադարձ դասավորվածությունը

Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը: Վերամբարձ էլեկտրամագնիսի հաշվարկի և նախագծման համար որպես ելակետային են ընդունվել հետևյալ հիմնական տվյալները.

- բեռի կշիռը՝ Q_F , կգ,
- աշխատանքային օդային բացակի մեծությունը՝ δ , մ,
- սնման անվանական լարումը՝ $U_{սն}$, Վ,
- աշխատանքային շրջապատի առավելագույն ջերմաստիճանը՝ $t_{աշխ}$, $^{\circ}C$,
- մագնիսալարի նյութի մակնիշը:

Էլեկտրամագնիսական ձգող $P_{էլ}$ ուժի արժեքը կարելի է որոշել Մաքսվելի բանաձևով.

$$P_{էլ}=B\delta'^2S_q/2\mu_0, \quad (1)$$

որտեղ $\mu_0=4\pi 10^{-7} \text{ Հն/մ}$ օդի բացարձակ մագնիսական թափանցելիությունն է, S_q -ն՝ աշխատանքային բացակի գումարային մակերեսը՝ $S_q=S_1+S_2=2S_1$, $B\delta'$ -ը՝ մագնիսական դաշտի ինդուկցիայի նախնական արժեքը δ -ում: $B\delta'$ -ի արժեքը հաշվարկվում է $B\delta'=(0,4\dots 0,6)Bs$ արտահայտությամբ, որտեղ Bs -ը էլակետային տվյալներում տրված մագնիսալարի նյութի $B(H)$ կորից համապատասխան հազեցման ինդուկցիայի արժեքն է կամ որոշվում է $\mu(B)$ գրաֆիկից՝ μ -ի առավելագույն արժեքին համա-

պատասխանող ինդուկցիայի արժեքով: $B(H)$ և $\mu(B)$ գրաֆիկները, էլեկտրատեխնիկական տարբեր պողպատների դեպքերում, տրվում են համապատասխան տեղեկագրերում:

(1)-ից որոշվում է ներքին բևեռի r_1 շառավղի մոտավոր արժեքը, որտեղ $P_{\text{էլ}} \approx 9,8 k_F Q_F$, k_F -ն պաշարի գործակիցն է ըստ բեռի:

Որոշվում են աշխատանքային օդային բացակի գումարային մագնիսական դիմադրությունը, մագնիսական հոսքը և F_δ ՄՇՈՒ-ն: F_δ -ն կազմում է ԿՓ-ով ստեղծվող $F_{\text{աշխ}}$ աշխատանքային ՄՇՈՒ-ի զգալի մասը: Յրման մագնիսական հոսքերին և մագնիսալարում ու բեռում մագնիսական կորուստներին բաժին ընկնող համապատասխանաբար F_σ' և $F_{\text{պող}}'$ ՄՇՈՒ-ների մոտավոր նախնական արժեքները գնահատվում են համապատասխանաբար k_σ և $k_{\text{պող}}$ գործակիցների միջոցով՝ որպես բազային մեծություն ընդունելով F_δ ՄՇՈՒ-ն.

$$F_\sigma' = (k_\sigma - 1)F_\delta, F_{\text{պող}}' = (k_{\text{պող}} - 1)F_\delta: \quad (2)$$

Մագնիսալարում և բեռում մագնիսական կորուստները գնահատելիս հաշվի է առնվում նաև բեռի (պողպատ) նյութը, եթե այն հայտնի է, հակառակ դեպքում ընդունվում է ՀՎԷ-ի մագնիսալարինը:

Հաշվի առնելով սնման լարման հնարավոր ցածրացումը և այլ գործոններ՝ որոշվում է $F_{\text{աշխ}}$ ՄՇՈՒ-ի մաս կազմող պաշարի $F_{\text{պաշ}}$ ՄՇՈՒ-ի չափը.

$$F_{\text{պաշ}} = (k_{\text{պաշ}} - 1)F_\delta: \quad (3)$$

Այսպիսով, ստացվում է՝

$$F_{\text{աշխ}}' = F_\delta + F_\sigma' + F_{\text{պող}}' + F_{\text{պաշ}}: \quad (4)$$

Օգտվելով ջերմային բալանսի հավասարումից՝ հաշվարկվում են ԿՓ-ի ℓ_Φ երկարությունը, h_Φ բարձրությունը, պատուհանի $\ell_{\text{պ}}$ երկարությունը, $h_{\text{պ}}$ բարձրությունը՝ հաշվի առնելով ԿՓ-ի կարկասի $\Delta_{\text{կ}}$ հաստությունը և տեղադրման համար օդային $\Delta_{\text{օդ}}$ տարածությունը: Հաշվարկվում են էլեկտրամագնիսի r_2 և r_3 շառավղիները և a , b , c չափսերը (նկ. 1):

Հիմք ընդունելով ՀՎԷ-ի չափսերը և $k_{\text{պաշ}}$ գործակիցը՝ ճշգրտվում են B_δ -ի, F_σ -ի, $F_{\text{պող}}$ -ի և $F_{\text{աշխ}}$ -ի արժեքները:

Հիմք ընդունելով $F_{\text{աշխ}}$ ՄՇՈՒ-ի արժեքը՝ հաշվարկվում է ԿՓ-ի պղնձե հաղորդալարի $d_{\text{պղ}}$ տրամագծի նախնական արժեքը՝ ըստ ստանդարտ արտադրանքի ճշգրտելով գալարների w քանակը, R_Φ դիմադրությունը, I_Φ հոսանքը, հոսանքի J_Φ խտությունը, փաթույթի P_Φ հզորությունը, $Q_{\text{պղ}}$ պղնձի, մագնիսալարի $Q_{\text{պ}}$ պողպատի և ՀՎԷ-ի ընդհանուր $Q_{\text{էլ}}$ կշիռները:

Հաշվողական տեխնիկայի զարգացումը լայն հնարավորություններ է ստեղծում էլեկտրամագնիսի ավտոմատ նախագծման և պարամետրերի լավարկման մեթոդների գործնական կիրառման համար, որն ապահովում է նախագծման գործընթացների զգալի կրճատում և կատարելագործում:

Հիմք ընդունելով ՀՎԷ-ի հաշվարկի և նախագծման մաթեմատիկական ապարատը՝ մշակվել է ավտոմատացված նախագծման համակարգ (ԱՆՀ)՝ համապատասխան համակարգչային ծրագրով, որը հնարավորություն է տալիս նախագծողի հետ երկխոսության ռեժիմում իրականացնել սարքի նախագծում լավարկված պարամետրերով՝ ստանալով անհրաժեշտ ընթացիկ և վերջնական տեղեկություն թվային արժեքների տեսքով [1, 2]:

ՀՎԷ-ի ավտոմատացված նախագծման համակարգի ծրագրային փաթեթը, բաղկացած երկու ենթահամակարգից՝ աշխատանքային և լավարկման, կազմվել է C# ծրագրային լեզվով: Ծրագրային ինտերֆեյսը բաղկացած է պատուհանից, որտեղ կատարվում են էլակետային նախնական տվյալների ներմուծումը, ընտրովի մեծությունների արժեքների սահմանումը, հաշվարկային արժեքների գնահատումը և գրանցումը:

Նախագծողն աշխատանքի ժամանակ հնարավորություն ունի մասնակցելու նախագծման գործընթացին՝ ընտրելով այն մեծությունների արժեքները, որոնք ընկած են որոշակի միջակայքում: Նա նաև ստուգում է պարամետրերի արժեքների ազդեցությունը էլեկտրամագնիսի հաշվարկվող պարամետրերի վրա և համապատասխան վճիռ կայացնում: Այսինքն, նախագծողն անմիջականորեն ազդում է հաշվարկի վերջնական արդյունքների վրա՝ ելնելով իր մասնագիտական գիտելիքներից ու փորձից, և հնարավորություն է ունենում նախագծման ընթացքում «խոսել» համակարգչի հետ, հաշվարկի ընթացքում համեմատել ու վերլուծել ստացված արժեքները:

ՀՎԷ-ի ավտոմատացված նախագծման ընթացքում, համաձայն նախնական էլակետային տվյալների, լուծվել են հետևյալ խնդիրները.

1. էլեկտրամագնիսի, ԿՓ-ի պատուհանի և տեղադրման պատուհանի չափերի և աշխատանքային $F_{աշխ}$ ՄՇՈՒ-ի արժեքի որոշումը,
2. ԿՓ-ի հաղորդալարի տրամագծի, գալարների քանակի, դիմադրության, հոսանքի, հոսանքի խտության, հզորության և քաշի որոշումը,
3. էլեկտրամագնիսի մագնիսալարի և գումարային քաշի որոշումը:

ԱՆՀ-ում վերոհիշյալ բոլոր խնդիրները լուծվում են փոխհամաձայնեցված, անհրաժեշտության դեպքում՝ հաշվարկված արժեքների ճշգրտման հնարավորությամբ:

ՀՎԷ-ի հաշվարկի և նախագծման գործընթացում կառավարվող պարամետրեր կարող են հանդիսանալ ԿՓ-ի պատուհանի k_{ϕ} գործակիցը՝ $k_{\phi} = h_{\phi} / \ell_{\phi}$,

որով պայմանավորվում են h_{Φ} բարձրությունը, ℓ_{Φ} երկարությունը, մագնիսալարի r_2 և r_3 շառավիղները և պղնձե հաղորդալարի $d_{պղ}$ տրամագիծը, որոնց թվային արժեքները կարող են լավարկվել:

Որպես սահմանափակող մեծություններ հանդիսանում են F_{σ} , $F_{պող}$ ՄՇՈՒ-ների մեծությունները, որոնց ճշգրտված արժեքները, համեմատած նախնականի հետ, չպետք է գերազանցեն համապատասխանաբար հարաբերական ε_1 և ε_2 որոշակի մեծությունները, $F_{աշխ}$ ՄՇՈՒ-ի հարաբերական մեծությունը նախնականի համեմատ պետք է գտնվի որոշակի $\varepsilon_3 \dots \varepsilon_4$ միջակայքում, իսկ Ψ -ում հաշվարկային հոսանքի $J_{\Phi, հաշվ}$ խտության արժեքը չպետք է գերազանցի $J_{\Phi, թույլ}$ թույլատելի սահմանային արժեքը, որով պայմանավորված է փաթույթի գերտաքացման արժեքը:

Արդյունավետության չափանիշներն արտահայտող նպատակային ֆունկցիաներ կարող են հանդիսանալ՝ Ψ -ի աշխատանքային P_{Φ} հզորությունը, պղնձի $Q_{պղ}$ քաշը, մագնիսալարի Q_{Ψ} քաշը, էլեկտրամագնիսի $Q_{\text{էլ}}$ քաշը, մագնիսալարի եզրաչափերից որևէ մեկը (օրինակ, r_3 շառավիղը) և այլն:

Այսպիսով, ՀՎԷ-ի լավարկման խնդիրը ձևակերպվում է հետևյալ կերպ. k_{Φ} գործակցի կամ $d_{պղ}$ -ի արժեքի այնպիսի փոփոխություն, որի դեպքում էլեկտրամագնիսի արդյունավետության չափանիշներն արտահայտող նպատակային ֆունկցիան կամ ֆունկցիաները կարող են բավարարել առաջադրված պահանջը, օրինակ, $Q_{պղ}$ -ն, Q_{Ψ} -ը կամ P_{Φ} -ն լինեն նվազագույն:

ՀՎԷ-ի հաշվարկի և լավարկման խնդրի մաթեմատիկական մոդելն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{aligned} \bar{X} &= (d_{պղ}, k_{\Phi}), \\ 0 &\leq F_{\sigma}'(\bar{X}) - F_{\sigma}(\bar{X}) / F_{\sigma}'(\bar{X}) \leq \varepsilon_1, \\ 0 &\leq F_{պող}'(\bar{X}) - F_{պող}(\bar{X}) / F_{պող}'(\bar{X}) \leq \varepsilon_2, \\ -\varepsilon_3 &\leq F_{աշխ}(\bar{X}) - F_{աշխ}'(\bar{X}) / F_{աշխ}(\bar{X}) \leq \varepsilon_4, \\ J_{\Phi, հաշվ}(\bar{X}) &\leq J_{\Phi, \text{թույլ}}, \\ Q_{պղ}(\bar{X}) &\rightarrow \min, \\ Q_{\Psi}(\bar{X}) &\rightarrow \min, \\ Q_{\text{էլ}}(\bar{X}) &\rightarrow \min, \\ P_{\Phi}(\bar{X}) &\rightarrow \min: \end{aligned} \tag{5}$$

Համառոտ նկարագրենք ԱՆՀ-ի փաթեթի աշխատանքը: “Էլեկտրամագնիս”.exe ֆայլը թողարկելիս համակարգչի էկրանին բացվում է պատուհան, որի վերին

մասից՝ “Էլակետային տվյալներ” բաժնում կատարվում է էլակետային տվյալների ներմուծում (նկ. 2):

Նկ. 2. ՀՎԷ-ի ակտոմատ նախագծման համակարգի պատուհանը

“Ընտրվող մեծություններ” բաժնում նախագծողի կողմից կատարվում է հետևյալ պարամետրերի համապատասխան միջակայքերից արժեքների որոշակիացում: Այդ պարամետրներն են. $k_p=1,0\dots1,05$, $k_{պող}=1,05\dots1,1$, $k_{պաշ}=1,2\dots1,5$, $k_{\sigma}=1,1\dots1,4$, $k_{\psi}=1,5\dots3$, $\Delta_{\sigma\eta}=0,5\dots5$ մմ, $\Delta_{\psi}=1\dots5$ մմ, սահմանափակող մեծությունները՝ $\varepsilon_1=0,1\dots0,4$, $\varepsilon_2=0,1\dots0,4$, $\varepsilon_3=0,02\dots0,1$, $\varepsilon_4=0,05\dots0,2$: Ելնելով էլեկտրամագնիսի մագնիսալարի նյութի տեսակից և օգտվելով տեղեկագրքից՝ ներմուծվում է B_s -ի արժեքը:

Էկրանի ներքևում գտնվող “Սկսել” կոճակը սեղմելուց հետո “Ընտրվող մեծություններ” բաժնի $H_{պող}$ պատուհանում ներմուծվում է B_s -ին համապատասխան $H_{պող}$ -ի արժեքը՝ օգտվելով տեղեկագրքից: B_s -ի արժեքը հայտնվում է պատուհանի ներքևի “Հաշվարկային տվյալներ” բաժնում (նկ. 2-ում c-ի արժեքը ներկայացված չէ՝ պատուհանի լայնության սահմանափակության պատճառով): “Հաշվել” կոճակը սեղմելուց հետո արտաձևման “Հաշվարկային տվյալներ” բաժնում մեկ տողով դուրս են բերվում հաշվարկվող ելքային պարամետրերի մեծությունները: Նախատեսված որևէ պայմանի չբավարարվելու դեպքում էկրանին բացվող լրացուցիչ պատուհանում (նկ. 2-ում այն բացակայում է) տրվում է մեկնաբանություն պատճառի մասին, որին համապատասխան՝ նախագծողը “Ընտրվող մեծություններ” բաժնում կատարում է անհրաժեշտ պարամետրի փոփոխություն:

Նախագծողը հնարավորություն ունի “Ընտրվող մեծություններ” բաժնում փոփոխելու նշված մեծությունների արժեքները տրված միջակայքում և միաժամանակ հետևելու ՀՎԷ-ի պարամետրերի փոփոխություններին: Նման մոտեցման շնորհիվ նախագծողը բավականին կարճ ժամանակահատվածում կարողանում է ստանալ էլեկտրամագնիսի նախագծային տարբերակներ:

Լավարկման համար սեղմվում է էկրանի ներքևում գտնվող “Լավարկում” կոճակը և “Ընտրվող մեծություններ” բաժնում նախագծողի կողմից կատարվում է լավարկման պարամետրի մուտքագրում: Օրինակ, ըստ $d_{պղ}$ -ի՝ լավարկման դեպքում “Ընտրվող մեծություններ” բաժնի $d_{պղ}$ պատուհանում մուտքագրվում է նոր արժեք, իսկ ըստ k_{ϕ} -ի՝ լավարկման դեպքում փոխում է k_{ϕ} պատուհանում մուտքագրված արժեքը, և սեղմելով “Հաշվել” կոճակը՝ ներքևի տողում ներկայացվում են նոր տարբերակի հաշվարկային արդյունքները: Նախագծողը հնարավորություն ունի ստացված արդյունքները համեմատել, վերլուծել և համապատասխան եզրակացություն կատարել:

Նախագծման գործընթացն ավարտվում է ներքևի աջ կողմում գտնվող «Փակել» կոճակը սեղմելով:

Հետազոտության արդյունքներ: ՀՎԷ-ի հաշվարկի և նախագծման համար ելակետային հիմնական տվյալների թվային արժեքներ են հանդիսացել $Q_F=200 կգ$, $\delta=10^{-3} մ$, $U_{սն}=24 Վ$, $\theta_{աշխ}=40^\circ C$, մագնիսալարի նյութի մակնիշը՝ էլեկտրատեխնիկական սառը գլանված 3413 մակնիշի պողպատ ($B_s=2 S$), $J_{\phi\theta n_{լլ}}=5 Ա/մմ^2$, իսկ ընտրվող մեծություններն ունեցել են հետևյալ արժեքները՝ $k_P=1,02$, $k_{\phi}=2$, $\Delta_{ոդ}=0,5 մմ$, $\Delta_{կ}=0,5 մմ$, $k_{\sigma}=1,2$, $k_{պող}=1,06$, $k_{պ}=1,2$, $\varepsilon_1=0,1$, $\varepsilon_2=0,1$, $\varepsilon_3=0,05$, $\varepsilon_4=0,15$: Աշխատանքային հաշվարկի արդյունքում ստացվել են հետևյալ ելքային տվյալները. $r_1=28,2 մմ$, $r_2=121,5 մմ$, $r_3=124,7 մմ$, $h_{\phi}=58 մմ$, $\ell_{\phi}=29 մմ$, $a=3,2 մմ$, $b=14,1 մմ$, $d_{պղ}=1,2 մմ$, $w=1471$, $R_{\phi}=14,6 Օմ$, $I_{\phi}=1,64 Ա$, $J_{\phi}=1,45 Ա/մմ^2$, $P_{\phi}=39,5 Վտ$, $Q_{պղ}=6,96 կգ$, $Q_{պ}=3,65 կգ$, $Q_{էլ}=10,62 կգ$: Ստացված արդյունքները հետագա տարբերակների համար հանդիսացել են բազային: Ծավալի սահմանափակության պատճառով պատուհանը չի ներկայացվում:

ՀՎԷ-ի հաշվարկային պարամետրերի լավարկման խնդիրը ձևակերպվել է հետևյալ կերպ.

1. Ապահովել ԿՓ-ի հաղորդալարի $d_{պղ}$ տրամագծի այնպիսի արժեք, որը դիսկրետ արժեքներ ունեցող փոփոխական է, որի դեպքում $Q_{պղ}$ -ն և P_{ϕ} -ն նվազագույն են:

Խնդրի լուծման համար կիրառվել են լրիվ ընտրանքների և կոորդինատային վայրէջքի եղանակները, որոնց մեքենայական իրականացումներն ընդգրկվել են ԱՆՀ-ում [3]:

2. Ապահովել ԿՓ-ի k_{ϕ} գործակցի և $d_{պղ}$ -ի այնպիսի արժեքներ, որոնց դեպքում $Q_{պղ}$ -ն, Q_{ϕ} -ն, $Q_{էլ}$ -ը և P_{ϕ} -ն կլինեն նվազագույն:

Երկու խնդրի դեպքում անփոփոխ են մնացել ՀՎԷ-ի էլակետային հիմնական, ընտրվող և սահմանափակող տվյալները:

Առաջին խնդրի դեպքում $d_{պղ}=1,2$ մմ-ից մեծացումից նպատակային ֆունկցիաների արժեքներն աճել են: Նպատակային ֆունկցիաների արժեքները դարձել են նվազագույն $d_{պղ}=1,12$ մմ դեպքում. $w=1648$, $I_{փ}=1,27$ Ա, $J_{փ}=1,29$ Ա/մմ², $P_{փ}=30,68$ Վտ, $Q_{պղ}=6,8$ կգ, $Q_{ս}=3,65$ կգ, $Q_{է}=10,45$ կգ²: Այսինքն՝ $Q_{պղ}$ -ն փոքրացել է մոտ 2,3%, $Q_{է}$ -ը՝ մոտ 1,7%, իսկ $P_{փ}$ -ն՝ մոտ 22%:

Երկրորդ խնդրի դեպքում (նկ. 2) նպատակային ֆունկցիաների արժեքների լավագույն նվազումը ստացվել է $k_{փ}=1,8$ դեպքում. $d_{պղ}=1,16$ մմ, $w=1502$, $I_{փ}=1,57$ Ա, $J_{փ}=1,48$ Ա/մմ², $P_{փ}=37,7$ Վտ, $Q_{պղ}=6,37$ կգ, $Q_{ս}=3,43$ կգ, $Q_{է}=9,8$ կգ: Այսինքն, $P_{փ}$, $Q_{պղ}$, $Q_{ս}$ և $Q_{է}$ պարամետրերը փոքրացել են համապատասխանաբար 4,5%-ով, 8,5%-ով, 6%-ով և 7,7%-ով:

Նպատակային ֆունկցիաների արժեքների ավելի լավացում է ստացվել $d_{պղ}=1,12$ մմ դեպքում. $w=1591$, $I_{փ}=1,38$ Ա, $J_{փ}=1,40$ Ա/մմ², $P_{փ}=33,17$ Վտ, $Q_{պղ}=6,28$ կգ, $Q_{ս}=3,43$ կգ, $Q_{է}=9,71$ կգ: Այսինքն, $P_{փ}$, $Q_{պղ}$, $Q_{ս}$ և $Q_{է}$ պարամետրերը բազային համեմատ փոքրացել են համապատասխանաբար 16%-ով, 10%-ով, 6%-ով և 8,5%-ով:

Եզրակացություն: Մշակված ԱՆՀ-ն (բաղկացած աշխատանքային և լավարկային նախագծման ենթահամակարգերից) ապահովում է կիրառման անհրաժեշտ մատչելիություն ու հարմարավետություն և կարող է կիրառվել ՀՎԷ-երի համակարգերի նախագծման գիտական և ուսումնական գործընթացներում՝ ապահովելով վերջնական անհրաժեշտ տեղեկություն՝ թվային արժեքների տեսքով:

Հետազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՆ գիտության պետական կոմիտեի կողմից ՀԱՊՀ «Էլեկտրամագնիսական համակարգեր» և «Ավտոմատացված համակարգերի և մոդելավորման» բազային գիտահետազոտական լաբորատորիաներին տրամադրված ֆինանսավորման շրջանակներում:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Оганесян А.Т.** Система автоматизированного проектирования герконовых реле с оптимальными параметрами // Известия вузов. Электромеханика.- 2011.-Т. 2.- С. 53-55.
2. **Գրիգորյան Ա.Խ., Ավետիսյան Ա.Գ., Շահբազյան Ս.Ս., Ապետյան Ն.Վ.** Էլեկտրամագնիսական կախոցի ավտոմատացված նախագծման համակարգ // ՀՀ ԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2016.- Հատ. LXXIX, № 3.- էջ 315-325:
3. **Թերզյան Հ.Ա.** Ավտոմատացված նախագծման համակարգերի տեսություն.- Երևան, Լոս-Անջելոս, Աթենք, 1995.- 433 էջ:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 29.03.2017:

**А.Т. ОГАНЕСЯН, Г.М. МИНАСЯН, Т.Р. МЕЛКОНЯН, К.Р. ЕНОКЯН,
А.А. ОГАНЕСЯН**

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО
ПОДЪЕМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА**

Разработана автоматизированная система проектирования плоского подъемного электромагнита, состоящая из двух подсистем - рабочей и оптимальной. Система позволяет в диалоговом режиме реализовать проектирование электромагнита с оптимальными параметрами и получить необходимую информацию в виде числовых значений.

Ключевые слова: плоскоподъемный электромагнит, обмотка управления, автоматизированное проектирование, диалоговый режим, оптимизация.

**A.T. HOVHANNISYAN, G.M. MINASYAN, T.R. MELKONYAN,
K.R. YENOQYAN, A.A. HOVHANNISYAN**

AN AUTOMATED DESIGN SYSTEM OF A FLAT LIFTING ELECTROMAGNET

An automated system for designing a flat lifting electromagnet, consisting of two subsystems - working and optimal has been developed. The system allows, in an interactive mode, to realize the design of an electromagnet with optimal parameters and to obtain the necessary information in the form of numerical values.

Keywords: flat lifting electromagnet, control winding, automated design, interactive mode, optimization.

Ե.Ա. ՄԱՆԱՍՅԱՆ

**ԲԺՇԿԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՄԱՆ ԱԶԱԿՑՄԱՆ ՑԱՆՑԱՅԻՆ
ԱՎՏՈՄԱՏԱՑՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ**

Մշակվել է բժշկական որոշումների կայացմանն աջակցող ցանցային ավտոմատացված համակարգ: Համակարգը թույլ է տալիս ուղղորդել բժիշկներին որոշումները կայացնելիս, այսինքն՝ ախտորոշելու, հետազոտությունների խումբը որոշելու և բուժման կուրս նշանակելու ժամանակ: Այն կատարում է խորհրդատուի դեր: Ավտոմատացված համակարգն ուսուցանվում է բժիշկ մասնագետների օգնությամբ, այնուհետև դառնում է ինքնաուսուցվող: Հնարավոր է ավելացնել նոր տվյալներ, որոնց հիման վրա համակարգը կինքնաուսուցանվի: Այն փորձարարական ստուգում է անցել դիաբետ հիվանդության տվյալներով:

Առանցքային բառեր. բժշկական որոշումների կայացմանն աջակցող համակարգ, ինքնաուսուցանվող համակարգեր, IBM Watson, Apache Spark:

Ներածություն: Ժամանակակից աշխարհում առողջապահության ոլորտում բժշկագիտության զարգացումը շատ արագ է տեղի ունենում: Արդյունքում՝ բժշկական պրակտիկայում ի հայտ են գալիս դեպքեր, երբ հիվանդներն ստանում են ոչ արդիական բուժօգնություն, սխալ դեղամիջոցներ կամ տեղի են ունենում բժշկական ոլորտի այլ սխալներ: Բժշկական որոշումների կայացմանն աջակցող համակարգի (Clinical Decision Support System կամ CDSS) կիրառման դեպքում նման սխալները կնվազեն, իսկ բժիշկները, կապված կոնկրետ կլինիկական դեպքերի հետ, կարող են ստանալ բժշկական արդի տեղեկատվություն, որը կհանգեցնի նրանց գիտելիքների արդիականացմանը [1]:

Բժշկությունն անցում է կատարում ապացուցահենք բժշկության, ինչն ենթադրում է միանշանակ, կշռադատված և պատճառաբանված բուժում՝ կիրառելով անհատի համար ժամանակակից լավագույն բուժումը, իսկ այդ բուժման իրավասիւթությունն արդի բժշկությամբ պետք է ապացուցելի լինի [2]: Ապացուցահենք բժշկությունը միավորում է տարիների ընթացքում կուտակված բժշկական լավագույն փորձը և գիտության ժամանակակից նվաճումները: CDSS-ները կարող են նպաստել բժիշկների կողմից ամենաարդյունավետ ապացուցահենք բժշկական որոշումներ կայացնելու հարցում:

Ժամանակակից բժշկության մեջ տեղի են ունենում ստանդարտացման գործընթացներ, որի հետևանքով ի հայտ է եկել կլինիկական պրակտիկայի ուղենիշը (clinical practice guideline կամ CPG) [3]: CPG-ի կիրառման դեպքում բժիշկները

պարտավոր են բժշկական որոշումներ կայացնել՝ չշեղվելով նման բժշկական դեպքին համապատասխանող ուղենիշից: CPG-ն նաև էժանացնում է բուժման գործընթացը [3]: Սրա շնորհիվ պարզեցվում է ախտորոշման ավտոմատացումը: Սակայն ոչ բոլոր բուժհիմնարկներն են սկսել օգտագործել CPG: CDSS-ի ներդրումն էականորեն կհեշտացնի այդ անցումը և կկրճատի բուժաշխատողների վերապատրաստման համար անհրաժեշտ ծախսերը:

CDSS-երի տիպերը: CDSS-երի օտագործումը ժամանակակից բժշկության պահանջներից է [4,5]: CDSS-երը լինում են 2 տիպի.

1. գիտելիքահենք [6],
2. ոչ գիտելիքահենք [7]:

Գիտելիքահենք CDSS-երը ներկայացնում են նախապես մտածված և ծրագրավորված գործողությունների հաջորդականություն: Այս տիպի CDSS-երը նախատեսված են առօրյա և ֆիքսված քայլերով բժշկական պրոցեդուրաներին նպաստելու համար և օգտագործում են ֆիքսված տվյալների խումբ [6]: Բժշկական նոր հայտնագործությունների ավելացումն այս համակարգում ժամանակատար և ծախսատար է, որոշ դեպքերում անգամ տնտեսապես ոչ նպատակային, քանի որ համակարգում պետք է կատարվի կողի փոփոխություն [6]:

Ոչ գիտելիքահենք CDSS-երում օգտագործվում են բոլոր տիպի բժշկական տվյալները՝ հիվանդության պատմությունը, ախտորոշումները, բուժումները, հիվանդների տարբեր կենսաբանական տվյալները, բժշկական գրականությունը և այլն [7]: Այս համակարգերը, համեմատած առաջինի հետ, շատ ավելի ճկուն են, ունակ են «սովորելու» մուտքագրված տվյալների միջոցով [7]: Ոչ գիտելիքահենք համակարգերում օգտագործվում է մեքենայական ուսուցումը, քանի որ անհրաժեշտ է բժշկական տվյալներից ավտոմատացված ձևով հայտնաբերել կապեր այդ տվյալների տարբեր մասերի միջև, ստանալ որոշակի արդյունքներ տվյալների պարունակության մասին կամ կատարել կոնկրետ խնդրի համար պիտանի եզրակացություններ [8, 9]:

Առողջապահական կազմակերպություններն սկսել են օգտագործել CDSS-եր, ինչն օգնում է բժիշկներին՝ կատարելու հիվանդի վիճակի մասին բժշկական գնահատումներ տարբեր չափանիշներով, կամ տրամադրում է օգնություն՝ բժշկական որոշումներ կայացնելիս [4]: Գոյություն ունեցող ոչ գիտելիքահենք CDSS-երն արդյունավետ են առկա բժշկական տվյալների դեպքում, որոնց մեծ մասը պահպանվում է տեքստի ձևով [10]: Սակայն այս տիպի CDSS-երում օգտագործվում է մեքենայական ուսուցում, այդ պատճառով բժշկական որոշումների աջակցությունները չեն հիմնավորվում, այլ տրամադրվում է վերջնական արդյունքը, և բժիշկներին անհայտ է մնում, թե ինչու է հենց այդ արդյունքը ստացվել, և ինչ հիմքեր այն ունի [10]:

Խնդրի դրվածքը: Արդիական է մշակել հեռահաղորդակցական ցանցով աշխատող ավտոմատացված ոչ գիտելիքահենք CDSS, որը կունենա հետևյալ հնարավորությունները.

1. տեքստային տվյալների մուտք,
2. տեքստային որոնման միջոցով բժշկական որոշումների կայացման աջակցություն,
3. տրամադրված բժշկական որոշումների աջակցությունների տեքստային պատճառաբանում:

Այս խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է.

1. համեմատել ոչ գիտելիքահենք CDSS-երում կիրառելի տեխնոլոգիաները,
2. մշակել համակարգը,
3. կատարել թեստավորում՝ բժիշկ-մասնագետների մասնակցությամբ:

Համակարգի ստեղծման անհրաժեշտ տեխնոլոգիաները: Քանի որ բժշկական տվյալների մեծ մասը տեքստային են, և խնդիրը լուծելու համար անհրաժեշտ է կիրառել մեքենայական ուսուցում, հետևաբար, պետք է դիտարկել մեքենայական ուսուցում տրամադրող առկա լուծումները կամ, եթե դրանք չեն բավարարում, ստեղծել նորը: IBM Watson-ն ունի Retrieve and Rank ծառայություն, որի միջոցով կարելի է տեքստային տվյալները մուտքագրել համակարգ, կատարել տեքստային որոնում և որոնման արդյունքները գնահատել [8]: Դրա շնորհիվ IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայության տրամադրված արդյունքների ճշտությունը մեծանում է, տրամադրվում են արդյունքներ, որոնք իմաստային առումով ամենամոտեն են որոնվող տեքստին: IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությունը տալիս է որոնման բավականին մեծ ճշտություն, կիրառելի է տեքստային տվյալների դեպքում, մուտքագրված մեծ տեքստից այս ծառայությունն առանձնացնում է մի փոքր հատված, որն ամենալավն է նկարագրում որոնման արդյունքը, և դրան զուգահեռ ավելի մեծ տեքստ, որից հայտնաբերվել է որոնման արդյունքը, հետևաբար՝ IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայության այս մոտեցումը հարմար է կիրառել նշված խնդիրը լուծելու համար:

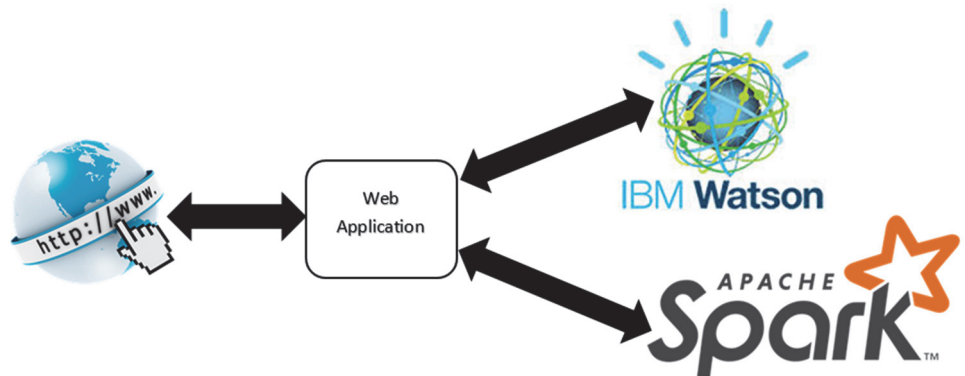
IBM Watson-ն ունի նաև Document Conversion ծառայություն, որի միջոցով docx, pdf և html ընդլայնելով՝ ֆայլերից կարելի է ստանալ տեքստ: Հետևաբար՝ կուտակված ամբողջ բժշկական թվայնացված տեքստային տվյալները հնարավոր կլինի կիրառել:

Տեքստի միջից կապեր հայտնաբերելու և գիտելիք ստանալու համար անհրաժեշտ է կատարել բնական լեզվի մշակում (Natural language processing կամ NLP) [11]: Գոյություն ունեն NLP-ի պատրաստի գրադարաններ և տեխնոլոգիաներ, կատարվել է դրանց համակողմանի ուսումնասիրություն: Ընտրվել է Apache Spark MLlib-ը, քանի որ այն անվճար է, բաց կոդով և լավ նկարագրված [12]:

Խնդիրը լուծելու համար կարելի է նախ տեքստային որոնում կատարել IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայության միջոցով, այնուհետև ստացված արդյունքների վրա կիրառել NLP՝ Apache Spark MLlib-ով, վերջնական պատասխանի ճշտությունը մեծացնելու համար:

Շատ կարևոր է նաև, որ ընտրված 2 միջոցներով հնարավոր լինի աշխատել ծրագրավորման նույն լեզվով: Ե՛վ IBM Watson-ով, և՛ Apache Spark-ով կարելի է աշխատել Java ծրագրավորման լեզվով, հետևաբար՝ միջանկյալ օղակը, որի միջոցով պետք է կապ հաստատել այս 2 միջոցների միջև և որը պետք է մշակվի սույն աշխատանքը մշակելիս, պետք է գրված լինի Java ծրագրավորման լեզվով:

Մշակված CDSS-ը և դրա ճարտարապետությունը: Մշակվել է ոչ գիտելիքահենք CDSS: Համակարգով աշխատանքը պարզ դարձնելու համար Java ծրագրավորման լեզվով ստեղծվել է վեբ կիրառում վեբ ինտերֆեյսով, որից օգտվելու համար անհրաժեշտ է մուտք գործել համակարգ վեբ դիտարկչի միջոցով: Մշակված CDSS-ը օգտագործում է IBM Watson ծառայությունը և Apache Spark գործիքամիջոցը: Ստեղծված համակարգի ճարտարապետությունը սխեմատիկորեն պատկերված է նկ.1-ում:



Նկ. 1. Մշակված CDSS-ի ընդհանուր ճարտարապետությունը

Համակարգի այս 3 մասերն իրար հետ կապ են հաստատում հեռահաղորդակցական ցանցով: Վեբ դիտարկիչը վեբ կիրառման, վեբ կիրառումը IBM Watson ծառայության և Apache Spark գործիքամիջոցի հետ կապ են հաստատում HTTP հաղորդակարգի միջոցով: Աշխատանքի բաշխման, արագագործության մեծացման և առկա հսկայածավալ բժշկական տվյալները մշակելու համար Apache Spark-ը տեղադրված է մի քանի փոխհամագործակցող քումփյութերների վրա, որոնց միջև կապը ևս իրականացված է հեռահաղորդակցական ցանցով HTTP հաղորդակարգով, քանի որ այդ քումփյութերները, կախված դրանց տնտեսական շահավետության և տրամադրվող ծառայությունների առանձնահատկություններից,

կարող են գտնվել աշխարհագրական տարբեր կետերում, այդ թվում՝ նաև տարբեր աշխարհամասերում:

Նախքան համակարգը օգտագործման հանձնելը՝ պետք է մուտքագրել որոշակի խումբ բժշկական արդի գրականություն: Վեբ դիտարկիչով կարելի է համակարգ մուտքագրել docx, pdf կամ html ընդլայնմամբ ֆայլեր: Մուտքագրումից հետո HTTP արձանագրությամբ այդ ֆայլերը փոխանցվում են Վեբ կիրառմանը, ինչը իր հերթին HTTP հաղորդակարգով դրանք փոխանցում է IBM Watson-ի Document Conversion ծառայությանը: IBM Watson-ի Document Conversion ծառայությունը փոխարկում է փոխանցված ֆայլը JSON-ի և վերադարձնում Վեբ կիրառմանը: Այդ JSON մասնավորապես պարունակում է answer_units դաշտը, որը ներկայացնում է JSON-ների զանգված: Այդ զանգվածը ստացվում է IBM Watson-ի Document Conversion ծառայությանը փոխանցված ֆայլում պահվող տեքստը տրամաբանական մասերի բաժանելու շնորհիվ: Մասնավորապես՝ տեքստի նման բաժանումը կատարվում է ըստ գլուխների, ենթագլուխների և այլն: Աղ. 1-ում ներկայացված է answer_units-ի մեկ տարրի դաշտերի մի մասը: Աղ. 1-ում ներկայացված parent_id-ն ծնող տեքստի իդենտիֆիկատորն է, օրինակ՝ ենթագլխի parent_id-ն այդ գլխի id-ն է:

Աղյուսակ 1

IBM Watson-ի Document Conversion ծառայության տրամադրվող պատասխան դաշտերի նկարագրությունը

Դաշտի անունը	Տիպը	Նշանակությունը	Օրինակ
id	UUID	Մեկ գրառման իդենտիֆիկատորը	2592bbf5-3d58-4137-822c-eb5de0f57783
parent_id	UUID	Ծնող գրառման իդենտիֆիկատորը	2592bbf5-3d58-4137-822c-eb5de0f57783
title	String	Գրառնամ վերնագիրը	Chapter 1. Diabet
text			Diabetes mellitus (DM), commonly referred to as diabetes, is a group of...

Վեբ կիրառումը, IBM Watson-ի Document Conversion ծառայությունից JSON ստանալուց հետո, ստեղծում է աղ. 1-ում ներկայացված դաշտերով գրառումների զանգված, և այդ զանգվածը HTTP հաղորդակարգի միջոցով փոխանցվում է IBM Watson Retrieve and Rank ծառայությանը՝ պահպանման և հետագայում օգտագործման համար:

Համակարգում բժշկական գրականություն ավելացնելուց հետո անհրաժեշտ է կատարել բժիշկ մասնագետներին համակարգի «ուսուցանում»: Համակարգը ուսուցանվում է վեբ կիրառման միջոցով տրամադրվող վեբ ինտերֆեյսով: «Ուսուց-

ման» ընթացքում բժիշկները պետք է կատարեն տարբեր բժշկական որոշումների հետ կապված տարբեր հարցերի որոնումներ: Որոնման կոճակը սեղմելուց հետո HTTP հաղորդակարգով վեբ ինտերֆեյսը կապ է հաստատում վեբ կիրառման հետ, որից հետո վեբ կիրառումը իր հերթին դիմում է IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությանը: IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությունը կատարում է ավելացված բժշկական գրականությունից ստացված տվյալներում որոնում Apache Solr գործիքամիջոցով և վերադարձնում 10 պատասխան: Այդ 10 պատասխանները հետ են փոխանցվում վեբ ինտերֆեյս: Բժիշկ մասնագետները պետք է ստացված 10 պատասխանները գնահատեն 4 բալային համակարգով և սեղմեն «հաստատում» կոճակը: Դրանից հետո այդ գնահատականները նույն եղանակով փոխանցվում են IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությանը: IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությունը այդ գնահատականների հիման վրա սկսում է ուսուցանվել: Համակարգ կարելի է նոր բժշկական գրականությունը մուտքագրել և բժիշկ մասնագետների կողմից նոր որոնումներ ու գնահատումներ կատարել համակարգի աշխատանքի ամբողջ ընթացքում, այդ թվում՝ նաև համակարգը շահագործման հանձնելուց հետո: Դրանց թվի մեծացման հետ մեծանում է համակարգի կողմից տրամադրվող պատասխանների ճշտությունը:

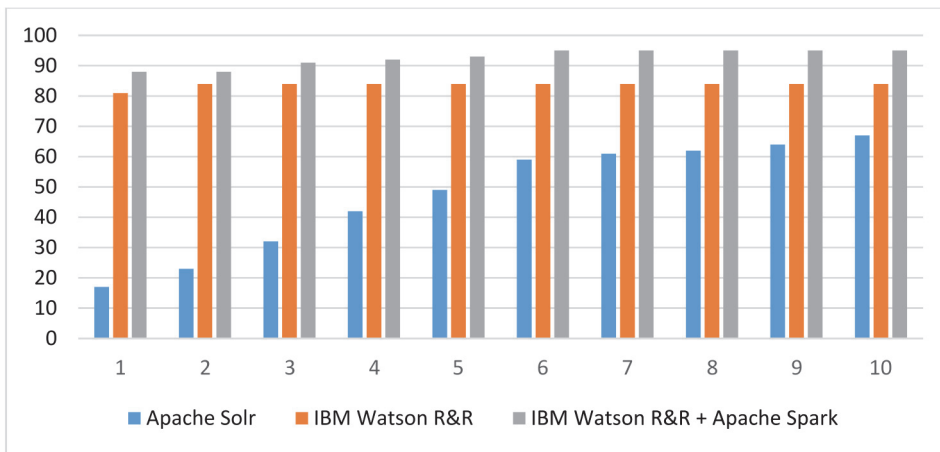
Համակարգի «ուսուցանումից» հետո այն կարելի է հանձնել շահագործման: Վեբ դիտարկչի միջոցով կարելի է համակարգում կատարել բժշկական որոշման որոնում, որի արդյունքում ստեղծվում է HTTP հարցում և ցանցով ուղարկվում վեբ կիրառմանը: Վեբ կիրառումը կատարում է նախապես «ուսուցանված» IBM Watson Retrieve and Rank ծառայությանը հարցում՝ փոխանցելով որոնվող տեքստը: IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությունը վերադարձնում է ամենահավանական 10 արդյունքները վեբ կիրառմանը, և վեբ կիրառումը ցանցով HTTP հաղորդակարգով կապ է հաստատում Apache Spark-ի գլխավոր սերվերի հետ և փոխանցում այդ 10 արդյունքները: Դրանք մշակվում են Apache Spark-ով՝ կիրառելով Apache Spark-ի MLlib հնարավորությունը, և վերադարձվում է այդ արդյունքներից առավել հավանական տարբերակը, որը վեբ կիրառումը վերադարձնում է վեբ դիտարկչին: Վերադարձված արդյունքը համարվում են բժշկական որոշման աջակցություն: Բժիշկները հնարավորություն են ունենում տեսնել որոնմանը համապատասխանող առաջարկը և այդ առաջարկը փաստարկող տեքստը համապատասխան բժշկական գրականությունից: Բժիշկներն իրենց հերթին կարող են գնահատել տրամադրված արդյունքը, ինչը փոխանցվում է IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայությանը, որի շնորհիվ ամեն անգամ կատարվող որոնումների արդյունքները լավարկվում են:

Համակարգի փորձնական ստուգման արդյունքները: Ստեղծված համակարգի արդյունավետության մակարդակն ստուգելու համար անհրաժեշտ է այն

կիրառել իրական բժշկական տվյալների որոշակի խմբի վրա, ուսուցանել համակարգը բժիշկ-փորձագետների օգնությամբ, կատարել տեքստային որոնում՝ կապված հիվանդության կամ ախտանիշների հետ, և գնահատել ստացված արդյունքները բժիշկ-մասնագետների կողմից:

Կատարվել են համակարգի փորձնական թողարկում և գնահատում դիպետ հիվանդության տվյալներով: Կատարվել են բժշկական 10 որոշմանն առնչվող հարցերի որոնում և տրամադրված արդյունքների գնահատում:

Կատարված տեքստային որոնումների արդյունքների գնահատականները ներկայացված են նկ. 2-ում:



Նկ. 2. Համակարգի փորձարարական ստուգման արդյունքները

Յուրաքանչյուր առանձին որոնման արդյունք գնահատվել է 100 բալային համակարգով, արդյունքները գրանցվել և փոխանցվել են IBM Watson-ին: Նույն հարցումը կատարվել է 3 ձևով միևնույն տվյալների առկայության պայմաններում.

1. տեքստային որոնում Apache Solr որոնման համակարգի միջոցով,
2. տեքստային որոնում IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայության կիրառմամբ,
3. տեքստային որոնում IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայության և Apache Spark համակարգերի համատեղ կիրառությամբ:

IBM Watson-ի Retrieve and Rank ծառայության և Apache Spark համակարգերի համատեղ կիրառությամբ որոնումների տեքստի, ստացված պատասխանի և բացատրության 2 օրինակ ներկայացված է աղ. 2-ում:

Բժշկական որոշումների օրնակները, դրանց պատասխաններն ու բացատրությունը

Հարց	Պատասխան	Բացատրություն
What are the main signs of type 1 diabetes mellitus?	• Frequent urination • Increased thirst • Extreme hunger	Many advances have been made since the Diabetes Control and Complications Trial (DCCT)...
Type 2 diet and preparats	Glycemic Control With Diet, Sulfonylurea, Metformin, or Insulin in Patients With Type 2 Diabetes Mellitus	Treatment with diet alone, insulin, sulfonylurea, or metformin is known to improve glycemia in patients with type 2 diabetes mellitus

Նկ. 2-ը ցույց է տալիս, որ 3-րդ տիպի փորձարկման արդյունքներն ունեն մեծ ճշտություն, և նման տիպի համակարգը կարող է կիրառելի լինել որպես դիաբետի CDSS: Ստեղծված համակարգը մինչ որպես դիաբետի CDSS տրամադրելը՝ անհարժեշտ է կատարել երկարատև և տվյալների ավելի մեծ խմբով փորձարկում:

Եզրակացություն: Մշակվել է հեռահաղորդակցական ցանցով աշխատող ավտոմատացված ոչ գիտելիքահենք CDSS: Ներկայացվել է ստեղծված համակարգի ճարտարապետության սխեման, հիմնավորվել է տեխնոլոգիաների ընտրությունը, կատարվել են ստեղծված համակարգի փորձնական գործարկում և գնահատում: Համաձայն համակարգի նախնական փորձարկման գնահատականի՝ ստեղծված համակարգն արդյունավետ է և կիրառելի:

Ներկայացված համակարգն ունի հետևյալ առավելությունները.

- տեքստային տվյալների մուտքի հնարավորություն,
- տեքստային տվյալների որոնման հնարավորություն,
- ժամանակի ընթացքում տրամադրվող արդյունքների բարելավում,
- տրամադրված բժշկական աջակցության տեքստային բացատրություն:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Falan S., Han B.** Relationships, Caring, and Near Misses: Michael's Story // Transactions of the International Conference on Health Information Technology Advancement. – 2013.- Vol. 2, No. 1, ISSN: 2168-6335.- P. 53-60.
2. **Masic I., Miokovic M., Muhamedagic B.** Evidence Based Medicine – New Approaches and Challenges // Acta Inform Med. – 2008.- Vol. 16, No. 4, PMID: PMC3789163.- P. 219–225.
3. **Hayward R.S.** Clinical practice guidelines on trial // CMAJ. – 1997.- Vol. 156, No. 12.- P. 1725-1727.

4. **Kawamoto K., Balas E.A., Lobach D.F.** Improving clinical practice using clinical decision support systems: a systematic review of trials to identify features critical to success // *BMJ*. – 2005, 38398.500764.8F.- P. 1-8.
5. **Hunt D.L., Haynes R.B., Hanna S.E., Smith K.** Effects of computer-based clinical decision support systems on physician performance and patient outcomes: a systematic review // *JAMA*. – 1998, jama.280.15.1339. – P. 1339–1346.
6. **Miller R.A.** Medical diagnostic decision support systems—past, present, and future: a threaded bibliography and brief commentary // *J. Am Med Inform Assoc.* – 1994.- Vol. 1, issue 1. ISSN 1067-5027. – P. 8-27.
7. **Berlin A., Sorani M., Sim I.** A taxonomic description of computer-based clinical decision support systems // *J. Biomed Inform.* – 2006.- Vol. 39, issue 6.- P. 656-667.
8. **High R.** The Era of Cognitive Systems: An Inside Look at IBM Watson and How it Works // *Redbooks*. – 2012. – P. 14.
9. **Feldman R., Sanger J.** The Text Mining Handbook: Advanced Approaches in Analyzing Unstructured Data // Cambridge University Press. – 2007. - P. 410.
10. **Berner E.S.** Clinical Decision Support Systems Theory and Practice // *Health Informatics (Springer)*. – 2007. – P. 269.
11. **Chowdhury G.G.** Natural language processing // *Annual Review of Information Science and Technology*. – 2003.- Vol. 37, issue 1. - P. 51-89.
12. **MLlib: Machine Learning in Apache Spark / X. Meng, J. Bradley, B. Yavuz, E. Sparks, et al.** - *Journal of Machine Learning Research*. – 2016. -Vol. 17, issue 34. – P. 1-7.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 29.03.2017:

Е.А. МАНАСЯН

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ КЛИНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Исследована и разработана сетевая система для поддержки принятия клинических решений. Автоматизированная система предоставляет помощь врачам во время клинического процесса принятия решений, т.е. решений группы диагностики, лечения и исследований. Сетевая автоматизированная система обучает с помощью врачей-специалистов, а затем становится самообучаемой, т.е. позволяет добавлять новые данные, на основе которых она будет самообучаться. Проведена экспериментальная проверка на основе данных заболевания диабетом.

Ключевые слова: система для поддержки принятия клинических решений, самообучаемая система, IBM Watson, Apache Spark.

Y.A. MANASYAN

**DEVELOPING AN AUTOMATED NETWORK SYSTEM FOR SUPPORTING THE
CLINICAL DECISION-MAKING**

A network system for clinical decision-making is investigated and developed. This system helps the doctor in the clinical decision-making process, *i.e.* diagnosis, treatment and research group decisions. This automated system is taught by medical specialists, then becomes a self-learning system, allowing to add new data based on which the system will be self-learning. It has been tested by the data on diabetes.

Keywords: clinical decision support system, self-learning system, IBM Watson, Apache Spark.

Գ.Տ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ա.Կ. ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ

**FPGA-Ի ՄԻՋՈՑՈՎ ՍՈՂՈՒԼՅԱՐ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿԻՉՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶՄԱՆ
ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Դիտարկված են արագագործության տեսակետից արդյունավետ մնացորդային դասերի համակարգում տարբեր սկզբունքներով նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման արդյունքները ծրագրավորվող տրամաբանական ինտեգրալ սխեմաների (FPGA-Field-Programmable Gate Array) միջոցով, և կատարված է այդ սինթեզումների համեմատական վերլուծությունը FPGA-ռեսուրսների օգտագործման և սարքերի արագագործության տեսակետից:

Առանցքային բառեր. մոդուլյար բազմապատկիչներ, մոդուլային բազմապատկման RTL նկարագրում, FPGA-ռեսուրսներ, FPGA-սեկցիաներ, LUT-աղյուսակներ:

Ներածություն. Թվային սարքերին ներկայացվող արագագործության բարձրացման պահանջների տեսակետից մնացորդային դասերի համակարգը (մոդուլային թվաբանությունը) դիտարկվում է որպես արդյունավետ միջոց: Մնացորդային դասերի համակարգի օգտագործումը թույլ է տալիս էականորեն բարձրացնել թվաբանական հաշվարկների արագությունը՝ մնացորդներով գործողությունների զուգահեռ կատարման շնորհիվ [1]:

Չնայած նրան, որ մոդուլային թվաբանության բնագավառում կատարվել են բավական թվով տեսական հետազոտություններ, սակայն այս ուղղությունը լայն զարգացում չի ստացել՝ այդ սարքերն իրականացնող տարրային բազայի բացակայության պատճառով: Ինտեգրալային սխեմատեխնիկայի զարգացման հետ մեկտեղ հնարավորություններ ստեղծվեցին մոդուլային թվաբանության բլոկում նմանատիպ սարքերի իրագործման համար:

Աշխատանքի արդյունավետությունը. Արդյունավետության բարձրացման համար ունենալով զուգահեռացման հնարավորություն՝ մոդուլյար հաշվարկների կատարումը պահանջում է մոդուլյար կարգերում թվաբանական գործողությունների կատարման հատուկ սխեմաների մշակում: Մնացորդային դասերի համակարգում հաշվարկների առանձնահատկությունների և առավելությունների ուսումնասիրումը, ինչպես նաև դրանց հիմնական արդյունքների կիրառումը հեռանկարային ուղղություն է: Կարևոր է նշել, որ մոդուլյար թվաբանության օգտագործման մասնագիտացված բարդ ֆունկցիոնալ բլոկների առկայությունը կընդլայնի

մոդուլյար թվաբանության կիրառման ոլորտները (օրինակ՝ ինֆորմացիայի գաղտնագրում, թվային և թվաբանական հսկում և արատորոշում և այլն):

Նախագծման ընթացքում սարքերի կառուցվածքի, կիրառվող տեխնոլոգիաների ընտրությունը հաճախ կատարվում է՝ հիմնվելով նախագծողի անձնական փորձի վրա: Սարքերի իրագործումն անհրաժեշտ է իրականացնել այնպես, որ հնարավորինս խնամքով օգտագործվեն FPGA-երի ռեսուրսները:

Այսպիսով, ձևավորվում է պահանջարկ. կատարել FPGA-ի միջոցով իրագործված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման արդյունքների վերլուծություն և տարբեր եղանակներով (սկզբունքներով) իրականացված սխեմաների արդյունավետության գնահատում FPGA ռեսուրսների օգտագործման և արագագործության տեսակետից: Այդ նպատակով առանձին հետազոտվել են մոդուլյար թվաբանության բլոկի մշակված բոլոր տեսակների մոդուլյար բազմապատկիչները Spartan - 3E FPGA-ի օգտագործմամբ իրագործելիս՝ կախված մոդուլի արժեքի մեծությունից, մուտքային թվերի (օպերանդների) կարգայնությունից: Սարքերի սինթեզումը կատարվել է Xilinx Synthesis Technology ISE 14.0 փաթեթի միջոցով, վերլուծությունները և գնահատումը կատարվել են FPGA-րի ռեսուրսների LUT (Look-up-Table) - աղյուսակների, Slices - սեկցիաների, մուտք-ելքերի) օգտագործման տեսանկյունից:

Մնացորդային դասերի համակարգում բազմապատկման սարքերի նախագծումը կարելի է իրականացնել տարբեր սկզբունքներով՝ հիշող սարքերի և ժամանակակից ինտեգրալ սխեմաների օգտագործմամբ՝ հիմնված մոդուլային թվաբանության հայտնի օրենքների և բազմապատկման գործողության կատարման ալգորիթմների վրա [2-4]: Մասնավորապես, դիտարկված են հետևյալ սկզբունքներով իրագործված մոդուլյար բազմապատկիչների FPGA-ի վրա սինթեզման արդյունքները.

առաջին սկզբունքով՝ $(axb) \bmod m$ մոդուլյար բազմապատկում PROM (Programmable Read-Only-Memory) տիպի հիշող սարքի միջոցով,

երկրորդ սկզբունքով՝ $(axb) \bmod m$ մոդուլյար բազմապատկում ինդեքսային (կամ դիսկրետ-լոգարիթմական) մեթոդով,

երրորդ սկզբունքով՝ $(axb) \bmod m$ մոդուլյար բազմապատկում՝ քառակուսիների օրենքով,

չորրորդ սկզբունքով՝ $(axb) \bmod m$ հաշվարկի $m=2^k$ մոդուլով մոդուլյար բազմապատկում,

հինգերորդ սկզբունքով՝ $(axb) \bmod m$ հաշվարկը Բուտի ալգորիթմի կիրառմամբ (Radix 8):

Բոլոր եղանակներով մշակված սարքերի համար կատարվել է սինթեզում ISE Design ավտոմատ նախագծման համակարգով, և սինթեզման արդյունքների

վերլուծությունները՝ Spartan-3E ընտանիքի FPGA-ի օգտագործմամբ: Գնահատումները կատարվում են ոչ միայն ապարատային ծախսերի, այլ նաև արագագործության տեսանկյունից: Սարքերի սինթեզման համար ընտրվել է սինխրոնազանչանի գեներացման ժամանակը 5 նվ (Verilog նկարագրումը՝ always #5 clk=~clk): Արագագործությունը գնահատվել է սինթեզվող սարքի աշխատանքի սիմուլյացիայի ժամանակ, որն իրականացվել է ModelSim (Mentor Graphics) փաթեթի միջոցով:

Որպես օրինակ դիտարկենք երկրորդ և չորրորդ սկզբունքներով նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման արդյունքները, որը տրամադրվում է ISE Design նախագծման XST համակարգից հաշվետվության տեսքով (Report)՝ FPGA-ի ռեսուրսների օգտագործման և արագագործության տեսանկյունից:

Աղ. 1-ում ներկայացված է $(axb) \bmod m$ հաշվարկը՝ $m=2^k$ մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման հաշվետվությունը. a և b թվերի $n=8$, $n=16$, $n=32$ և $n=64$ կարգայնության և m մոդուլի արժեքը $[0: 255]$ միջակայքում (այսինքն՝ m -ը 8 կարգանի է):

Աղյուսակ 1

$m=2^k$ մոդուլով մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման հաշվետվությունը

		Սարքերի օգտագործման հաշվետվությունը				
N	Օգտագործված	n=8	n=16	n=32	n=64	
N	տրամաբանությունը	Used	Used	Used	Used	Ընդ.
1	4 մուտքանի LUT (Look-up-Table)-ի քանակը	53	94	121	216	9312
2	Օգտագործ. սեկցիաների (Slices) քանակը	32	48	72	132	4656
3	Սեկցիաներում օգտագործված տրիգերների քանակը	52	88	106	159	9312
4	Օգտագործ.մուտք/ելքերի (IOBs -input/output blocks) քանակը	16	52	80	142	190
5	Արագագործությունը	5k/40նվ	5k/80նվ	5k/160նվ	5k/320նվ	

Որպես օգտագործված տրամաբանություն(FPGA ռեսուրսներ) դիտարկված են.

- 4 մուտքանի LUT-աղյուսակների ընդհանուր քանակը Spartan-3E FPGA-ում 9312 հատ է, $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի սինթեզման դեպքում օգտագործվում է 53 հատ, 1%-ը, $n=16$ դեպքում՝ 96 հատ, ընդհանուրի 1%-ը, և $n=32$ դեպքում՝ 121 հատ, ինչը նույնպես կազմում է ընդհանուրի 2%-ը և այլն:
- Օգտագործված սեկցիաների ընդհանուր քանակը Spartan-3E FPGA-ում 9312 հատ է, $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի

սինթեզման դեպքում՝ 32 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 2%-ը, $n=16$ դեպքում՝ 48 հատ, ընդհանուրի 1%-ը, և $n=32$ դեպքում՝ 72 հատ, ընդհանուրի 2%-ը և այլն:

- Սեկցիաներում առկա տրիգերների ընդհանուր քանակը Spartan-3E FPGA-ում 4656 հատ է, $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի սինթեզման դեպքում՝ 52 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 1%-ը, $n=16$ դեպքում՝ 88 հատ, ընդհանուրի 1%-ը, և $n=32$ դեպքում՝ 108 հատ, ընդհանուրի 1%-ը և այլն:
- Օգտագործված մուտք/ելքերի ընդհանուր քանակը Spartan-3E FPGA-ում 190 հատ է, $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի սինթեզման դեպքում՝ 24 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 6%-ը, $n=16$ դեպքում՝ 48 հատ, ընդհանուրի 26%-ը, և $n=32$ դեպքում՝ 80 հատ, ընդհանուրի 45%-ը և այլն:
- Օգտագործված սինքրոնիզացիայի ընդհանուր քանակը Spartan-3E FPGA-ում 190 հատ է, $n=8$ կարգանի a և b թվերի գումարման սարքի սինթեզման դեպքում՝ 24 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 6%-ը, $n=16$ դեպքում՝ 48 հատ, ընդհանուրի 26%-ը, և $n=32$ դեպքում՝ 80 հատ, ընդհանուրի 45%-ը և այլն:

Աղյուսակից երևում է նաև, որ կախված a և b թվերի կարգայնությունից և k կարգաթվից՝ սարքի արագագործությունը փոփոխվում է 40 նվ-ից մինչև 320 նվ:

Աղ. 2-ում ներկայացված է $(axb) \bmod m$ ինդեքսային (կամ դիսկրետ-լոգարիթմական) մեթոդով իրականացված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման հաշվետվությունը. a և b թվերի $n=8$, $n=16$, $n=32$ և $n=64$ կարգայնության և m մոդուլի արժեքը [256:1023] միջակայքում (այսինքն m -ը 10 կարգանի է):

Աղյուսակ 2

Ինդեքսային մեթոդով իրականացված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման հաշվետվությունը

NN	Օգտագործված տրամաբանությունը	Սարքերի օգտագործման հաշվետվությունը				
		$n=8$	$n=16$	$n=32$	$n=64$	Ընդ.
		Used	Used	Used	Used	Ընդ.
1	4 մուտքանի LUT (Look-up-Table)-ի քանակը	64	86	162	242	9312
2	Օգտագործ. սեկցիաների (Slices) քանակը	34	42	83	173	4656
3	Սեկցիաներում օգտագործված տրիգերների քանակը	52	92	139	196	9312
4	Օգտագործ.մուտք/ելքերի (IOBs - input/output blocks) քանակը	24	28	32	155	190
5	Արագագործությունը	115 նվ	115 նվ	115 նվ	115 նվ	

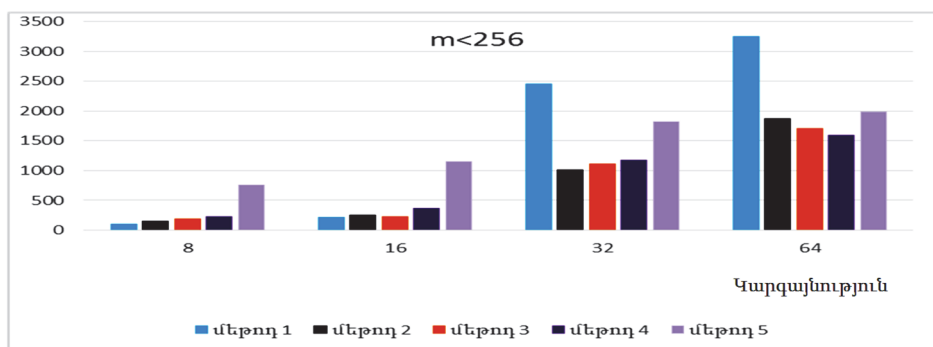
Մեկնաբանելով աղ. 2-ում ներկայացված ինդեքսային մեթոդով իրականացված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման արդյունքները՝ FPGA-ի ռեսուրսներների օգտագործման տեսակետից առանձնացվում են.

- 4 մուտքանի LUT-աղյուսակները. $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի սինթեզման դեպքում օգտագործվում է 64 հատ, $n=16$ դեպքում՝ 86 հատ, և $n=32$ դեպքում՝ 162 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 2%-ը և այլն:
- Օգտագործված սեկցիաները $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի սինթեզման դեպքում 34 հատ են, $n=16$ դեպքում՝ 42 հատ, և $n=32$ դեպքում՝ 83 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 1%-ը և այլն:
- Սեկցիաներում առկա տրիգերներից $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի ինթեզման դեպքում օգտագործվում է 52 հատ, $n=16$ դեպքում՝ 92 հատ, և $n=32$ դեպքում՝ 139 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 2%-ը և այլն:
- Օգտագործված մուտք/ելքերը $n=8$ կարգանի a և b թվերի բազմապատկման սարքի սինթեզման դեպքում 24 հատ են, $n=16$ դեպքում՝ 28 հատ, և $n=32$ դեպքում՝ 42 հատ, ինչը կազմում է ընդհանուրի 22%-ը և այլն:

Ինչպես երևում է աղ. 2-ից, կախված a և b թվերի կարգայնությունից՝ ինդեքսային մեթոդով իրականացված մոդուլյար բազմապատկիչների արագագործությունը անփոփոխ է՝ 115 նս/:

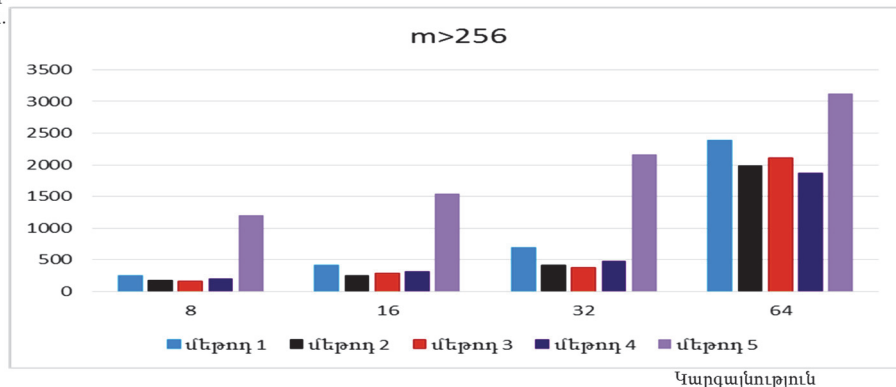
Այդ արդյունքները ընդհանրացված տեսքով կարելի է ներկայացնել նաև կախվածությունների գրաֆիկներով, որոնցում ներկայացված են FPGA ընդհանրացված ռեսուրսների քանակի կախվածությունը օպերանդների կարգայնությունից ($n=8$, $n=16$, $n=32$ և $n=64$): Նկ. 1-ում առանձին դիտարկված է m մոդուլի արժեքը $[0:255]$ միջակայքում, իսկ նկ. 2-ում բերված է m մոդուլի արժեքը $[256:1023]$ միջակայքում:

FPGA –ի
ռեսուրս.



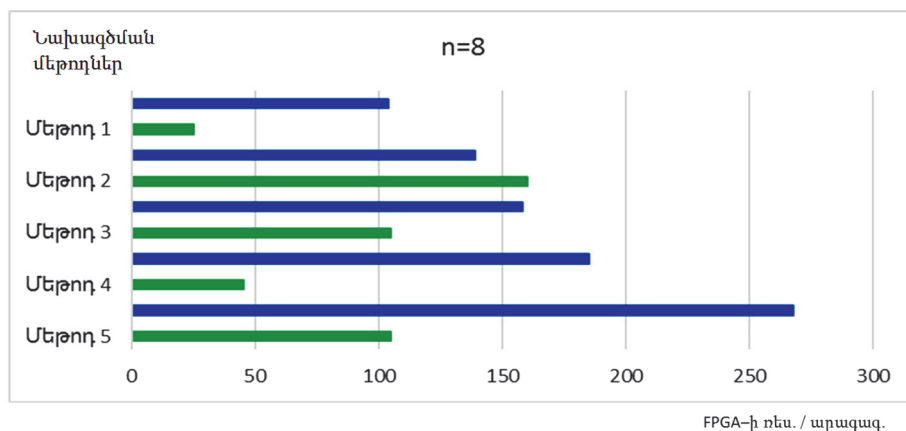
Նկ. 1. FPGA ընդհանրացված ռեսուրսների քանակի կախվածությունը օպերանդների կարգայնությունից (m -ը մոդուլի արժեքն է $[0:255]$ միջակայքում)

FPGA-ի
ռեսուրս.



Նկ. 2. FPGA ընդհանրացված ռեսուրսների քանակի կախվածությունը օպերանդների կարգայնությունից (m-ը մոդուլի արժեքն է [256:1023] միջակայքում)

Ներկայացնելով տարբեր կարգայնության օպերանդների համար սինթեզման հաշվետվության աղյուսակների արժեքները, ինչպես նաև մոդուլյար բազմապատկիչների նախագծման FPGA-ռեսուրսների և արագագործության կախվածության գրաֆիկի միջոցով կարելի է ստանալ պատկերներ, որոնք ներկայացված են նկ. 3-6 ում:

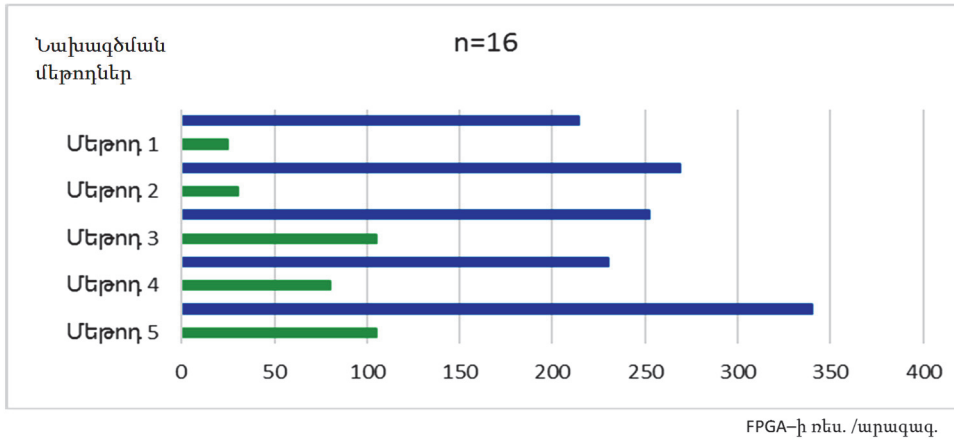


Նկ. 3. n=8 կարգանի օպերանդներով մոդուլյար բազմապատկիչների նախագծումը

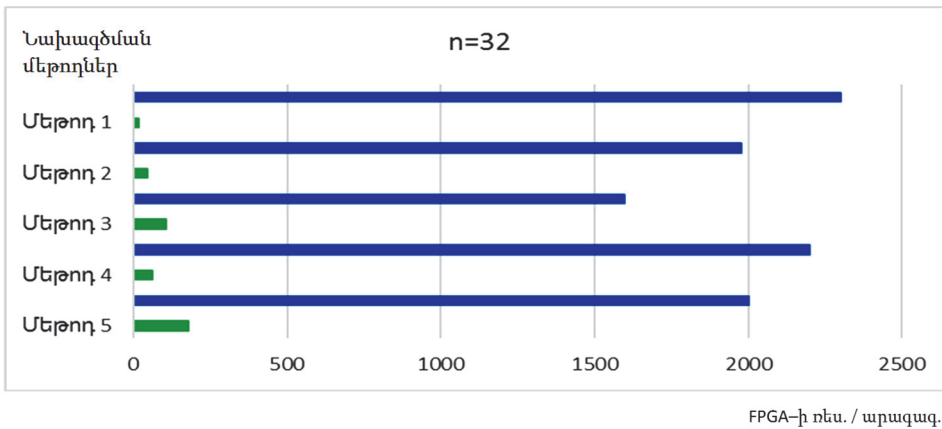
Գրաֆիկներում համադրված են տարբեր եղանակներով իրագործված մոդուլյար բազմապատկիչների FPGA-ի օգտագործված ընդհանուր ռեսուրսները և մշակված սարքերի արագագործությունները: Համադրումը կատարվել է n=8, n=16, n=32 և n=64 բիթ կարգայնությամբ օպերանդների համար:

Համաձայն նկ. 2-ում պատկերված գրաֆիկների՝ առաջին և երկրորդ մեթոդների կիրառումը նպատակահարմար է օպերանդների փոքր կարգայնության

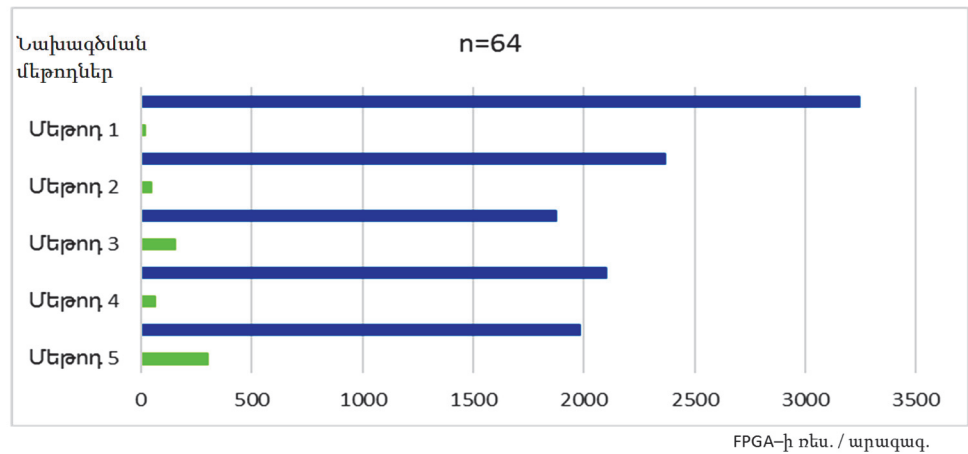
(n=8 և n=16), իսկ երրորդ, չորրորդ և հինգերորդ մեթոդները՝ օպերանդների մեծ (n=32 և n=64) կարգայնության համար:



Նկ. 4. n=16 կարգանի օպերանդներով մոդուլյար բազմապատկիչների նախագծումը



Նկ. 5. n=32 կարգանի օպերանդներով մոդուլյար բազմապատկիչների նախագծումը



Նկ. 6 n=64 կարգանի օպերանդներով մոդուլյար բազմապատկիչների նախագծումը

Գնահատելով սինթեզման արդյունքները՝ կարելի է ընտրել մոդուլյար բազմապատկիչների նախագծման առավել արդյունավետ մեթոդ՝ FPGA-ի ռեսուրսների օգտագործման և այդ սարքի աշխատանքի արագագործության տեսակետից: Առաջարկվում է գնահատումները կատարել հետազոտությունների արդյունքում ձևավորված և փորձնականորեն ստացված բանաձև 1-ի հիման վրա՝

$$G = \sum_{i=0}^5 R_i T, \quad (1)$$

որտեղ G -ն արդյունավետության հայտանիշն է, R_i -ն՝ FPGA-ի օգտագործված բոլոր ռեսուրսները, T -ն՝ սարքի արագագործությունը:

Ինչպես արդեն նշվել է, նախագծված մոդուլյար սարքերի հետազոտումները և արդյունքների գնահատումները կատարվել են ISE Design գործիքամիջոցի կիրառմամբ՝ FPGA-ով սինթեզման համար: Սակայն, նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչների համար կատարվել են գնահատումներ ոչ միայն FPGA-ի ռեսուրսների օգտագործման, այլ նաև այդ սարքերի զբաղեցրած մակերեսների տեսակետից:

Բոլոր եղանակներով մշակված մոդուլյար բազմապատկիչները սինթեզվել են նաև Synopsys ընկերության Design Compiler (.dc) ավտոմատացված նախագծման համակարգի միջոցներով:

Սարքերը նկարագրվել են Verilog HDL-ով, ապա նկարագրումները սիմուլյացվել և սինթեզվել են 32 նստանդարտ բջիջների գրադարանի բազիսում, ընտրվել է սինթրոագդանշանի գեներացման ժամանակը՝ 5նվր:

Նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման արդյունքները՝ սարքերի զբաղեցրած մակերեսի և արագագործության տեսակետից ներկայացված են աղ. 3-ում:

Նախագծված մեթոդներով սինթեզված մոդուլյար բազմապատկիչների մակերեսները և արագագործությունները

Նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչի եղանակը	Զբաղեցրած մակերեսը, մկմ ²	Արագագործությունը, նվ/ր.
Մոդուլյար բազմապատկում PROM տիպի հիշող սարքի միջոցով	1291.36 (n=32) 1684.56 (n=64)	65 90
Մոդուլյար բազմապատկում ինդեքսային մեթոդով	1734.51 (n=32) 2032.84 (n=64)	80 90
m=2 ^k մոդուլով մոդուլյար բազմապատկում	2284.73 (n=32) 2945.62 (n=64)	105 190
m=2 ^k մոդուլով ինդեքսային բազմապատկում	2649.14 (n=32) 3711.26 (n=64)	105 105
Բուտի ալգորիթմի հիման վրա մոդուլյար բազմապատկում	4511.87 (n=32) 6129.44 (n=64)	185 220

Եզրակացություն. Հետազոտվել են FPGA-ի միջոցով նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչների սինթեզման արդյունքները, և հաշվարկվել FPGA-ի օգտագործված ընդհանուր ռեսուրսները տարբեր եղանակներով մշակված սարքերի համար: Գնահատելով սինթեզման արդյունքները՝ կարելի է եզրակացնել, որ կախված մոդուլի արժեքի մեծությունից և թվերի կարգայնությունից՝ FPGA-ի ռեսուրսների օգտագործման տեսակետից.

- առաջին սկզբունքով մոդուլյար բազմապատկիչները նախընտրելի է կառուցել a և b թվերի փոքր ($n < 16$) կարգայնության և մոդուլի արժեքի [0:255] միջակայքի դեպքում,
- երկրորդ սկզբունքով բազմապատկիչները նախընտրելի է կառուցել a և b թվերի մեծ ($n > 16$) կարգայնության և պարզ թիվ m մոդուլի արժեքի [0:255] միջակայքում,
- երրորդ սկզբունքով մոդուլյար բազմապատկիչները նախընտրելի է կառուցել a և b թվերի մեծ ($n > 16$) կարգայնության և $m = 2^k$ մոդուլի արժեքի [256:1023] միջակայքի դեպքում,
- չորրորդ սկզբունքով մոդուլյար բազմապատկիչները նախընտրելի է կառուցել a և b թվերի մեծ ($n > 16$) կարգայնության և m մոդուլի արժեքի [0: 255] միջակայքի դեպքում:

Այսպիսով, կարելի է պնդել, որ հինգերորդ սկզբունքով (Բուտի ալգորիթմի կիրառմամբ) նախագծված մոդուլյար բազմապատկիչները a և b թվերի կարգայնության բոլոր արժեքների համար օգտագործում են FPGA-ի ռեսուրսների առավելագույն քանակը՝ համեմատած նախագծման մյուս սկզբունքների հետ: Սակայն անհրաժեշտ է հաշվի առնել այն փաստը, որ FPGA-երն ունեն սահմանափակ քանակով ներկառուցված տրամաբանություն և անհամեմատ ավելի շատ քանա-

կով տրիգերներ, հետևաբար՝ կառավարող ավտոմատի առկայությունը նույնպես ունի իր առավելությունը: Ինչպես նաև $(axb) \bmod m$ հաշվարկը Բուտի ալգորիթմի կիրառմամբ կարելի է իրականացնել m մոդուլի բոլոր տեսակի արժեքների դեպքում, ինչը և համարվում է այս սկզբունքի առավելությունը:

Գնահատումները կատարվել են նաև սարքերի աշխատանքի արագագործության տեսակետից, և ինչպես երևում է նկ.2-ում պատկերված գրաֆիկներից, առավել արագագործ են PROM հիշող սարքերի միջոցով իրագործված մոդուլյար բազմապատկիչները, սակայն a և b օպերանդների մեծ կարգայնության ($n=64$ բիթ) դեպքում առավելագույնս օգտագործվում են FPGA-ի ռեսուրսները:

Հիմնվելով Synopsys ընկերության Design Compiler (.dc) ավտոմատացված նախագծման համակարգի միջոցներով ստացված արդյունքների վրա, կարելի է արձանագրել, որ մշակված սարքի և՛ զբաղեցրած մակերեսի, և՛ արագագործության տեսակետից նույնպես առավել նպատակահարմար են PROM հիշող սարքերի միջոցով իրագործված մոդուլյար բազմապատկիչները:

Նշենք, որ մոդուլյար բազմապատկիչները կարող են կիրառվել ինչպես մոդուլով հսկում իրականացնող մասնագիտացված սարքերում, այնպես էլ որոշ ալգորիթմներով (RSA գաղտնագրման ալգորիթմ, Դիֆֆի-Հելլմանի գաղտնագրման բանալիների գեներացման ալգորիթմ) գաղտնագրման սարքերի կառուցման դեպքում [5,6]:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Акушский И.Я., Юдицкий Д.И.** Машинная арифметика в остаточных классах. – М.: Советское радио, 1968.- 486 с.
2. **Կիրակոսյան Գ.Տ., Սաղաթելյան Ա.Կ.** Մնացորդային դասերի համակարգում ինդեքսային մեթոդով բազմապատկման սարքերի նախագծումը // Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ և կառավարում. Գիտական հոդվածների ժողովածու.-2014.-Մաս 1.-էջ 110-115:
3. **Սաղաթելյան Ա.Կ.** Մնացորդային դասերի համակարգում $m=2^k$ մոդուլով բազմապատկման սարքերի նախագծում // Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի Տեղեկագիր. Տեխնիկական գիտությունների սերիա. - 2015.- Հատոր 68, № 1.- էջ 44-50:
4. **Туманян А.К., Сагателян А.К.** Построение схем умножения на основе комбинационных умножителей// Моделирование, Оптимизация, Управление. ISSN 1829-216x: Вестник ГИУА.- 2011.- Выпуск 14, том 1.- С 82-91.
5. **Թումանյան Ա.Կ., Սաղաթելյան Ա.Կ., Քամայան Ա.Գ.** RSA ալգորիթմի ապարատային իրագործումը// Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարան, Լրաբեր. Գիտական և մեթոդական հոդվածների ժողովածու.-Երևան, 2013.- Մաս 1.- էջ 179-185:
6. **Saghatelyan A.K.** The Hardware Implementation of the Cryptographic Key Generation based on Diffie-Hellman algorithm// Proceedings of Engineering Academy of Armenia.- 2013.- V.10, N4.- P. 760-763.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացված է խմբագրություն 02.02.2017:

Г.Т. КИРАКОСЯН, А.К. САГАТЕЛЯН

**ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗА FPGA
МОДУЛЯРНЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ**

Рассмотрены результаты синтеза FPGA (FPGA-Field-Programmable Gate Array) модулярных умножителей, эффективных с точки зрения быстродействия и спроектированных разными принципами в системе остаточных классов. Произведена сравнительная оценка этих реализаций с точки зрения быстродействия и использования ресурсов FPGA.

Ключевые слова: модулярные умножители, RTL описание модулярных умножителей, ресурсы FPGA, секции FPGA, LUT-таблицы.

G.T. KIRAKOSSIAN, A.K. SAGHATELYAN

**EVALUATION AND ANALYSIS OF THE SYNTHESIS RESULTS OF
MODULAR MULTIPLIERS OF THE FPGA**

The results of modular multiplier synthesis efficient in terms of fast performance designed by different principles in residual classes on FPGA(Field-Programmable Gate Array) are considered. A comparative analysis of these implementations in terms of performance and use of the FPGA resources is carried out.

Keywords: modular multipliers, RTL description of modular multipliers, FPGA-resources, FPGA-sections, LUT tables.

L.A. MARTIROSYAN

THE QUALITY CHARACTERISTICS ESTIMATION METHOD FOR THE NANOSCALE RTL COMPILERS

For STAR Memory System (SMS) network, one of the most important design constraints is area and power consumption. This paper presents the quality characteristics estimation methodology of SMS network infrastructure for the case of FinFET technology. We present the quality characteristics comparative evaluation for the cases of FinFET and MOSFET technologies.

Keywords: area, power consumption, FinFET, RTL compilers, estimation.

Introduction. Nowadays, system-on-chip (SoC) consists of several embedded IP cores. The number of embedded memories in SoC increased dramatically by having enormous influence on the manufacturing yield of entire SoC. To improve the yield of embedded memories test and repair methodology is needed [1]. Built-in-Self-Test solution is preferable for embedded memories test and repair, because it does not require expensive Automatic Test Equipment (ATE) [2]. Synopsys DesignWare Self-Test and Repair (STAR) Memory System is a complete, cost-effective solution for test and repair of repairable and non-repairable embedded memories. Test and repair infrastructure of SMS network is generated via hierarchy of Register Transfer Level (RTL) compilers [3].

Gate count and power consumption have become key design constraints in STAR Memory System (SMS) network design. Traditional gate count and power consumption estimation methodologies which are based on synthesis tools are inefficient for the case of SMS network [4]. In papers [5-7], we presented quick gate count and power consumption estimation methodologies for SMS network, that are based on linear and polynomial interpolation.

For a long while, in SoC embedded memories were used built with conventional planar MOSFET technology. As embedded memories will continue to consume a large part of the SoC area, the scaling of embedded memories density must continue with the scaling trends of logic. It is now almost impossible to build embedded memories with scaling down parameters by using the traditional MOSFET technology without negative consequences. Therefore, FinFET - based memories have been developed to improve embedded memories scalability. FinFET is one of the most promising device technologies for extending Moore's law to 20 nm and beyond [8]. SMS network must be able to test and repair embedded memories built with the FinFET technology.

Technological changes lead to the need to redesign RTL compilers. Consequently, there will be timing, power, area and other characteristics' changes in the infrastructures of the SMS network. Hence, the quality characteristics of RTL compilers must be reconsidered for the case of the FinFET technology.

The paper [9] authors had presented power and area (gate count) analysis of 45 nm and 15 nm technologies. For that purpose, the RTL design of IEEE 754 Single Precision Floating-Point Unit was analyzed for the case of the 45 nm and 15 nm technologies. The experimental results had proven that 15 nm technology suggests 4 times improvement in power consumption and about 30% improvement in the area compared with the 45 nm technology. Gate count numbers remain almost the same for the 45 nm and 15 nm technologies.

According to paper [9], there are significant changes in RTL design characteristics when moving from the 45 nm technology to the 15 nm one. As RTL compilers also generate RTL descriptions, and they are regular and parameterized, in this paper we would like to expose how quality characteristics of the SMS network will change when migrating from MOSFET to FinFET.

1. Planar vs FinFET technology. To understand FinFET architecture we should compare it with the architecture of a planar transistor [10].

MOSFET transistors have been the core of SoC for several decades, and during this time the size of transistors decreased. MOSFET has a single gate that controls the conductive channel. The gate in a planar transistor has not a good electric field control, and there is leakage current between the source and the drain even when the gate is off. Hence, planar transistors suffer from an undesirable short-channel effect that increases the power required by SoC [10].

To solve the short-channel effect problem, different transistor architectures were proposed, among them the FinFET technology is considered one of the best approaches [11].

In FinFET, the transistor conducting channel is wrapped by a thin silicon “fin” that forms the body of the transistor. The effective channel length of the transistor is defined by the thickness of the fin. The gate fully depletes the channel of carriers. This gate structure controls the channel in a better way, reduces short-channel effects and leakage current. The most important parameters of FinFET are its width, height and channel length [10].

The move from the planar to the FinFET technology causes changes in the performance, area, power, cost and yield [12].

Recent research shows that it is possible to gain 30% performance improvement when moving from a 28 nm planar to a 16 nm or a 14 nm FinFET process [12].

There is a significant improvement in power consumption. The leakage power is two times smaller compared with that of the planar technology. Dynamic

power has also come down along with the nominal voltage, however dynamic power is now the bottleneck to achieving lower power [12]. According to paper [9], there is 4 times power improvement when moving from the 45 nm technology to the 15 nm technology.

The area savings also are essential. There is around 35% to 40% savings when moving from the 28 nm planar to the 16 nm FinFET technology [12]. According to paper [9] there is about 30% area saving when moving from the 45 nm technology to the 15 nm technology.

The manufacturing cost is higher compared with the planar technology because of manufacturing complexity related to the FinFET technology [12].

Failure mechanisms in FinFET's are different from those of planar transistors. Therefore, the BIST algorithms for the planar technology will not be effective for FinFETs. To catch FinFET-specific faults new algorithms for memory based solution were developed in the SMS network. These algorithms help to improve overall yield [10].

2. Methodology. In papers [5-7], we presented a quick gate count and power consumption estimation methodology of the SMS network infrastructure for the case of the MOSFET technology.

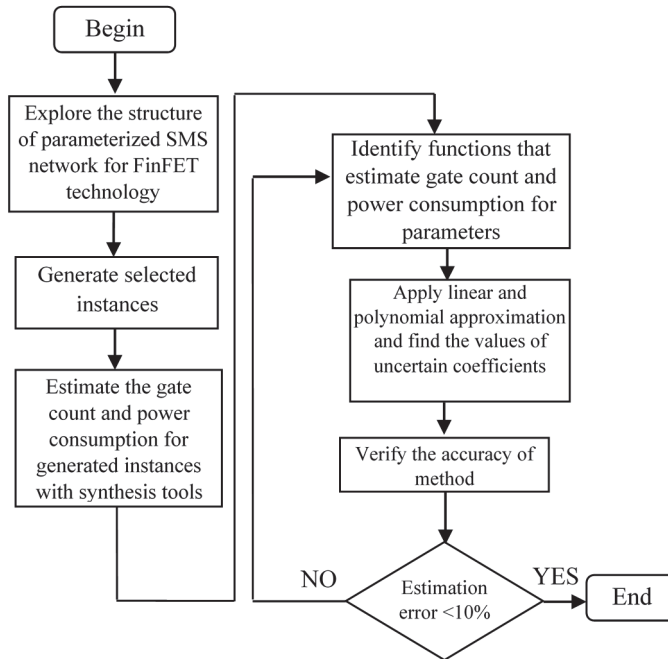


Fig. 1. The Block diagram of the gate count and power consumption estimation methodology of the SMS network infrastructure for the case of the FinFET technology

According to the information gained after research, the hierarchy of RTL compilers generates parameterized and regular descriptions. These parameters bring structural or functional changes of schemes. Hence, the quality characteristics of the SMS network design are changed. There are functional dependences between the quality characteristics of schemes generated by RTL compilers and input parameters. The experimental results show that the behavior of the SMS network parameters is linear or polynomial. The analytical representations of functions are unknown. Therefore, we developed the quick gate count and power consumption estimation methodologies which are based on approximation.

Our recent research shows that the behavior of the SMS network parameters for the FinFET technology is also linear or polynomial, but there is sufficient reduction in the area and power consumption data. Consequently, the analytical representations of functions for the FinFET technology differ from that of the MOSFET's.

Fig. 1 shows the block diagram of the gate count and power consumption estimation methodology of the SMS network for the FinFET technology.

To estimate the gate count and power consumption of the SMS network for the FinFET technology, we implement the following steps:

- To explore the structure of the parameterized SMS network for the FinFET technology, the parameters that cause drastic variations in the gate count and power consumption of the SMS network are figured out.
- To generate selected instances for each selected parameter, we choose and generate a number of instances.
- To estimate the gate count and power consumption for generated instances with synthesis tools, we estimate the gate count and power consumption data for selected instances of each parameter with synthesis tools.
- To identify the functions that estimate the gate count and power consumption for parameters, the behavior of parameters is considered according to the real gate count and power consumption estimation data.
- To apply linear and polynomial approximation and find the values of uncertain coefficients, we apply linear or polynomial interpolation to get formulae that describe the behavior of parameters.
- To verify the accuracy of the method, we compare the real and estimated gate count, power consumption data. The maximum achieved estimation error must be 10%.

3. SMS network infrastructure for the case of the FinFET technology.

SMS network provides automated test and repair strategy for embedded memories within SoC. SMS has hierarchical structure as shown in Figure 2. It

contains several hardware components, including: STAR Processors, Wrappers, Server, Fuse Box, TAP controller and memories [1] (Fig. 2 [7]).

SMS generates wrappers around each memory. Wrappers work with Processors to test and repair embedded memories. A single wrapper is able to work with several memories [1].

A group of Wrappers connects to a Processor. A single Processor can test and repair several memory instances. The Processor performs all test and repair functions by using memory specific test algorithms. It interacts with memory, finds out the defects, and if the memory is repairable, generates the repair signature.

The repair signature is then transferred to Laser Fuse box, which blows laser fuses corresponding to the defective memories [1].

The processor in turn connects to the Server which generates a top level design of the network and passes the SMS network signals to the JTAG port through the TAP controller.

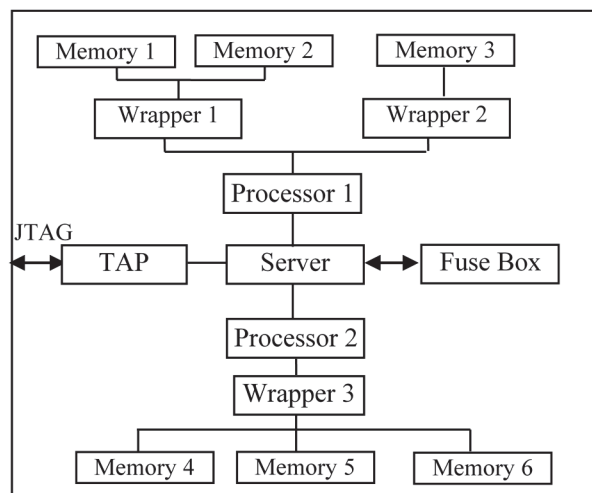


Fig. 2. A SMS network infrastructure example

To test and repair different defects, there are fault detection and repair algorithms. As there is an enormous difference in the structures of the FinFET and MOSFET technologies, the set of defects for FinFET differs from the MOSFETs. In paper [8], the authors have mentioned that the methodology was developed for an automated test and repair of defects in the FinFET - based memories with different algorithms. These algorithms are embedded in the hierarchy of SMS network.

4. Experimental Results. Experimental results show that the behavior of the SMS network's parameters for the case of the FinFET technology is linear or polynomial, but the area and power consumption data sufficiently differ from those of the MOSFET technology. The gate count data are almost the same for the FinFET and MOSFET technologies.

We figure out those parameters that cause drastic variations in the gate count and power consumption data of the SMS network. Several values of the parameters were chosen and used as an interpolation points. The real gate count and power consumption data have been obtained through logic synthesis. We use 28 nm and 16 nm target library for logic synthesis. By applying linear or polynomial interpolation, we have got formulae that describe the behavior of the quality characteristics of the SMS network for the cases of the MOSFET and FinFET technologies.

Experimental results show that there is a 36% area improvement of the SMS network when moving from the MOSFET to the FinFET technology.

Fig. 3 presents the gate count comparative data of Wrapper Compiler for the cases of 28 nm (MOSFET) and 16 nm (FinFET) technologies, where NB is the Number of Bits of appropriate memory.

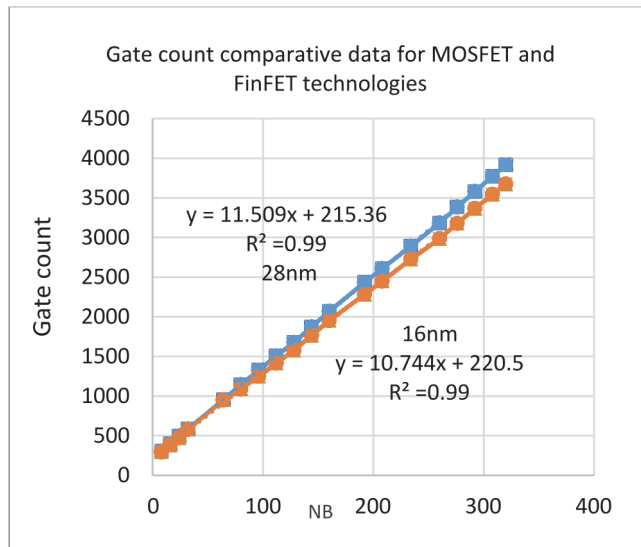


Fig. 3. The gate count comparative data for the MOSFET and FinFET technologies

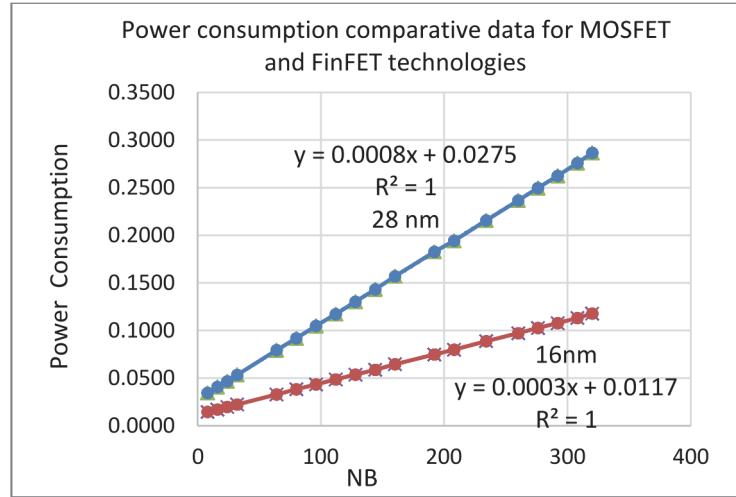


Fig. 4. The power consumption comparative data for the MOSFET and FinFET technologies

It is obvious from the added graphs that the gate count behavior changes for the MOSFET and FinFET technologies are almost the same, and the values of uncertain coefficients hardly differ from each other. Therefore, there is no need to estimate the gate count of the SMS network for the FinFET technology separately. The behavior of the gate count for the case of the FinFET technology can be described with the same formulae as in the MOSFET technology.

Fig. 4 presents power consumption comparative data for the case of 28 nm (MOSFET) and 16 nm (FinFET) technologies for Wrapper Compiler. The graph shows that there is a huge difference of the power consumption data for the case of the MOSFET and FinFET technologies.

According to the experimental results, there is 50% power improvement when moving from MOSFET to FinFET. Hence, power consumption must be estimated separately for the FinFET technology.

Conclusion. The behavior of the SMS network parameters was exposed for the case of the FinFET technology. Quick quality characteristics estimation methodology was developed for the FinFET - based SMS network. Experimental results proved that there are 36% area and 50% power consumption improvements of the SMS network when migrating from MOSFET to FinFET. The gate count data remain almost the same for the MOSFET and FinFET technologies.

REFERENCES

1. **Zorian Y., Shoukourian S.** Embedded-Memory test and repair: Infrastructure IP for SoC yield // IEEE Design and Test of Computers. - May-June, 2003. - P. 58-66.
2. **Khazarjyan A.** A Tool for SoC Test Network Design Automation // Proceedings of 7th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2009).- Yerevan, Armenia, September, 2009. - P. 443-446.
3. Robust Solution for Embedded Memory Test and Repair / **K. Darbinyan, G. Harutyunyan, S. Shoukourian, et al** // Asia Test Symposium. - 2011. - P. 461-462.
4. **Ter-Galstyan A., Mosikyan A.** An Approach for Quick Area Estimation of Compiler Generated RTL // Proceedings of the CSIT conference. -Yerevan, Armenia, September 19-23, 2005. - P. 485-490.
5. **Martirosyan L.** A quick area estimation method for RTL compilers // Proceedings of the NAS RA and SEUA: Technical Sciences, ISSN 0002-306X.-2012.- V.65, N3. - P. 287-294.
6. **Martirosyan L.** A Quick Power Consumption Estimation Method for RTL Compilers // Computer Science and Information Technologies (CSIT).- 23-27 Sept. 2013. - P. 25-29.
7. **Martirosyan L.** A Quality Characteristics Estimation Methodology for the Hierarchy of RTL Compilers // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). -Yerevan, 14-17 Oct., 2016. - P. 68-71.
8. **Tshagharyan G., Harutyunyan G., Shoukourian S., Zorian Z.** Overview Study on Fault Modeling and Test Methodology Development for FinFET-Based Memories // East-West Design & Test Symposium (EWDTS). - Batumi, 2015. - P. 19-22.
9. **Soheil Salehi, Ronald F. DeMara,** Energy and Area Analysis of a Floating-Point Unit in 15nm CMOS Process Technology // Proceedings of the IEEE SoutheastCon, Fort Lauderdale. - Florida, April 9-12, 2015. - P. 25-29.
10. **Zorian Y.** Design, Test & Repair Methodology for FinFET based Memories: White paper, Synopsys Inc., 2015.
11. **Prateek Mishra, Anish Muttreja, Niraj K. Jha.** Evaluation of Multiple Supply and Threshold Voltages for Low-Power FinFET Circuit Synthesis // IEEE/ACM International Symposium on Nanoscale Architectures. - 2008. - P. 77-84.
12. **Jamil Kawa.** The Use of FinFETs in IP Design: White paper, Synopsys Inc., 2016.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 15.03.2017.

Լ.Ա. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

**ՆԱՆՈՉԱՓԱՅԻՆ RTL ԿՈՄՊԻԼԵՏԱՏՈՐՆԵՐԻ ՈՐԱԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ**

STAR հիշողության համակարգերի ցանցի համար նախագծային սահմանափակումներն են մակերեսը և հզորության սպառումը: Ներկայացվել է առավել կարևոր որակական բնութագրերի գնահատման մեթոդը՝ STAR հիշողության համակարգերի ցանցի համար FinFET տեխնոլոգիայի դեպքում, ինչպես և որակի բնութագրերի համեմատական գնահատականը՝ FinFET և MOSFET տեխնոլոգիաների դեպքում:

Առանցքային բառեր. մակերես, հզորության սպառում, FinFET, RTL կոմպիլատորներ, գնահատում:

Л.А. МАРТИРОСЯН

**МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАНОРАЗМЕРНЫХ RTL КОМПИЛЯТОРОВ**

Для сети SMS одними из наиболее важных конструктивных ограничений являются площадь и энергопотребление. Представлена методика оценки качественных характеристик SMS сети для технологий FinFET. Дана сравнительная оценка качественных характеристик при FinFET и MOSFET технологиях.

Ключевые слова: площадь, потребляемая мощность, FinFET, RTL компиляторы, оценка.

Հ.Ա. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ

ՄԵՏԱՂ – ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱԿԱՆ ԱԼԻՔՍԱՐՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՏԵՐԱՀԵՐԳԱՅԻՆ
ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԸՆԴՈՒՆԻՉԻ ՄՈՒՏՔԱՅԻՆ ՄԱՍԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

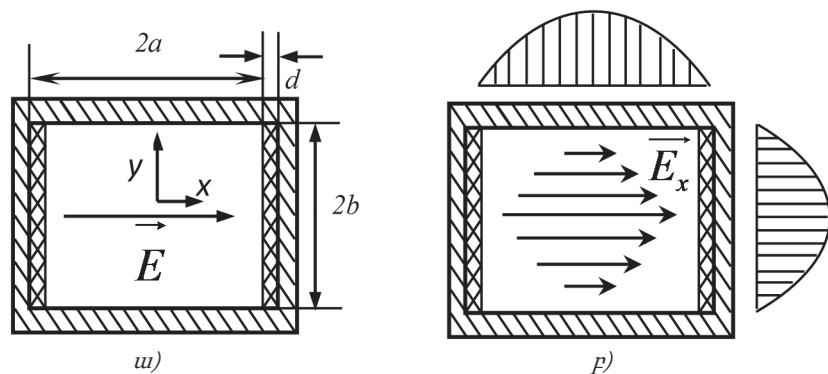
Դիտարկված են տերահերցային հաճախականային տիրույթի ազդանշանի ընդունման խնդիրները, և առաջարկված է լուծման հայեցակարգային ճանապարհ: Ցույց է տրված տերահերցային տիրույթում մետաղ-դիէլեկտրիկական ալիքատարարների՝ որպես ուղղորդող համակարգերի կիրառման նպատակահարմարությունը: Առաջարկված է որպես տերահերցային տիրույթում սուպերհետերոդինային ընդունիչի խառնիչ կիրառել Մախ-Ցենդերի ինտերֆերաչափը, ինչպես նաև քննարկված են դիէլեկտրիկական սեպի միջոցով էներգիայի ֆոկուսացման և ցածր աղմկային արբանյակային ընդունիչին հաղորդման հարցերը: Ստացված արդյունքները թույլ են տալիս տերահերցային տիրույթում ստեղծել բարձր զգայնությամբ ընդունիչներ:

Առանցքային բառեր. տերահերցային տիրույթ, Մախ-Ցենդերի ինտերֆերաչափ, դիէլեկտրիկական սեպ, ցածր աղմկային արբանյակային ընդունիչ:

Ներածություն: Տերահերցային տիրույթը (*SZg*) գտնվում է գերբարձր հաճախությունների (*GFZ*) և օպտիկական տիրույթների միջև [1]: Չնայած դեռևս անցած դարի 80 - ական թվականներից սկսված տերահերցային տեխնոլոգիայի բուռն զարգացմանը՝ մինչ օրս էլ նշված տիրույթը համարվում է ամենաքիչ ուսումնասիրվածը: *SZg* - ային տիրույթի զարգացմանը զուգահեռ մեծացավ նաև լայնաշերտ, ցածր դիսպերսիայով և նվազագույն կորուստներով ուղղորդող համակարգերի՝ ալիքատարների պահանջը, որոնց հիման վրա հնարավոր կլինի ստեղծել տարբեր նշանակության ֆունկցիոնալ տարրեր: Ուղղորդող համակարգերին ներկայացվող պահանջներն են՝ հավասարաչափ հաճախականային և գծային փուլային բնութագրերը, նվազագույն կորուստները միավոր երկարության վրա, ցածր դիսպերսիան և հաղորդվող թույլատրելի հզորության առավելագույն մակարդակը:

Մետաղ - դիէլեկտրիկական ալիքատարներ: Տերահերցային տիրույթում մետաղական ալիքատարների լայն կիրառմանը խոչընդոտում են մի շարք գործոններ. միկրոսկոպիկ չափերով պայմանավորված՝ մետաղական միամոդ ալիքատարների պատրաստումը անհնար է, սկիին - էֆեկտով առաջացած կորուստները գերազանցում են բոլոր թույլատրելի նորմերը, իսկ գերմեծ ալիքատարների (ալիքատարի երկրաչափական չափսերը շատ անգամ մեծ են նրանով տարածվող ալիքի երկարությունից) կիրառումը սահմանափակվում է բազմամոդությամբ, և ինքնազտման անհրաժեշտություն է առաջանում. այդպիսի հատկություններով

մետաղական ալիքատարներն օժտված չեն: Ղիէլէկտրիկական ալիքատարների հիմնական թերություններն են ճառագայթման կորուստները, ռեզոնանսային պատուհանի և, այսպես կոչված, արգելված գոտու առկայությունը և միլիմետրի կարգի երկրաչափական չափսերը: Այս ամենը կարևոր դեր է կատարում և թույլ չի տալիս ղիէլէկտրիկական ալիքատարների հիման վրա ստեղծել տարբեր նշանակության ֆունկցիոնալ տարրեր տերահերցային տիրույթում: Ներկայումս տերահերցային տիրույթում առավել ընդունելի բնութագրեր ունեն մետաղ-ղիէլէկտրիկական ալիքատարները (նկ. 1):

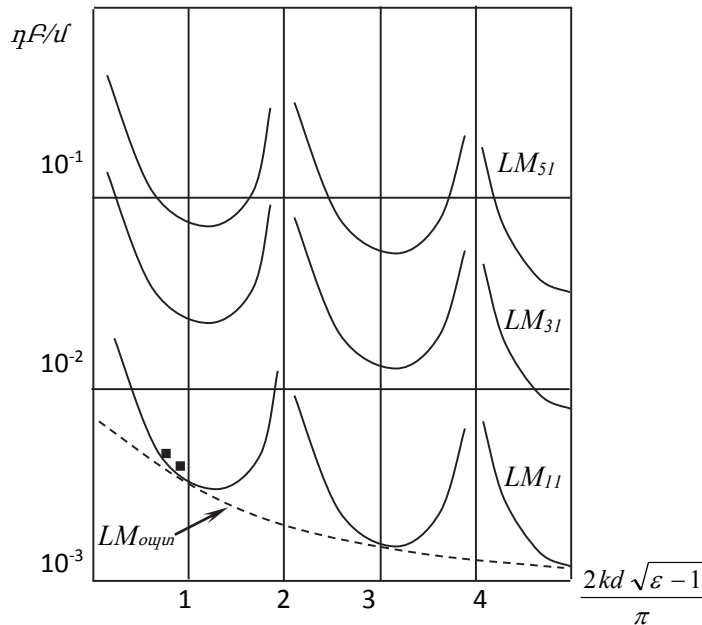


Նկ. 1. Մետաղ – ղիէլէկտրիկական ալիքատար. ա) ալիքատարի չափսերը, բ) ալիքատարի լայնական հատույթում դաշտի բաշխվածությունը

Այս ալիքատարում աշխատանքային ալիք է երկայնական մագնիսական LM_{11} մոդը, որը բնութագրվում է գործնականում հարթ փուլային ճակատով, ալիքատարի երկայնքով ամպլիտուդային առավելագույն բաշխվածությամբ և զծային բևեռվածությամբ [2]: Հակադիր պատերին ղիէլէկտրական շերտով մետաղ-ղիէլէկտրիկական ալիքատարի մարումները հաշվարկվում են տարածման հաստատունի $h = h' - jh''$ կեղծ մասով:

$$h'' = -\frac{(\alpha_x^0)^2}{(ka)k} \chi + \frac{(\alpha_y^0)^2}{2(kb)k} \sqrt{\frac{f}{\sigma}}, \quad (1)$$

որտեղ a, b - ն ալիքատարի չափսերն են, f -ը՝ հաճախականությունը, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ -ը՝ ալիքային հաստատունը, իսկ σ -ն՝ մետաղի տեսակարար հաղորդականությունը: Բանաձև (1)-ից հետևում է, որ եթե միաժամանակ փոքրացնենք ալիքի երկարությունը և ղիէլէկտրական շերտի հաստությունը այնպես, որ $kd\sqrt{\varepsilon - 1}$ մեծությունը մնա հաստատուն, ապա ղիէլէկտրիկով պայմանավորված կորուստները կնվազեն λ^2 անգամ, իսկ մետաղով պայմանավորված կորուստները՝ $\lambda^{3/2}$ անգամ:



Նկ.2. Ալիքատարում LM_{11} , LM_{31} և LM_{51} մոդերի հաշվարկային մարումները՝ կախված ալիքի երկարությունից

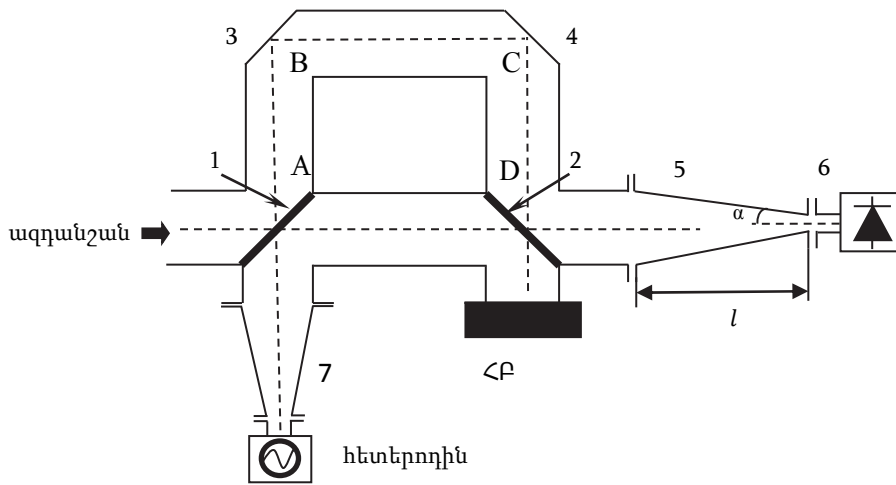
Նկ. 2 - ում ներկայացված են LM_{11} , LM_{31} և LM_{51} մոդերի հաշվարկային մարումները ալիքի երկարությունից երկկողմ դիէլեկտրական պատերով ուղղանկյուն կտրվածքով ալիքատարում՝ $a = b = 5$ մմ, դիէլեկտրիկի բնութագրերը՝ $\varepsilon=2,07$, $\text{tg}\delta=5 \cdot 10^{-4}$, $d=480$ մմ, մարումները 10×10 մմ չափսերով ալիքատարում՝ համապատասխանաբար 150 և 180 ՊՀզ համար: Աշխատանք [2] -ում ցույց է տրված, որ դիէլեկտրական շերտի հաստության $d = \lambda/4 \sqrt{\varepsilon - 1}$ դեպքում դիէլեկտրական շերտով հաղորդվող հզորությունը չի գերազանցում ալիքատարի ուղիով հաղորդվող հզորության 1%-ը: Այսպիսով, կարելի է փաստել, որ շնորհիվ ցածր կորուստների՝ հաղորդվող մեծ հզորության և աշխատանքային մոդի գծային բնեղծության առկայությունը թույլ է տալիս տերահերցային տիրույթում մետաղ – դիէլեկտրիկական ալիքատարային համակարգերի հիման վրա իրականացնել տարբեր նշանակության ֆունկցիոնալ տարրեր [2]:

Հաճախականությունների խառնիչ: Միլիմետրային տիրույթի կարճալիքային տեղամասում գերբարձր հաճախականային կորուստները նպաստում են ընդունիչի աղմկային բնութագրերի վատթարացմանը, այդ պատճառով հետերոդինի և ազդանշանի հզորության բաշխմանը հատկացվում է մեծ ուշադրություն [3, 4]: Այս խնդիրների լուծման համար հեռանկարային է համարվում ինտերֆերաչափական համակարգերի կիրառումը՝ ի տարբերություն ավանդական բալանսային սխե-

մաների, որոնց աշխատանքի արդյունավետությունը խիստ կախված է երկու խառնիչային դիոդների նույնականությունից: Այս դեպքում հետերոդինից առաջացած աղմուկները ճնշվում են միայն մեկ խառնիչային դիոդով, ինչի շնորհիվ ռադիո-ընդունիչի աղմուկի գործակիցը ընդունում է հարաբերականորեն ցածր արժեք [4]: Նման մոտեցումը հանդիսանում է ավելի հեռանկարային և անկախ՝ հատկապես տերահերցային տիրույթում: Նկ. 3-ում ցույց է տրված մետաղ – դիէլեկտրիկական ալիքատարների հիմքով Մախ-Ցենդերի ինտերֆերաչափի սկզբունքային բով – դիագրամը (բաղկացած է երկու դիէլեկտրական բաժանիչներից՝ 1 և 2, երկու անկյունային շրջադարձերից՝ 3,4 և ՀԲ - համաձայնեցված բեռից), ինչպես նաև դիէլեկտրիկական սեպը՝ 5, որը կատարում է ֆուկուսացնող տարրի գործառույթ, խառնիչային դիոդը՝ 6 և աշխատանքային LMH մոդի գրգռիչը՝ 7, որի աշխատանքի սկզբունքը ներկայացված է աշխատանք [5] –ում: Ազդանշանի և հետերոդինի հզորություններն անցնում են A-D ուղղով էլքային դիէլեկտրական 1 բաժանիչով, այնուհետև՝ մուտքային 2 բաժանիչով, նաև շրջանցող A-B-C-D ուղիով, որոնց երկարությունները համապատասխան կլինեն l_{ABCD} և l_{AD} : Ընդ որում, որոշիչ նշանակություն ունի ճանապարհների տարբերությունը՝ $L = (l_{ABCD} - l_{AD})$, որը որոշում է համակարգի փուլային շեղումները: Հաղորդվող հզորության “ազդանշանի մուտք – խառնիչ” η_1 և “հետերոդինի մուտք–խառնիչ” η_2 գործակիցները որոշվում են (2) բանաձևով.

$$\eta_1 = \frac{1}{2}(1 - \cos k_0 L), \quad \eta_2 = \frac{1}{2}(1 + \cos k_0 L), \quad (2)$$

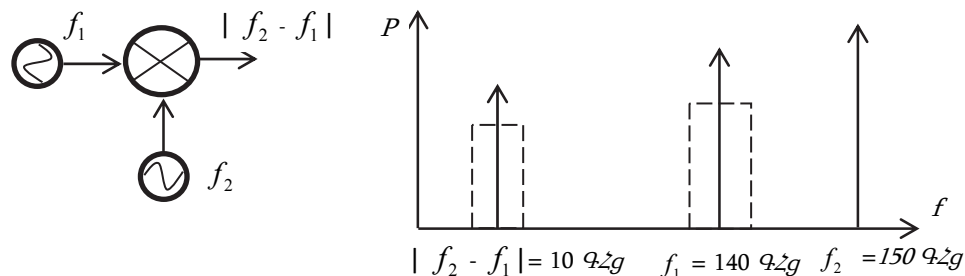
որտեղ $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ալիքային թիվն է: Եթե ճանապարհների տարբերությունը հավասար է միջանկյալ հաճախականության կեսին (կիսալիքային ինտերֆերաչափ), ապա ազդանշանի և հետերոդինի փոխանցման գործակիցները միաժամանակ հասնում են իրենց առավելագույն արժեքներին, իսկ ազդանշանի և հետերոդինի էլքերը կլինեն միմյանցից տարանջատված: Այսպիսի վերադրող սարքի օգտագործումը հանգեցնում է զգալի առավելության սուպերհետերոդինային ընդունիչի կազմում [6]:



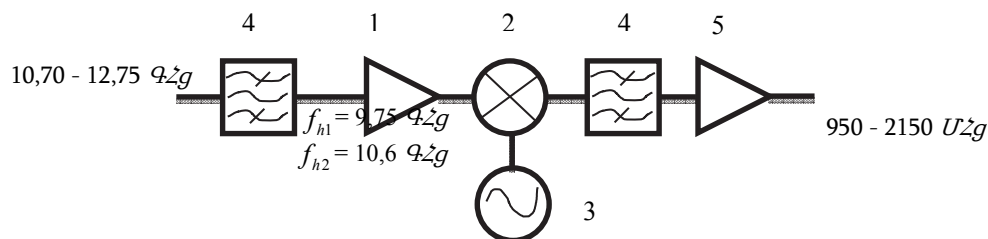
Նկ 3. Խառնիչի սկզբունքային սխեման

Ավելին, կիսաալիքային ինտերֆերաչափը ապահովում է հետերոդինի աղմուկների ճնշումը՝ համեմատած QFZ ընդունիչներում կիրառվող բալանսային սխեմայով խառնիչների [7]: Բայց, ի տարբերություն ավանդական բալանսային սխեմաների, դիտարկվել դեպքում հետերոդինի բարձր կարգի աղմուկները (≤ 10 դԲ) ճնշվում են՝ օգտագործելով միայն մեկ խառնիչային դիոդ [8]: Մինչ ցածր աղմկային արբանյակային ընդունիչին ազդանշանի փոխանցումը՝ անհրաժեշտ է ինտերֆերաչափից դուրս եկող հզորությունը նվազագույն մարումներով ֆոկուսացնել և ուղղել դեպի խառնիչային դիոդը: Ֆոկուսացնող տարրը ներկայացնում է դիէլեկտրիկական սեպ: Աշխատանք [9] -ում հաշվարկված է մետաղ - դիէլեկտրիկական ալիքատարով կազմված դիէլեկտրիկական սեպի բացման անկյունը՝ տվյալ դեպքում բացման անկյունը՝ $\alpha=5,740$, իսկ սեպի երկարությունը՝ $l = a/2 \operatorname{ctg} \alpha=69$ մմ:

Ցածր - աղմկային արբանյակային ընդունիչ: Ընդունիչի մուտքային $f_1 = 140$ ԳՀց հաճախության ազդանշանի և հետերոդինի տատանման $f_2 = 150$ ԳՀց հաճախության դեպքում խառնիչային դիոդ (որը նաև ներկայացնում է դեղեկտոր) ելքում ստացվում է հետերոդինի և ազդանշանի հաճախությունների տարբերության մոդուլը՝ $|f_2 - f_1|$ (նկ. 4), ինչը մոտ է 10 ԳՀց-ին, և այն կարելի է փոխանցել ցանկացած ցածր - աղմկային արբանյակային ընդունիչի, որոնք ավանդաբար ունեն շատ լավ բնութագրեր:



Նկ. 4. Հաճախականության խառնման և սպեկտրի տեղափոխման գործընթացը



Նկ. 5. Ցածր - աղմկային արբանյակային ընդունիչի բլոկ - սխեման

Ցածր - աղմկային արբանյակային ընդունիչը LNB (Low Noise Block) (նկ. 5) ներկայացնում է դասական ԳԲՀ ընդունիչ՝ կազմված ցածր - աղմկային ուժեղարարից՝ 1, հաճախականային խառնիչից՝ 2, հետերոդինից՝ 3, շերտավոր գոծիչներից՝ 4 և միջանկյալ հաճախականությունների (ՄՀ) գոծիչից: Տվյալ դեպքում դիոդից ընդունելով միկրոալիքային ազդանշանը՝ ուժեղացնում է այն և ազդանշանի սպեկտրը իջեցնում է միջանկյալ հաճախականությունների շերտ: Աղյուսակում ներկայացվում են ցածր - աղմկային արբանյակային ընդունիչի տիպային տեխնիկական բնութագրերը:

Աղյուսակ

LNB տեխնիկական բնութագրերը

Աղմուկի գործակից	0,2 դԲ
Ուժեղացման գործակից	60 դԲ
Մուտքային տիրույթ	10,70...12,75 ԳՀց
Ելքային տիրույթ	950...2150 ՄՀց
Հետերոդինի ստորին հաճախականություն, f_{h1}	9,75 ԳՀց
Հետերոդինի վերին հաճախականություն, f_{h2}	10,60 ԳՀց

Կախված ընդունվող ազդանշանի տիրույթից՝ արբանյակային ընդունիչի հաճախականությունն ընդունում է համապատասխանաբար f_{h1} և f_{h2} արժեքները, որոնք բերված են աղյուսակում:

Եզրակացություն: Մետաղ – դիէլեկտրիկական ալիքատարների ցածր կորուստները, աշխատանքային մոդի գծային բնեղավածությունը և մեծ հզորություններ հաղորդելու ունակությունը դիտարկվող դեպքում տերահերցային տիրույթի ընդունիչի համար կարելի է իրականացնել տվյալ տեսակի ուղղորդող համակարգերի միջոցով: Հաճախականությունների խառնումը ինտերֆերաչափական մոտեցմամբ հնարավորություն է տալիս միայն մեկ խառնիչային դիող կիրառել և ստանալ հետերոդինի աղմուկների ճնշման բարձր արժեք, ինչի շնորհիվ ընդունիչի աղմկային բնութագրերը ցածր արժեք են ընդունում: Էներգիայի ֆոկուսացումը նվազագույն մարումներով իրականացվում է դիէլեկտրական սեպի կիրառմամբ: Խառնիչային դիողի էլքում ստացված ազդանշանը հաղորդվում է ցածր – աղմկային արբանյակային ընդունիչին, որն ունի ընդունելի ամկային բնութագրեր՝ 10 ԳՀց հաճախականային շերտում (0,2 դԲ): Հաշվի առնելով վերը շարադրվածը՝ տերահերցային տիրույթի ազդանշանի ընդունման տվյալ մոտեցումը կարելի է համարել բավականին օպտիմալ և լավ տարբերակ:

Հեղինակը շնորհակալություն է հայտնում տ.գ.թ. Մ.Յ. Այվազյանին՝ օգտակար քննարկումների համար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Шаров Г.А.** Волноводные устройства сантиметровых и миллиметровых волн. – М.: Горячая линия – Телеком, 2016. – 639 с.
2. **Айвазян М.Ц., Казанцев Ю.Н., Мартиросян Р.М.** Направляющие системы терагерцового диапазона // Физические основы приборостроения.- 2016. - Том 5, № 1 (18). – С. 28-35.
3. Квазиоптические антенно-фидерные системы / Под ред. **Г.И. Хлопова.** – Харьков: ИПП “Контраст”, 2013. – 408 с.
4. **Розанов Б.А., Розанов С.Б.** Приемники миллиметровых волн. – М.: Радио и связь, 1989. – 168 с.
5. А.с. № 1125675 (СССР). Устройство для возбуждения полого диэлектрического волновода / **М.Ц. Айвазян, Ю.Н. Казанцев.** - Б.И. -1984.- №43.
6. **Яновский М.С., Князьков Б.Н.** Квазиоптические поляризационные интерферометры смесителей приемников миллиметровых и субмиллиметровых волн // Изв. вузов. Радиоэлектроника. – 1977. – Т. 20, № 11. – С. 35-41.
7. **Федосеев Л.И., Куликов Ю.Ю.** Супергетеродинные радиометры миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн // Радиотехника и электроника. – 1971. – Т. 16, № 4. – С. 554-560.
8. **Дрягин Ю.А., Кукин Л.М., Лубяко Л.В.** К вопросу о подавлении шумов гетеродина в супергетеродинных приемниках с высокой промежуточной частотой // Радиотехника и электроника. – 1974. – Т. 19, № 8. – С. 1779-1780.

9. **Айвазян М.Ц., Айвазян Ц.М.** Фокусирующий элемент для электрооптического модулятора субмиллиметрового диапазона волн // Вестн. ГИУА.- 2010.- Т. 2, N 1.- С. 191-194.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 10.02.2017:

А.А. АВETИСЯН

РАЗРАБОТКА ВХОДНОЙ ЧАСТИ ПРИЕМНИКА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА

Рассмотрены вопросы приема сигналов в терагерцовой частотной области и предлагается концептуальное решение. Показана целесообразность применения металлодиэлектрического волновода в терагерцовом диапазоне в качестве направляющей системы. Предлагается применение интерферометра Маха-Цендера в качестве смесителя супергетеродинного приемника в терагерцовом диапазоне. Рассмотрены вопросы концентрации энергии на смесительный диод с использованием диэлектрического клина и передачи сигнала на малошумящий спутниковый конвертер. Полученные результаты позволяют создавать высокочувствительные приемники терагерцового диапазона.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон, интерферометр Маха-Цендера, диэлектрический клин, малошумящий спутниковый конвертер.

H.A. AVETISYAN

DEVELOPING THE INPUT PART OF A RECEIVER IN THE TERAHERTZ RANGE ON THE BASIS OF A METAL - DIELECTRIC WAVEGUIDE

The terahertz frequency domain signal reception issues are considered, and a conceptual solution is proposed. The expediency of using metal - dielectric waveguides as guidance systems is shown. It is proposed to use a Mach - Zehnder interferometer as a mixer of a super heterodyne receiver in the terahertz range. Issues on the concentration of energy in the mixer diode, using the dielectric wedge and a low-noise signal transmission to the low-noise satellite converter are considered. The obtained results allow to create highly sensitive receivers of the terahertz range.

Keywords: terahertz range, interferometer Mach – Zehnder, a dielectric wedge, satellite low noise converter.

С.О. СИМОНЯН, А.А. АЙВАЗЯН

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ
ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ
ТИПА РИККАТИ**

Рассмотрены алгебраические однопараметрические матричные уравнения типа Риккати, для решения которых предложены аналитический и численно-аналитический методы решения. Несмотря на то, что аналитический метод сильно ограничен в практических приложениях, однако он служит основой для разработки численно-аналитического метода, базирующегося на кронекеровых произведениях матриц и дифференциальных преобразованиях. Для обоих методов получены соответствующие условия разрешимости задачи. Приведен модельный пример, показывающий вычислительную эффективность численно-аналитического метода.

Ключевые слова: алгебраические однопараметрические матричные уравнения типа Риккати, аналитический и численно-аналитический методы решения, кронекеровы произведения матриц, дифференциальные преобразования, условия разрешимости задачи, модельный пример, современные средства информационных технологий.

Введение. Решению алгебраических и дифференциальных матричных уравнений типа Риккати посвящено множество различных работ, в частности [1-6]. В числе этих уравнений особое место занимают алгебраические однопараметрические матричные уравнения типа Риккати и методы их решения. Эти уравнения являются нелинейными матричными уравнениями второго порядка. Нелинейными матричными уравнениями второго порядка являются также алгебраические однопараметрические квадратные и обобщенные квадратные матричные уравнения, методам решения которых посвящены, в частности, работы [7-10], основанные на кронекеровых произведениях матриц [11] и символическом аппарате так называемых дифференциальных преобразований [12-14]. В настоящей работе рассматриваются алгебраические однопараметрические матричные уравнения типа Риккати и методы их решения – аналитический и численно-аналитический. Последний также основан на кронекеровых произведениях матриц и дифференциальных преобразованиях.

Математический аппарат. Рассмотрим алгебраическое однопараметрическое матричное уравнение типа Риккати

$$X(t) \cdot D(t) \cdot X(t) + A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) = C(t) \quad (1)$$

с функциональными матрицами $D(t), A(t), B(t), C(t)$ одного и того же порядка m и неизвестной функциональной матрицей $X(t)$ также порядка m , подлежащей определению.

Редукция и аналитическое решение. Введем понятие параметра $\alpha = [0,1]$, управляющего вычислительным процессом, и представим матричное уравнение (1) в виде полностью идентичного к нему матричного уравнения

$$\alpha \cdot X(t) \cdot D(t) \cdot X(t) + (1 - \alpha) \cdot X(t) \cdot D(t) \cdot X(t) + A(t) \cdot X(t) + X(t) \cdot B(t) = C(t). \quad (2)$$

Сгруппируем первое и третье, а также второе и четвертое слагаемые в левой части этого уравнения. При этом получим следующее редуцированное однопараметрическое матричное (формально-подобное) уравнение типа Сильвестра:

$$[\alpha \cdot X(t) \cdot D(t) + A(t)] \cdot X(t) + X(t) \cdot [(1 - \alpha) \cdot D(t) \cdot X(t) + B(t)] = C(t). \quad (3)$$

Далее, используя аппарат кронекеровых произведений матриц [11], представим матричное уравнение (3) в виде

$$\left[[\alpha \cdot X(t) \cdot D(t) + A(t)] \otimes E^T \right] + \left[E \otimes [(1-\alpha) \cdot D(t) \cdot X(t) + B(t)]^T \right]_{m_2^2 \times m_2^2} \cdot \hat{X}(t)_{m_2^2 \times 1} = \hat{C}(t)_{m_2^2 \times 1}, \quad (4)$$

где E, E^T - единичные матрицы порядка m , а гипервекторы

$$\hat{X}(t) = (x_{11}(t), \dots, x_{1m}(t); \dots; x_{m1}(t), \dots, x_{mm}(t))^T, \quad (5)$$

$$\hat{C}(t) = (c_{11}(t), \dots, c_{1m}(t); \dots; c_{m1}(t), \dots, c_{mm}(t))^T \quad (6)$$

с размерами $m^2 \times 1$ состоят из строк неизвестной матрицы

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_{11}(t), & \cdots, & x_{1m}(t) \\ x_{21}(t), & \cdots, & x_{2m}(t) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}(t), & \cdots, & x_{mm}(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

и свободной правой части (3)- матрицы

(8)

Гиперматрично-гипервекторное матричное уравнение (4) представим также в компактной записи

(9)

т.е. условия разрешимости задачи (1):

(10)

(11)

Итерационная вычислительная схема (11) представляет, скорее всего, теоретический интерес и малоприспособлена с практической точки зрения (она может быть реализована при малых размерах матриц $D(t), A(t), B(t), C(t)$ и их простых элементах). В общем случае она практически малоэффективна, в связи с чем перейдем к численно-аналитическому решению задачи, используя при этом представление (9) и соответствующие спектральные соотношения, получаемые на основе дифференциальных преобразований.

Численно-аналитическое решение. Теперь допустим, что все матрицы, входящие в (1), обладают достаточной степенью гладкости по параметру t , при котором имеют место следующие дифференциальные преобразования:

(12)

(13)

(14)

$$C(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{dC^k(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad C(t) = \chi_3(t, t_v, H, C(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (15)$$

$$X(K) = \frac{H^k}{K!} \cdot \frac{dX^k(t)}{dt^k} \Big|_{t=t_v}, \quad K = \overline{0, \infty} \quad \text{---} \quad X(t) = \chi_4(t, t_v, H, X(K), K = \overline{0, \infty}), \quad (16)$$

где $D(K), A(K), B(K), C(K)$ и $X(K)$ - матричные дискреты порядка m , соответствующие матричным оригиналам $D(t), A(t), B(t), C(t)$ и $X(t)$.

С учетом правил матричной алгебры дифференциальных преобразований [13] и матричных дискретов (12)-(16) алгебраическое однопараметрическое матричное уравнение типа Риккати (1) из области оригиналов переведем в область дифференциальных изображений. Получим следующую матричную спектральную модель:

$$\sum_{l=0}^K X(K-l) \sum_{m=0}^l D(m) X(l-m) + \sum_{l=0}^K A(l) X(K-l) + \sum_{l=0}^K X(K-l) B(l) = C(K), \quad (17)$$

откуда

при $K=0$:

$$X(0) \cdot D(0) \cdot X(0) + A(0) \cdot X(0) + X(0) \cdot B(0) = C(0). \quad (18)$$

С учетом введенного выше понятия параметра $\alpha = [0, 1]$, управляющего вычислительным процессом, соотношение (18) представим в виде

$$\alpha \cdot X(0) \cdot D(0) \cdot X(0) + (1-\alpha) \cdot X(0) \cdot D(0) \cdot X(0) + A(0) \cdot X(0) + X(0) \cdot B(0) = C(0), \quad (19)$$

откуда

$$\text{ч} [\alpha \cdot X(0) \cdot D(0) + A(0)] \cdot X(0) + X(0) \cdot [(1-\alpha) \cdot D(0) \cdot X(0) + B(0)] = C(0). \quad (20)$$

Последнее (формально-подобное) матричное уравнение типа Сильвестра в соответствии с представлением (4) примет вид

$$\left\{ [\alpha \cdot X(0) \cdot D(0) + A(0)] \otimes E^T \right\} + \left\{ E \otimes [(1-\alpha) \cdot D(0) \cdot X(0) + B(0)] \right\} \Big|_{m^2 \times m^2} \cdot \hat{X}(0)_{m^2 \times 1} = \hat{C}(0)_{m^2 \times 1}, \quad (21)$$

откуда в компактной записи

$$D(\alpha, X(0)) \cdot \hat{X}(0) = \hat{C}(0). \quad (22)$$

Следовательно, при выполнении условия полноранговости кронекеровой гиперматрицы $D(\alpha, X(0))$, т.е. условия

$$\text{rang} D(\alpha, X(0)) = m^2, \quad (23)$$

получим, что гипервектор

$$\hat{X}_{(q+1)}(0) = (x_{11}(0), \dots, x_{1m}(0); \dots; x_{m1}(0), \dots, x_{mm}(0))^T = D^{-1}(\alpha, X(0))_{(q)} \cdot \hat{C}(0), \quad (24)$$

а нулевой матричный дискрет решения $X(t)$:

$$X(0) = \begin{bmatrix} x_{11}(0), & \dots & , x_{1m}(0) \\ x_{21}(0), & \dots & , x_{2m}(0) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1}(0), & \dots & , x_{mm}(0) \end{bmatrix}. \quad (25)$$

Реализация итерационной схемы (24) при некотором фиксированном значении параметра α приводит к соответствующему приближению нулевого матричного дискрета (25).

Продолжим вычисления. В соответствии с (17) имеем:

при $K=I$:

$$\begin{aligned} & X(1) \cdot D(0) \cdot X(0) + X(0) \cdot D(1) \cdot X(0) + X(0) \cdot D(0) \cdot X(1) + \\ & + A(1) \cdot X(0) + A(0) \cdot X(1) + X(1) \cdot B(0) + X(0) \cdot B(1) = C(1), \end{aligned} \quad (26)$$

откуда

$$\begin{aligned} & [X(0) \cdot D(0) + A(0)] \cdot X(1) + X(1) \cdot [D(0) \cdot X(0) + B(0)] = \\ & = C(1) - X(0) \cdot D(1) \cdot X(0) - A(1) \cdot X(0) - X(0) \cdot B(1) = D_1(X(0)) \end{aligned} \quad (27)$$

или

$$\begin{aligned} & \left\{ \left[[X(0) \cdot D(0) + A(0)] \otimes E^T \right] + \left[E \otimes [D(0) \cdot X(0) + B(0)]^T \right] \right\}_{m^2 \times m^2} \times \\ & \times \hat{X}(1)_{m^2 \times 1} = D(X(0)) \cdot \hat{X}(1) = \hat{D}_1(X(0))_{m^2 \times 1}. \end{aligned} \quad (28)$$

Следовательно, при полноранговости кронекеровой гиперматрицы $D(X(0))$, т.е. при выполнении условия

$$\text{rang} D(X(0)) = m^2, \quad (29)$$

получим, что гипервектор

$$\hat{X}(1) = (x_{11}(1), \dots, x_{1m}(1); \dots; x_{m1}(1), \dots, x_{mm}(1))^T = D^{-1}(X(0)) \cdot \hat{D}_1(X(0)), \quad (30)$$

а первый матричный дискрет решения $X(t)$:

$$X(1) = \begin{bmatrix} x_{11}(1), & \cdots, & x_{1m}(1) \\ x_{21}(1), & \cdots, & x_{2m}(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}(1), & \cdots, & x_{mm}(1) \end{bmatrix}; \quad (31)$$

при $K=2$:

$$\begin{aligned}
& X(2) \cdot D(0) \cdot X(0) + X(0) \cdot D(2) \cdot X(0) + X(0) \cdot D(0) \cdot X(2) + \\
& + X(1) \cdot D(1) \cdot X(0) + X(1) \cdot D(0) \cdot X(1) + X(0) \cdot D(1) \cdot X(1) + \\
& + A(2) \cdot X(0) + A(1) \cdot X(1) + A(0) \cdot X(2) + \\
& + X(2) \cdot B(0) + X(1) \cdot B(1) + X(0) \cdot B(2) = C(2),
\end{aligned} \tag{32}$$

откуда

$$\begin{aligned}
& [X(0) \cdot D(0) + A(0)] \cdot X(2) + X(2) \cdot [D(0) \cdot X(0) + B(0)] = \\
& = C(2) - X(0) \cdot D(2) \cdot X(0) - X(1) \cdot D(1) \cdot X(0) - X(1) \cdot D(0) \cdot X(1) - \\
& - X(0) \cdot D(1) \cdot X(1) - A(2) \cdot X(0) - A(1) \cdot X(1) - X(1) \cdot B(1) - X(0) \cdot B(2) = D_2(X(0), X(1))
\end{aligned} \tag{33}$$

ИЛИ

$$\begin{aligned} & \left\{ \left[X(0) \cdot D(0) + A(0) \right] \otimes E^T \right\} + \left\{ E \otimes \left[D(0) \cdot X(0) + B(0) \right]^T \right\} \Big|_{m^2 \times m^2} \cdot \hat{X}(2)_{m^2 \times 1} = \\ & = D(X(0)) \cdot \hat{X}(2) = \hat{D}_2(X(0), X(1))_{m^2 \times 1}. \end{aligned} \quad (34)$$

Следовательно, при выполнении условия (29) получим, что гипервектор

$$\hat{X}(2) = (x_{1_l}(2), \dots, x_{1_m}(2); \dots; x_{m_l}(2), \dots, x_{m_m}(2))^T = D^{-1}(X(0)) \cdot \hat{D}_2(X(0), X(1)), \quad (35)$$

а второй матричный дискрет решения $X(t)$:

$$X(2) = \begin{bmatrix} x_{11}(2), & \cdots & x_{1m}(2) \\ x_{21}(2), & \cdots & x_{2m}(2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1}(2), & \cdots & x_{mm}(2) \end{bmatrix}, \quad (36)$$

•

•

•

при $K=K$:

$$\begin{aligned}
& [X(0) \cdot D(0) + A(0)] \cdot X(K) + X(K) \cdot [D(0) \cdot X(0) + B(0)] = \\
& = C(K) - \sum_{l=1}^K X(K-l) \sum_{p=1}^l D(p) X(l-p) - \sum_{l=1}^K A(l) \cdot X(K-l) - \sum_{l=1}^K X(l) \cdot B(K-l) = (37) \\
& = D_K(X(0), X(1), \dots, X(K-1))
\end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned}
& \left\{ [X(0) \cdot D(0) + A(0)] \otimes E^T + [E \otimes [D(0) \cdot X(0) + B(0)]^T] \right\}_{m^2 \times m^2} \cdot \hat{X}(K)_{m^2 \times 1} = \\
& = D(X(0)) \cdot \hat{X}(K) = \hat{D}_K(X(0), X(1), \dots, X(K-1))_{m^2 \times 1}. \quad (38)
\end{aligned}$$

Следовательно, при выполнении условия (29) получим, что гипервектор

$$\begin{aligned}
& \hat{X}(K) = (x_{11}(K), \dots, x_{1m}(K); \dots; x_{m1}(K), \dots, x_{mm}(K))^T = \\
& = D^{-1}(X(0)) \cdot \hat{D}_K(X(0), X(1), \dots, X(K-1)), \quad (39)
\end{aligned}$$

а K -й матричный дискрет решения $X(t)$:

$$X(K) = \begin{bmatrix} x_{11}(K), & \dots & x_{1m}(K) \\ x_{21}(K), & \dots & x_{2m}(K) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{m1}(K), & \dots & x_{mm}(K) \end{bmatrix}. \quad (40)$$

Таким образом, имея матричные дискреты (25), (31), (36), ..., (40), в соответствии с (16) можно восстанавливать решение $X(t)$.

Замечание 1. Соотношения регулярности (23) и (29) являются условиями разрешимости задачи (1).

Замечание 2. При использовании вычислительной схемы (24) по определению матричных дискретов $X(0)$, очевидно, оперируем нелинейным соотношением, ввиду чего оно может иметь несколько решений (см. [7-10]). При использовании же рекуррентных вычислительных схем (27), (33), ..., (37) типа Сильвестра по определению матричных дискретов $X(1), X(2), \dots, X(K)$ оперируем линейными соотношениями ввиду расщепляемости и линейности этих матричных дискретов. Таким образом, при нахождении решений $X(t)$ основные вычислительные затруднения по решению задачи обычно связываются с определением нулевых матричных дискретов $X(0)$ в соответствии со схемой (24).

Модельный пример. Пусть задано однопараметрическое матричное уравнение типа Риккати

$$X(t) \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & j \end{bmatrix} \cdot X(t) + \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ jt & t \end{bmatrix} \cdot X(t) + X(t) \cdot \begin{bmatrix} 1 & (1+j) \\ -t & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (-2jt+t^2) & (1+jt) \\ j \cdot t & (-t-t^2+jt^2) \end{bmatrix},$$

и необходимо найти хотя бы одно его решение $X(t)$.

Легко убедиться, что при $t_v = 1, H = 1$ имеем

$$A(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ j & 1 \end{bmatrix}; A(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ j & 1 \end{bmatrix}; A(K) = [0], K \geq 2;$$

$$B(0) = \begin{bmatrix} 1 & (1+j) \\ -1 & 0 \end{bmatrix}; B(1) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}; B(K) = [0], K \geq 2;$$

$$D(0) = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & j \end{bmatrix}; D(K) = [0], K \geq 1;$$

$$C(0) = \begin{bmatrix} (1-2j) & (1+j) \\ j & (-2+j) \end{bmatrix}; C(1) = \begin{bmatrix} (2-2j) & j \\ j & (-3+2j) \end{bmatrix};$$

$$C(2) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & (-1+j) \end{bmatrix}; C(K) = [0], K \geq 3;$$

$$D(\alpha, X(0)) = \begin{bmatrix} (1+X_{11}(0)) & (-1+(1-\alpha) \cdot X_{21}(0) \cdot j) & (1+\alpha \cdot X_{13}(0) \cdot j) & 0 \\ (1-(1-\alpha) \cdot X_{12}(0)+j) & (-\alpha \cdot X_{11}(0)+(1-\alpha) \cdot X_{23}(0) \cdot j) & 0 & (1+\alpha \cdot X_{12}(0) \cdot j) \\ (-\alpha \cdot X_{21}(0)+j) & 0 & (2-(1-\alpha) \cdot X_{11}(0)+\alpha \cdot X_{22}(0) \cdot j) & (-1+(1-\alpha) \cdot X_{21}(0) \cdot j) \\ 0 & (-\alpha \cdot X_{21}(0)+j) & (1-(1-\alpha) \cdot X_{12}(0)+j) & (1+X_{22}(0) \cdot j) \end{bmatrix};$$

$$D(0.75, X(0)) = \begin{bmatrix} (1-X_{11}(0)) & (\frac{X_{21}(0) \cdot j}{4} - 1) & (\frac{3 \cdot X_{12}(0) \cdot j}{4} + 1) & 0 \\ (1 - \frac{X_{12}(0)}{4} + j) & (-\frac{3 \cdot X_{11}(0)}{4} + \frac{X_{22}(0) \cdot j}{4}) & 0 & (\frac{3 \cdot X_{12}(0) \cdot j}{4} + 1) \\ (-\frac{3 \cdot X_{21}(0)}{4} + j) & 0 & (2 + \frac{3 \cdot X_{22}(0) \cdot j}{4} - \frac{X_{11}(0)}{4}) & (\frac{X_{21}(0) \cdot j}{4} - 1) \\ (0) & (-\frac{3 \cdot X_{21}(0)}{4} + j) & (1 - \frac{X_{12}(0)}{4} + j) & (X_{22}(0) \cdot j + 1) \end{bmatrix}$$

(ввиду громоздкости матриц $D^{-1}(\alpha, X(0))$ и $D^{-1}(0.75, X(0))$ здесь они не приводятся);

$$D_1(X(0)) = \left[\begin{array}{c|c} \frac{(X_{12} \cdot (0) + \alpha - 2 \cdot j)}{(X_{22}(0) - X_{21}(0) - X_{11}(0) \cdot j + j)} & j \\ \hline & (-X_{12}(0) \cdot j - X_{22}(0) - 3 + 2 \cdot j) \end{array} \right];$$

$$D_2(X(0), X(1)) = \left[\begin{array}{c|c} \frac{(X_{11}^2 + X_{12}(1) - X_{12}(0) \cdot X_{21}(0) \cdot j + 1)}{(X_{22}(1) - X_{21}(0) - X_{11}(0) \cdot j + X_{11}(0) \cdot X_{21}(0) - X_{21}(0) \cdot X_{22}(0) \cdot j)} & \frac{(X_{11}(0) \cdot X_{12}(0) - X_{12}(0) \cdot X_{22}(0) \cdot j)}{(-X_{22}(0) \cdot j - X_{22}(0) - X_{12}(0) \cdot j + X_{12}(0) \cdot X_{21}(0) + (j-1))} \\ \hline & \end{array} \right].$$

Результаты использования вычислительной схемы (24) по определению одного матричного дискрета $X(0)$ с точностью до $\varepsilon = 10^{-3}$ при начальном приближении

$$X_0(0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

и различных значениях управляющего параметра α приведены в табл. 1, а в табл. 2 представлена динамика вычислительных процессов по определению этого $X(0)$ при значении $\alpha = 0,75$.

Таблица 1

Результаты вычислений при различных значениях параметра α

α	q	$X_q(0)$
-	0	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
0	80	$\begin{bmatrix} (1,0005 + 1,0008 \cdot j) & (-0,0006 + 1,0005 \cdot j) \\ (0,0004 + 0,0005 \cdot j) & (-1,0003 + 0,0002 \cdot j) \end{bmatrix}$
0,25	60	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 1,0000 \cdot j) & (-0,0000 + 1,0000 \cdot j) \\ (-0,0000 + 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 - 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$
0,5	34	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 1,0000 \cdot j) & (0,0000 + 1,0000 \cdot j) \\ (0,0000 - 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 + 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$
0,75	30	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 0,9999 \cdot j) & (0,0001 + 1,0000 \cdot j) \\ (-0,0000 - 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 - 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$
1	30	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 0,9999 \cdot j) & (0,0001 + 1,0000 \cdot j) \\ (-0,0000 - 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 - 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$

Таблица 2

Итерационная последовательность вычислительных процессов ($\alpha = 0,75$)

q	$X_q(0)$
0	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$
5	$\begin{bmatrix} (1,0005 + 1,0008 \cdot j) & (-0,0006 + 1,0005 \cdot j) \\ (0,0004 + 0,0005 \cdot j) & (-1,0003 + 0,0002 \cdot j) \end{bmatrix}$
10	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 1,0000 \cdot j) & (-0,0000 + 1,0000 \cdot j) \\ (-0,0000 + 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 - 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$
15	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 1,0000 \cdot j) & (0,0000 + 1,0000 \cdot j) \\ (0,0000 - 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 + 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$
20	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 0,9999 \cdot j) & (-0,0006 + 1,0005 \cdot j) \\ (-0,0000 - 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 - 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$
30	$\begin{bmatrix} (1,0000 + 0,9999 \cdot j) & (0,0001 + 1,0000 \cdot j) \\ (-0,0000 - 0,0000 \cdot j) & (-1,0000 - 0,0000 \cdot j) \end{bmatrix}$

В табл. 3 приведены количества итераций по определению этого матричного дискрета $X(0)$ с точностью до $\varepsilon = 10^{-3}$ при 19 различных значениях управляющего параметра α , а на рисунке – соответствующий график $q(\alpha)$. Очевидно, эта кривая имеет выраженный минимум в пределах $\alpha = (0,75; 0,76)$.

Таблица 3

Количество итераций q в зависимости
от параметра α

α	q	α	q	α	q
0	84	0,39	42	0,79	22
0,03	82	0,42	40	0,85	25
0,125	69	0,5	34	0,875	26
0,17	66	0,66	24	0,92	28
0,25	55	0,75	21	0,96	28
0,28	53	0,76	21	1	31

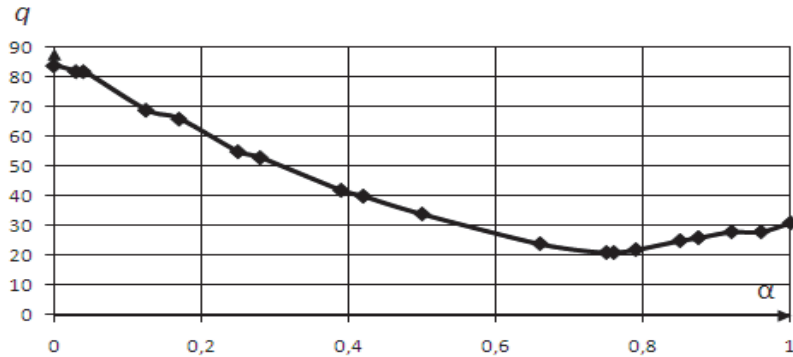


Рис. Зависимость количества итераций q от параметра α

Результаты вычислений матричных дискретов $X(1), X(2), \dots, X(K)$ с применением вычислительных схем (30), (35), ..., (39) приведены ниже:

$$X(1) = \begin{bmatrix} j & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, X(K) = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \forall K \geq 2.$$

Следовательно, одним тейлоровским решением задачи будет

$$\begin{aligned} X(t) &= X(0) + X(1) \cdot (t-1) = \\ &= \begin{bmatrix} (1+j) & j \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} j & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot (t-1) = \begin{bmatrix} (1+jt) & j \\ 0 & -t \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

в абсолютной точности которого нетрудно убедиться подстановкой его в исходное матричное уравнение.

Замечание 3. Управляющий вычислительным процессом параметр α по определению матричных дискретов $X(0)$ в соответствии с (24) дает возможность перераспределять вычислительную нагрузку, обусловленную первым слагаемым в (1) между вторым и третьим слагаемыми. При этом, в зависимости от значений этого параметра, получаются итерационные процедуры с различным количеством итераций. Здесь, конечно, представляют наибольший интерес процедуры с минимальным количеством итераций, несмотря на то, что при этом важную роль играют также многие другие факторы, к сожалению, обычно не поддающиеся всестороннему анализу.

Замечание 4. Если на каком-то K -ом шаге рекуррентных процедур (24), (30), (35) и (39) правая часть $\hat{D}_K(X(0), X(1), \dots, X(K-1)) \equiv 0$, то восстановленное в соответствии с (16) соотношение $X(t)$ является точным аналитическим решением задачи (1).

Заключение. Таким образом, при численно-аналитическом методе решение алгебраических однопараметрических матричных уравнений типа Риккати на основе применения аппаратов кронекеровых произведений матриц и дифференциальных преобразований сводится к выполнению рекуррентных численных процедур по определению матричных дискретов решений задач. При этом условиями разрешимости задач является совместное выполнение условий регулярности - условий полноранговости матриц $D(\alpha, X(0))_{(q)}, \forall q$ и $D(X(0))$. Восстановление непрерывных решений $X(t)$ исходной задачи не представляет особой трудности.

Очевидно, что численно-аналитический метод решения задачи легко реализуем средствами современных информационных технологий [15].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Helmke U., Moore J.B.** Optimization and Dynamical Systems.- London: Springer-Verlag, 1994.- 389 p.
2. **Lancaster P., Rodman L.** Algebraic Riccati Equations.- Oxford: Clarendon Press, 1995.- 480 p.
3. **Афанасьев В.Х., Колмановский В.Б., Носов В.Р.** Математическая теория конструирования систем управления.- М.: Высшая школа, 1998.- 574 с.
4. **Hwang T.-M., Chu E.K.-W., Lin W.-W.** A generalized structure-preserving doubling algorithm for generalized discrete-time algebraic Riccati equations // International Journal of Control.- 2005.- 78(14).- P. 1063-1075.
5. **Lin W.-W., Shu-Fang X.** Convergence Analysis of Structure-Preserving Doubling Algorithms for Riccati-Type Matrix Equations // SIAM J. Matrix Anal. Appl.- 2006.- 28(1).- P. 26-40.
6. **Adam M., Assimakis N.** Matrix equations solutions using Riccati Equation.- Lambert, Academic Publishing, 2012.- 92 p.
7. **Симонян С.О.** К решению однопараметрических квадратных матричных уравнений // Вестник ИАА.- 2016.- Т.13, № 4.- С. 462-470.
8. **Симонян С.О.** Методы решения однопараметрических обобщенных квадратных матричных уравнений // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2016.- № 2.- С. 12-23.
9. **Симонян С.О.** Гиперматрично-блочный численно-аналитический метод решения однопараметрических квадратных матричных уравнений // Известия НАН РА и НПУА. Серия ТН.- 2016.- Т.LXIX, № 4.- С.422-430.
10. **Симонян С.О.** Декомпозиционные гиперматрично-блочные численно-аналитические методы решения однопараметрических квадратных матричных уравнений // Известия НАН РА и НПУА. Серия ТН.- 2017.-Т.LXX, № 1.- С. 95-109.
11. **Пухов Г.Е.** Дифференциальные преобразования функций и уравнений. – Киев: Наукова думка, 1984. – 420 с.

12. **Симонян С.О., Аветисян А.Г.** Прикладная теория дифференциальных преобразований.- Ереван: Изд-во НПУА “Чартарагет”, 2010.- 361 с.
13. **Симонян С.О., Меликян А.В.** Алгебра матричных вычислений в области дифференциальных преобразований // Вестник ИАА.- 2017.- Т. 14, № 2.- С. 268 - 275.
14. **Гантмахер Ф.Р.** Теория матриц. – М.: Наука, 2010. - 560 с.
15. **Moore H.** MATLAB for Engineers. 5th edition.- London: Pearson, 2017.- 688 p.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 25.04.2017.

Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՅՎԱԶՅԱՆ

ՌԻԿԱՏԻ ՏԻՊԻ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱԿԱՆ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ

Դիտարկվել են Ռիկկատիի տիպի հանրահաշվական միապարամետրական մատրիցային հավասարումները, որոնց լուծման համար առաջարկվել են անալիտիկ և թվա-անալիտիկ մեթոդներ: Չնայած այն բանին, որ անալիտիկ մեթոդը խիստ սահմանափակ է գործնական կիրառություններում, այդուհանդերձ, այն հիմք է ծառայում թվա-անալիտիկ մեթոդի համար, որը հիմնված է մատրիցների կրոնեկերյան արտադրյալների և դիֆերենցիալ ձևափոխությունների վրա: Երկու մեթոդների համար էլ ստացվել են խնդրի լուծելիության համապատասխան պայմանները: Բերված է մոդելային օրինակ, որը ցույց է տալիս թվա-անալիտիկ մեթոդի հաշվողական արդյունավետությունը:

Առանցքային բառեր. Ռիկկատիի տիպի հանրահաշվական միապարամետրական մատրիցային հավասարումներ, լուծման անալիտիկ և թվա-անալիտիկ մեթոդներ, մատրիցների կրոնեկերյան արտադրյալներ, դիֆերենցիալ ձևափոխություններ, խնդրի լուծելիության պայմաններ, մոդելային օրինակ, տեղեկատվական տեխնոլոգիաների ժամանակակից միջոցներ:

S.H. SIMONYAN, A.A. AYVAZYAN

METHODS FOR SOLVING ALGEBRAIC RICCATI-TYPE ONE- PARAMETRIC MATRIX EQUATIONS

Algebraic one-parametric Riccati-type matrix equations are considered for whose solution analytical and numerical-analytical solving methods are proposed. Despite the fact that the analytical method is strongly limited in applications, it serves as a basis for the numerical-analytical method development, which is based on the kroneker product of matrices and differential transformations. For both of the methods, corresponding conditions of solvability of the problem are obtained. A model example is presented, which shows the effectiveness of commutations for the numerical-analytical method.

Keywords: algebraic one-parametric Riccati-type matrix equations, analytical and numerical-analytical solving methods, kroneker product of matrices, differential transformations, solvability conditions of the problem, model example, modern means of information technologies.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՆԱՆՑԱՆ Վ.Ա.

Խոլոգրաֆիկական և քիմիական անալիզների մեթոդները և լաբորատորիաները
 ՄԱԳԻՍՏՐԱՏԻ ՄԱՍԻՆԻՍՏՐԱՏԻ ՄԱՍԻՆԻՍՏՐԱՏԻ ԴԱՇՏՈՎ..... 143

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՎԱՍԻԼՅԱՆ Գ.Ա., ՍԱՐԳՍՅԱՆ Ա.Ռ.

$Cu+1,0\%Cr+0,8\%Zr+10\%Cu$ ԲԱՂԱԴՐՈՒԹՅԱՄԲ ՓՈՇԵԿՈՄՊՈԶԻՏԱՅԻՆ ՆՅՈՒԹԻ
 ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ԿԵՄԻԱԿԱՆ ՀԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒՄԸ 151

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Մ.Վ., ԱՌՍՏԱՍՅԱՆ Ժ.Ս.

ՇԱՀՈՒՍՅԱՆԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՈՍԿԻԲԱԶՄԱՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՔԱՐԻ
 ՕԳՏԱԳՈՐԾՄԱՆ ՀԵՌԱՆԿԱՐԱՅՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹԵՐԻ
 ՍՏԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱՐ 161

ՄԱՐՈՒԽՅԱՆ Ո.Զ., ԷԼԲԱՅՅԱՆ Ս.Հ.

ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱԿԱՆ ՆՅՈՒԹՆԵՐԻ ՏՆՏԵՍԱԿԱՆ ԱՐԴՅՈՒՆԱՎԵՏՈՒԹՅԱՆ
 ՑՈՒՑԱՆԻՇՆԵՐԻ ՎՐԱ ԱԾԽԱԾՆԻ ԵՐԿՕՔՍԻԴԻ ԿԱՊԱԿՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻՆ
 ԱԶԴԵՑՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ 170

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Լ.Ս., ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ռ.Գ.

ԳԱԶԱՏՈՒՐԲԻՆԱՅԻՆ ՏԵՂԱԿԱՅԱՆՔ ՄԱՏՈՒՑՎՈՂ ՕԴԻ՝ ՍԱՌՆԱՐԱՆԱՅԻՆ
 ՄԵՔԵՆԱՅՈՎ ՀՈՎԱՅՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՀԱՇՎԱՐԿԱՅԻՆ
 ՕՊԵՐԱԿԱՆ ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ԸՆՏՐՈՒԹՅՈՒՆԸ 178

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Թ., ՄԻՆԱՍՅԱՆ Գ.Մ., ՄԵԼՔՈՆՅԱՆ Տ.Ռ., ԵՆՈՔՅԱՆ Կ.Ռ.,

ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Ա.

ՀԱՐԹ ՎԵՐԱՄԲԱՐՁ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱԿԱՆ ՍԻՍՏԵՄԱՅՎԱԾ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ
 ՀԱՄԱԿԱՐԳ 188

ՄԱՆԱՍՅԱՆ Ե.Ա.

ԲԺՇԿԱԿԱՆ ՈՐՈՇՈՒՄՆԵՐԻ ԿԱՅԱՑՄԱՆ ԱԶԱԿՑՄԱՆ ՑԱՆՑԱՅԻՆ
 ԱՎՏՈՄԱՏԱՅՎԱԾ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 197

ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ Գ.Տ., ՍԱՂԱԹԵԼՅԱՆ Ա.Կ.

FPGA-Ի ՄԻՋՈՑՈՎ ՄՈՂՈՒԼՅԱՐ ԲԱԶՄԱՊԱՏԿԻՉՆԵՐԻ ՄԻՆԹԵԶՄԱՆ
 ԱՐԴՅՈՒՆՔՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ ԵՎ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ 207

ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ Լ.Ա.

ՆԱՆՈՉԱՓԱՅԻՆ RTL ԿՈՄՊԻԼՅԱՏՈՐՆԵՐԻ ՈՐԱԿԱԿԱՆ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ
 ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ՄԵԹՈԴ..... 218

ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ Հ.Ա.

ՄԵՏԱՂ – ԴԻԷԼԵԿՏՐՈՆԱԿԱՆ ԱԼԻՔՏԱՐՆԵՐԻ ՀԻՄԱՆ ՎՐԱ ՏԵՐԱՀԵՐՑԱՅԻՆ
 ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԸՆԴՈՒՆԻՉԻ ՍՈՒՏՔԱՅԻՆ ՄԱՍԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ 227

ՄԻՍՈՆՅԱՆ Ս.Հ., ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Ա.

ՌԻԿԱՏԻ ՏԻՊԻ ՀԱՆՐԱՀԱՇՎԱԿԱՆ ՄԻԱՊԱՐԱՄԵՏՐԱԿԱՆ ՄԱՏՐԻՑԱՅԻՆ
 ՀԱՎԱՍԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԼՈՒԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐ 235

СОДЕРЖАНИЕ

АНАНИЯ В.А.	
РАЗДАЧА ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЧАТОЙ ЗАГОТОВКИ ДАВЛЕНИЕМ ИМПУЛЬСНО-МАГНИТНОГО ПОЛЯ.....	143
АГБАЛЯН С.Г., ВАСИЛЯН Г.А., САРКИСЯН А.Р.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СОСТАВА $Cu+1,0\%Cr+0,8\%Zr+10\%Cu_B$	151
МАРТИРОСЯН М.В., АРСТАМЯН Ж.М.	
ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОТОПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РУДЫ ШАУМЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ	161
МАРУХЯН В.З., ЭЛБАКЯН С.Г.	
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА СВЯЗЫВАНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ	170
ОГАНЕСЯН Л.С., ХАЧАТРЯН Р.Г.	
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ ХОЛОДИЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХА, ПОСТУПАЮЩЕГО В ГАЗОТУРБИННУЮ УСТАНОВКУ	178
ОГАНЕСЯН А.Т., МИНАСЯН Г.М., МЕЛКОНЯН Т.Р., ЕНОКЯН К.Р., ОГАНЕСЯН А.А.	
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО ПОДЪЕМНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТА.....	188
МАНАСЯН Е.А.	
РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ КЛИНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	197
КИРАКОСЯН Г.Т., САГАТЕЛЯН А.К.	
ОЦЕНКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗА FPGA МОДУЛЯРНЫХ УМНОЖИТЕЛЕЙ.....	207
МАРТИРОСЯН Л.А.	
МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАНОРАЗМЕРНЫХ RTL КОМПИЛЯТОРОВ.....	218
АВЕТИСЯН А.А.	
РАЗРАБОТКА ВХОДНОЙ ЧАСТИ ПРИЕМНИКА ТЕРАГЕРЦОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА	227
СИМОНЯН С.О., АЙВАЗЯН А.А.	
МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МАТРИЧНЫХ УРАВНЕНИЙ ТИПА РИККАТИ.....	235

CONTENTS

ANANYAN V.A. EXPANSION OF A THIN-WALLED PIPE BLANK BY THE PRESSURE OF A MAGNETIC-PULSE FIELD	143
AGHBALYAN S.G., VASILYAN G.A., SARKISYN A.R. INVESTIGATING THE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF POWDER COMPOSITE MATERIALS OF COMPOSITION $\text{Cu}+1,0\%\text{Cr}+0,8\%\text{Zr}+10\%\text{Cu}_f$	151
MARTIROSYAN M.V., ARSTAMYAN Z.M. THE PERSPECTIVE OF USING THE GOLD POLYMETALLIC ORE OF THE SHAHUMYAN DEPOSIT FOR OBTAINING ELECTRODE MATERIALS	161
MARUKHYAN V.Z., ELBAKYAN S.H. EVALUATING THE IMPACT OF THE CARBON DIOXIDE CAPTURING PROCESS ON THE INDICES OF ECONOMIC EFFICIENCY IN THERMAL POWER PLANTS	170
HOVHANNISYAN L.S., KHACHATRYAN R.G. SELECTING THE OPTIMAL VALUE OF CALCULATION TEMPERATURE AT DESIGNING A REFRIGERATION COOLING SYSTEM OF THE AIR ENTERING THE GAS - TURBINE PLANT	178
HOVHANNISYAN A.T., MINASYAN G.M., MELKONYAN T.R., YENOQYAN K.R., HOVHANNISYAN A.A. AN AUTOMATED DESIGN SYSTEM OF A FLAT LIFTING ELECTROMAGNET	188
MANASYAN Y.A. DEVELOPING AN AUTOMATED NETWORK SYSTEM FOR SUPPORTING THE CLINICAL DECISION-MAKING	197
KIRAKOSSIAN G.T., SAGHATELYAN A.K. EVALUATION AND ANALYSIS OF THE SYNTHESIS RESULTS OF MODULAR MULTIPLIERS OF THE FPGA	207
MARTIROSYAN L.A. THE QUALITY CHARACTERISTICS ESTIMATION METHOD FOR THE NANOSCALE RTL COMPILERS	218
AVETISYAN H.A. DEVELOPING THE INPUT PART OF A RECEIVER IN THE TERAHERTZ RANGE ON THE BASIS OF A METAL - DIELECTRIC WAVEGUIDE	227
SIMONYAN S.H., AYVAZYAN A.A. METHODS FOR SOLVING ALGEBRAIC RICCATI-TYPE ONE-PARAMETRIC MATRIX EQUATIONS	235