

ISSN 0002-306 X

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԵՎ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И

НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ՀԱՏՈՐ LXXIV ТОМ

2

ԵՐԵՎԱՆ

2021

ЕРЕВАН

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ
ԵՎ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ՊՈԼԻՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆԻ

ՏԵՂԵԿԱԳԻՐ

ՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՍԵՐԻԱ

Հատոր 74

N 2

ԱՊՐԵԼ – ՀՈՒՆԻՍ

ԵՐԵՎԱՆ 2021

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АРМЕНИИ И
НАЦИОНАЛЬНОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
АРМЕНИИ

СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Том 74

N 2

АПРЕЛЬ – ИЮНЬ

ЕРЕВАН 2021

PROCEEDINGS

OF THE REPUBLIC OF ARMENIA NATIONAL ACADEMY OF
SCIENCES AND NATIONAL POLYTECHNIC UNIVERSITY OF
ARMENIA

SERIES OF TECHNICAL SCIENCES

Volume 74

N 2

APRIL - JUNE

YEREVAN 2021

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Журнал издается с 5.01.1948 г.

Выходит 4 раза в год

ԽՄԲԱԳՐԱԿԱՆ ԿՈԼԵԳԻԱ

Գլխավոր խմբագիր՝ Մելիքյան Վ.Շ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Գլխ. խմբագրի տեղակալ՝ Գրիգորյան Ա.Խ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Պատասխանատու քարտուղար՝ Սեյրանյան Ժ.Ս., ՀՀ

Խմբագրական կոլեգիա՝

Աղբալյան Ս.Գ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Ապալանյան Լ.Հ., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Բաղդասարյան Ն.Պ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Բաղդասարյան Հ.Վ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Բաղդասարյան Ս.Ք., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Գագարինսկի Ա.Յու., ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Գոնեյմա Ս., տ.գ.թ., Եգիպտոս

Գրիմբլաթ Վ., տ.գ.թ., Չիլի

Դոկիչ Բ., տ.գ.դ., Բոսնիա և Հերցեգովինա

Ջորյան Ե., տ.գ.թ., ԱՄՆ

Իյուշենկո Ա.Ֆ., Բելառուսի ԳԱԱ թղթ. անդամ, տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս

Լան Զ., տ.գ.թ., Չինաստան

Կրասնիկով Գ.Յ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Կուրտուա Բ., տ.գ.թ., Ֆրանսիա

Հախումյան Ա.Ա., ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Հակոբյան Վ.Ն., ֆ.-մ.գ.դ., ՀՀ

Հահանով Վ.Ի., Կիրառական ռադիոէլեկտրոնիկայի Ուկրաինայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ.,

Ուկրաինա

Ղուլյան Ա.Գ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆ.-մ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Մանդալիկա Ս., տ.գ.թ., Հնդկաստան

Մարուխյան Ռ.Զ., տ.գ.թ., պրոֆ., ՀՀ

Միխայլիչ Ա.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., Բելառուս

Շիխտման Ու., տ.գ.թ., Գերմանիա

Չանգ Ֆ., Թայվանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., Թայվան

Չապլիգին Յու.Ա., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Պետրոսյան Օ.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Պետրոսյանց Կ.Օ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Սապասենկար Ս., տ.գ.թ., ԱՄՆ

Մարգարյան Յու.Լ., ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Մքիտեն Ս.Ա., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Միմոնյան Ս.Հ., տ.գ.դ., պրոֆ., ՀՀ

Ստեմպկովսկի Ա.Լ., ՌԴ ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Վորոբյով Ա.Ե., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

Տիխոմիրով Գ.Վ., ֆ.-մ.գ.դ., ՌԴ

Ցանովա Ս., տ.գ.թ., Բուլղարիա

Ուբար Բ., Էստոնիայի ԳԱԱ ակադեմիկոս, տ.գ.դ., պրոֆ., Էստոնիա

Ուսանով Վ.Ի., տ.գ.դ., պրոֆ., ՌԴ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор Меликян В.Ш., член-корр. НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Заместитель главного редактора Григорян А.Х., д.т.н., проф., Армения

Ответственный секретарь Сейранян Ж.С., Армения

Редколлегия:

Агбалян С.Г., д.т.н., проф., Армения

Акопян В.Н., д.ф.-м.н., Армения

Асланиян Л.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Ахумян А.А., член-корр. НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Багдасарян М.К., д.т.н., проф., Армения

Багдасарян О.В., д.т.н., проф., Армения

Бадалян Н.П., д.т.н., проф., Россия

Воробьев А.Е., д.т.н., проф., Россия

Гагаринский А.Ю., д.ф.-м.н., проф., Россия

Гонейма М., к.т.н., Египет

Гримблат В., к.т.н., Чили

Гулян А.Г., академик НАН РА, д.ф.-м.н., проф., Армения

Докич Б., д.т.н., Босния и Герцеговина

Зорян Е., к.т.н., США

Ильющенко А.Ф., член-корр. НАН Беларуси, д.т.н., проф., Беларусь

Красников Г.Я., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Куртуа Б., к.т.н., Франция

Лан Ч., к.т.н., Китай

Мандалика С., к.т.н., Индия

Марухян В.З., к.т.н., проф., Армения

Михайлович А.А., д.т.н., проф., Беларусь

Петросян О.А., д.т.н., проф., Армения

Петросянц К.О., д.т.н., проф., Россия

Сапатнекар С., к.т.н., США

Саркисян Ю.Л., академик НАН РА, д.т.н., проф., Армения

Сбитнев С.А., д.т.н., проф., Россия

Симонян С.О., д.т.н., проф., Армения

Стемпковский А.Л., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Тихомиров Г.В., д.ф.-м.н., Россия

Убар Р., академик НАН Эстонии, д.т.н., проф., Эстония

Усанов В.И., д.т.н., проф., Россия

Хаханов В.И., академик Академии наук Украины по прикладной радиоэлектронике, д.т.н., проф., Украина

Цанова С., к.т.н., Болгария

Чанг Ф., академик Национальной академии Тайваня, д.т.н., Тайвань

Чаплыгин Ю.А., академик РАН, д.т.н., проф., Россия

Шлихтманн У., к.т.н., Германия

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief: Melikyan V.Sh., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Deputy Editor-in-Chief: Grigoryan A.Kh., Sci.Dr., Prof., Armenia
Executive Secretary: Seyranyan Zh.S., Armenia
Editorial Board:
Aghbalyan S.G., Sci.Dr., Prof., Armenia
Aslanyan L.H., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Badalyan N.P., Sci.Dr., Prof., Russia
Baghdasaryan H.V., Sci.Dr., Prof., Armenia
Baghdasaryan M.Q., Sci.Dr., Prof., Armenia
Chang F., Member of National Academy of Taiwan, Sci.Dr., Taiwan
Chaplygin Yu.A., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Courtois B., Ph.D., France
Dokic B., Sci.Dr., Bosnia and Herzegovina
Gagarinski A.Yu., Sci.Dr., Prof., Russia
Ghoneima M., Ph.Dr., Egypt
Ghulyan A.G., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Grimblatt V., Ph.Dr., Chile
Hahanov V.I., Academician of Academy of Sciences of Ukraine in Applied Radioelectronics, Sci.Dr., Prof., Ukraine
Hakhumyan A.A., Corr.member of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Hakobyan V.N., Sci.Dr., Armenia
Ilyushenko A.F., Corr.member of NAS of Belarus, Sci.Dr., Prof., Belarus
Krasnikov G.Y., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Lan Ch., Ph.Dr., China
Mandalika S., Ph.Dr., India
Marukhyan V.Z., Ph.Dr., Prof., Armenia
Mikhaylevich A.A., Sci.Dr., Prof., Belarus
Petrosyan O.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Petrosyants K.O., Sci.Dr., Prof., Russia
Sapatnekar S., Ph.Dr., USA
Sargsyan Yu.L., Academician of NAS RA, Sci.Dr., Prof., Armenia
Sbitnev S.A., Sci.Dr., Prof., Russia
Schlichtmann U., Ph.Dr., Germany
Simonyan S.H., Sci.Dr., Prof., Armenia
Stempkovski A.L., Academician of RAS, Sci.Dr., Prof., Russia
Tikhomirov G.V., Sci.Dr., Russia
Tsanova S., Sci.Dr., Bulgaria
Ubar R., Academician of Academy of Sciences of Estonia, Sci.Dr., Prof., Estonia
Usanov V.I., Sci.Dr., Prof., Russia
Vorobyov A.Y., Sci.Dr., Prof., Russia
Zorian Y., Ph.Dr., USA

Հրատ. խմբագիր՝

Խմբագիրներ՝

Ժ.Ս. ՄԵՅՐԱՆՅԱՆ

Հ.Յ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ

Հ.Զ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

© Издательство НПУА

Известия НАН РА и НПУА (сер. Техн. наук), 2021

С.Г. АГБАЛЯН, А.М. ОГАНЕСЯН, В.А. СИМОНЯН

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА МОЛИБДЕНИТОВЫХ
КОНЦЕНТРАТОВ И ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ РЕНИЯ**

Изучено поведение рения при переработке молибдена и медно-молибденовых руд. Показано, что во время флотации рений в основном переходит в объемный сульфидный концентрат, а затем в молибденитовый концентрат. В процессе окислительного обжига молибденитового концентрата ($550...600^{\circ}\text{C}$) имеющийся в нем рений образует соединения Re_2O_7 , ReO_3 , ReO_2 , которые удаляются потоком газа из-за высокого давления пара. Эти оксиды поглощаются системой влажного пылеулавливателя и превращаются в растворы серной кислоты, которые являются источником извлечения рения. Источником извлечения рения также являются маточные растворы, получаемые при гидрометаллургической очистке обожженных остатков.

Показано, что степень сублимации рения зависит от условий окислительного обжига и минеральной структуры концентрата. Так, при обжиге концентрата в многоподовых печах степень сублимации рения не превышает $50...60\%$, что объясняется вторичными реакциями, приводящими к образованию трудно летучих оксидов рения. Кинетические кривые окисления молибденитового концентрата, произведенного на Зангезурском медно-молибденовом обогатительном комбинате РА, были изучены в зависимости от температуры и времени, согласно которым скорости реакции очень высоки в течение первых *10 минут*, после чего процесс замедляется и стабилизируется. Показано, что чем выше температура, тем быстрее протекают реакции.

Ключевые слова: руда, молибденитовый концентрат, окислительный обжиг, давление пара, окисление, сублимация, пылегазоулавливающая система, растворы серной кислоты.

Введение. Развитие металлургических технологий в Республике Армения создает благоприятные условия для переработки концентратов, полученных в результате обогащения полезных ископаемых, содержащих редкие металлы, в том числе в результате комплексной переработки молибденитовых концентратов.

Учитывая высокий спрос на рений в современных технологиях, особенно в военной промышленности, и тот факт, что рениевые руды не концентрированы и не имеют собственных рудников, следовательно, его извлечение из минералов и концентратов, в частности из молибденитовых концентратов, является актуальной проблемой.

Известно [1-5], что переработка ренийсодержащего сульфидного медно-молибденового сырья основана на пирометаллургических процессах (плавка, конвертирование, окислительный обжиг). Во время окислительного обжига сульфидных концентратов дисульфид рения (ReS_2) быстро окисляется с образованием Re_2O_7 , который испаряется при температуре выше 363°C . Следовательно, с технологической точки зрения, при первичной переработке сульфидных концентратов важно не только удалять соединения рения выхлопными газами, но также их максимально извлекать пылеулавливающими системами.

Основными факторами, влияющими на эти показатели, являются температура и степень извлечения пыли в пылегазоулавливающих системах. При этом конвертирование или окислительный обжиг, прежде всего, применяют с учетом максимального извлечения основных металлов (Mo, Cu) и возможности радикальных изменений их структуры, а также ограничения возможности извлечения рения. Поэтому большое значение придается пылегазоулавливающим системам, которые оказывают значительное влияние на общую степень извлечения рения из руды. Следует иметь в виду, что с выбросом ренийсодержащих газов в пылегазопоглощающую систему попадает также большое количество серосодержащих газов (SO_2 , SO_3), следовательно, экологическая чистота всего производства зависит от эффективности работы оборудования для абсорбции рения. Для решения вышеперечисленных проблем необходимо использовать влажные пылеулавливающие системы (газоулавливающие фильтры, мокрые электрофильтры), которые, в отличие от сухих устройств (циклоны, трубки Вентури, волокнистые фильтры, сухие электрические фильтры), обеспечивают высокую степень извлечения рения из газа и очистку от выхлопных газов 60...95% [6].

Исходя из вышеизложенного, целью работы является изучение процессов окислительного обжига и образования при этом оксидов рения молибденитовых концентратов, производимых на Зангезурском медно-молибденовом комбинате РА.

Постановка задачи и обоснование методики. При обогащении молибденовых и медно-молибденовых руд рений в основном сопровождает молибден [7, 8]. Во время флотации он сначала переходит в групповой сульфидный концентрат (обогащение - около 60 раз), а затем в молибденитовый концентрат (80% Re) [6]. Таким образом, молибденитовые концентраты, полученные при обогащении медно-молибденовых руд, содержат 0,02...0,17% Re. Подсчитано, что если содержание Re в молибденитовом концентрате превышает 50 г/т, то

этого достаточно для его извлечения. Содержание рения в медном концентрате, полученном из медно-молибденовых руд, очень низкое - 0,0001%, но поскольку его масса намного больше, чем у молибденитового концентрата, часть рения уходит вместе с ним. Суммарное извлечение рения при обогащении молибденовых руд (медно-молибденовых) не так велико - до 45%, что связано с большими потерями металла в хвостах флотации. Например, при обогащении молибденовых руд, содержащих 30...35 г/т рения, после флотации концентрат содержит 225 г/т рения, а 16 г/т теряется в хвостах флотации. Кроме того, во время флотации часть рения окисляется и наливается в водный раствор, поэтому в отходах концентратов обогатительных заводов, как в шахтных водах, содержится 50 мг/м³ рения [9].

Во время окислительного обжига (550...600°C) молибденитового концентрата дисульфид рения (ReS₂), находящийся в кристаллической решетке молибденита (MoS₂), также окисляется, в результате чего образуются Re₂O₇ оксиды (T_{кипения} = 363°C), которые с помощью высокого давления пара (рис. 1) удаляются потоком газа [6, 9, 10].

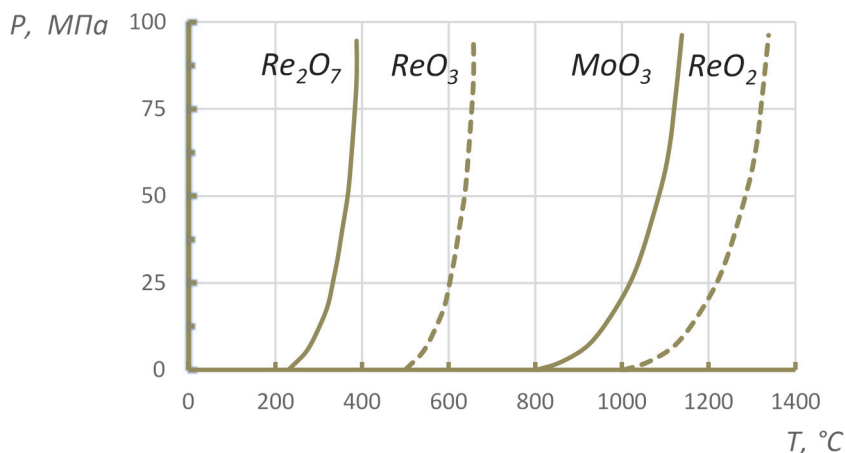
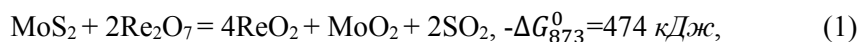
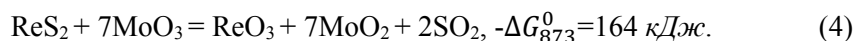
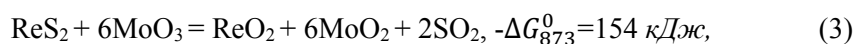
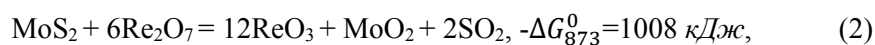


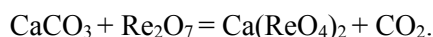
Рис. 1. Давление паров оксидов рения и молибдена в зависимости от температуры

Степень сублимации рения зависит от условий обжига и минеральной структуры концентрата. Таким образом, степень сублимации рения при обжиге концентрата в многоподовых печах не превышает 50...60%, что объясняется вторичными реакциями, которые приводят к образованию трудно испаряемых оксидов рения. Вторичные реакции, которые происходят в условиях недостаточного притока воздуха, следующие:





С точки зрения термодинамики, эти реакции считаются возможными, но наиболее вероятной из них является реакция (2). Все эти реакции нежелательны, поскольку они снижают степень сублимации рения. Твердение материала, которое происходит во время обжига в подовых и вращающихся печах, положительно влияет на вышеупомянутые реакции. Кроме того, неполная сублимация рения может быть связана с частичным взаимодействием Re_2O_7 и кальцита, а также оксидов железа и меди с образованием жаростойких перренатов:



Более полно рений сублимируется при обжиге молибденитовых концентратов в печах с кипящим слоем. Степень сублимации составляет 92...96%. Это связано с отсутствием условий для образования оксида рения низкой степени в печах при обжиге.

Низкая температура, необходимая для конденсации Re_2O_7 , затрудняет его извлечение из выхлопных газов [9]. Для эффективного извлечения рения из газовой фазы используется система пылегазоулавливателей, состоящая из циклона, сухого электрофилтра, газоочистителя для охлаждения и частичного извлечения газов, а также, что самое главное, мокрого электрофилтра, извлекающего основную часть рения. Такая система позволяет извлекать 90% рения, который в данном случае находится в кислых растворах в виде рениевой кислоты. Для увеличения концентрации рения растворы циркулируют несколько раз. Из системы мокрой абсорбции выделяются растворы, содержащие 0,2...0,8 г/л рения, 5...12 г/л молибдена, 80...150 г/л H_2SO_4 . При обжиге концентрата в случае неполной сублимации рения он остается в остатках обжига, а при растворении этих остатков - переходит в аммиак и водные растворы соды. После этого в маточном растворе остается кристаллический парамолибдат аммония или осадок молибдата кальция. Маточные растворы содержат 0,02 г/л Re и 0,2...2 г/л Mo.

Таким образом, источником получения рения при переработке молибденитового концентрата могут быть растворы серной кислоты, полученные с помощью системы влажного пылулавливателя, а также маточные растворы, полученные при гидрометаллургической переработке обожженных остатков

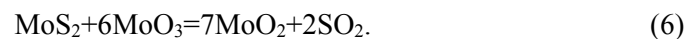
[9, 11, 12].

Результаты исследования. Процесс окислительного обжига молибденовых концентратов Зангезурского медно-молибденового комбината был исследован в температурном интервале $560 \dots 620^{\circ}\text{C}$, в ходе которого происходит ряд реакций, которые разделены на четыре группы [6]:

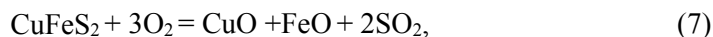
1. Кислородное окисление молибденита до триоксида молибдена:



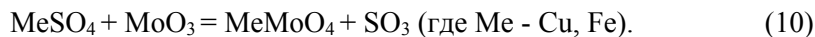
2. Взаимодействие молибденита с триоксидом с образованием низких оксидов молибдена:



3. Окисление сопутствующих сульфидных минералов с образованием оксидов и сульфатов:



4. Взаимодействие триоксида молибдена с оксидами других металлов с образованием молибдатов:



На рис. 2 приведены кинетические кривые окисления молибденита в зависимости от температуры и времени [6]. Как видно из кривых, скорости реакции очень высоки в течение первых 10 минут, после чего процесс замедляется и стабилизируется. При этом чем выше температура, тем быстрее протекают реакции.

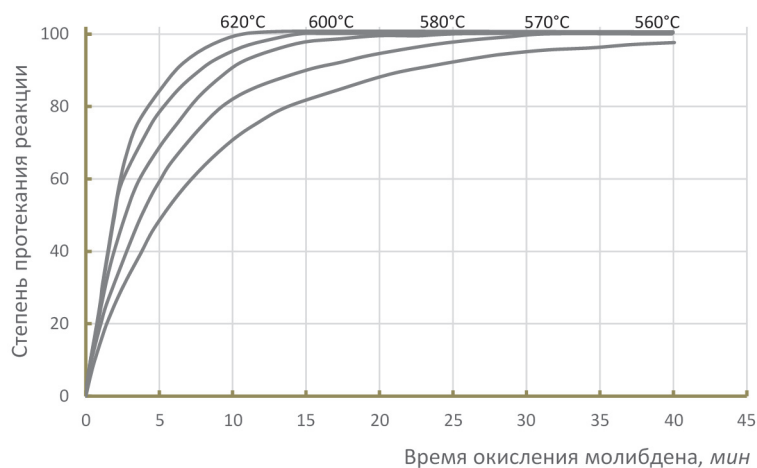
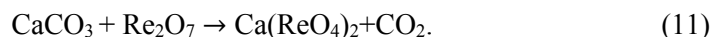


Рис. 2. Процесс окислительного обжига молибденитового концентрата при температуре 560...620⁰C

Содержание рения в молибденитовом концентрате Зангезурского медно-молибденового обогатительного комбината колеблется в пределах 180...260 г/т. Связь между сульфидами молибдена и рения объясняется изоморфизмом MoS₂ и ReS₂ (радиус Mo⁴⁺ равен 0,068 нм, а радиус Re⁴⁺ - 0,056 нм).

Молибденитовые концентраты обычно окисляются при температуре 550...600⁰C, при которых получается триоксид молибдена и ряд других смесей. В молибдените рений в форме ReS₂ окисляется до Re₂O₇ (2ReS₂+7,5O₂=Re₂O₇+ +4SO₂), который, в свою очередь, уносится потоком газа (температура кипения Re₂O₇ составляет 363⁰C). Степень сублимации оксидов рения зависит от условий процесса обжига и состава сырья. Если содержание кальция в сырье высокое, то образование перрената кальция приводит к снижению сублимации рения по следующей реакции:



Из-за недостатка воздуха могут образовываться низкие оксиды по следующей реакции:



Сублимация относительно высокая в печах типа кипящего слоя, где она достигает 92...96%. Это объясняется тем, что в кипящем слое вероятность образования низких оксидов небольшая.

Самая высокая сублимация происходит в конце процесса обжига, когда большая часть серы уже удалена. В это время необходимо подавать избыточный воздух, чтобы образующиеся соединения рения (в основном в виде Re₂O₇)

вместе с серными газами (SO_2 , SO_3) транспортировали в газообразные фазы, тем самым создавая возможность проводить процессы в более низком температурном интервале $450\ldots 500^\circ\text{C}$. Конечными продуктами окисления дисульфида рения (ReS_2) являются соединения Re_2O_7 , ReO_3 , ReO_2 .

Выводы. При окислительном обжиге молибденитового концентрата, проводимом в температурном интервале $560\ldots 620^\circ\text{C}$, рений в концентрате образует соединения Re_2O_7 , ReO_3 , ReO_2 , которые удаляются потоком газа за счет высокого давления пара. Эти оксиды поглощаются системой влажного пылеулавливателя, в результате чего получаются растворы серной кислоты, которые являются источником получения рения. Маточные растворы, полученные при гидрометаллургической переработке обожженных остатков, также являются источником рения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зеликман А.Н.** Молибден.- М.: Металлургия, 1970.- 440 с.
2. **Минеев Г.Г., Минеева Т.С., Жучков И.А., Зелинская Е.В.** Теория металлургических процессов.- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2010.- 524 с.
3. **Погодаев А.М., Погодаева И.А.** Основы теории пирометаллургических процессов.- Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004.- 136 с.
4. **Уткин Н.И.** Производство цветных металлов.- М.: Интермет Инжиниринг, 2004.- 442с.
5. **Леонов С.Б., Минеев Г.Г., Жучков И.А.** Гидрометаллургия.- Ч. 1.- Рудоподготовка и выщелачивание.- Иркутск: ИрГТУ, 1998.- 702 с.
6. **Коровин С.С., Букин В.И., Федоров П.И., Резник А.М.** Редкие и рассеянные элементы. Химия и технология. Книга 3.- М.: МИСИС, 2003.- 440с.
7. **Зеликман А.Н.** Рений. Краткая химическая энциклопедия.- Т. 4.- 1965.- 1182 с.
8. **Зеликман А.Н., Самсонов Г.В.** Металлургия редких металлов.- М.: Металлургия, 1973.- 608 с.
9. **Арипов Г.А., Гапурова О.У.** Рений: Сб. трудов 2-го Всесоюзного совещания по проблеме рения.- М.: Наука, 1964.- 260 с.
10. **Харин Е.И.** Исследование и разработка технологии извлечения рения из молибденовых концентратов: Автореф. дис. ...канд. техн. наук.- Екатеринбург, 2013.- 24 с.
11. **Паланг А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М.** Металлургия рения.- М.: Наука, 2007.- 298 с.
12. **Паланг А.А., Трошкина И.Д., Чекмарев А.М., Костылев А.И.** Технология рения.- М.: Галлея-Принт, 2015.- 328 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 29.10.2020.

Մ.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ա.Մ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Վ.Ա. ՄԻՄՈՆՅԱՆ

ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՏԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԲՈՎՄԱՆ ԵՎ ՌԵՆԻՈՒՄԻ ՕՔՍԻԴՆԵՐԻ
ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ուսումնասիրվել է ռենիումի վարքը մոլիբդենային և պղնձամոլիբդենային հանքանյութերի վերամշակման ընթացքում: Ցույց է տրվել, որ ֆլուտացիայի ժամանակ ռենիումը մեծ մասամբ նախ անցնում է խմբակային սուլֆիդային խտանյութի մեջ, իսկ հետո՝ մոլիբդենի խտանյութ: Ստացված մոլիբդենիտային խտանյութի օքսիդացուցիչ բովման ժամանակ ($550\ldots 600^{\circ}\text{C}$) նրա մեջ եղած ռենիումն առաջացնում է Re_2O_7 , ReO_3 , ReO_2 միացություններ, որոնք, շնորհիվ գոլորշու բարձր ճնշման, հեռացվում են գազային հոսքով: Այս օքսիդները, կլանվելով թաց փոշեկլանիչ համակարգի միջոցով և վերածվելով ծծմբաթթվային լուծույթների, հանդիսանում են ռենիումի կորզման աղբյուր: Ռենիումի կորզման աղբյուր են նաև բովման մնացորդների հիդրոմետալուրգիական վերամշակումից ստացված մայր լուծույթները:

Ցույց է տրվել, որ ռենիումի սուլֆիմացման աստիճանը կախված է այրման պայմաններից և խտանյութի հանքաքանակի կառուցվածքից: Այսպես, բազմահատակային վառարաններում խտանյութի բովման ժամանակ ռենիումի սուլֆիմացման աստիճանը չի գերազանցում 50...60%-ից, ինչը բացատրվում է երկրորդային ռեակցիաներով, որոնք հանգեցնում են դժվարացնող ռենիումի օքսիդների առաջացման: Ուսումնասիրվել են Ջանգեզուրի պղնձամոլիբդենային կոմբինատի հարստացուցիչ ֆաբրիկայում արտադրվող մոլիբդենիտային խտանյութի օքսիդացման կինետիկական կորերը՝ կախված ջերմաստիճանից և ժամանակից, համաձայն որի ռեակցիաների արագությունները շատ մեծ են առաջին 10 րոպեների ընթացքում, որից հետո գործընթացը դանդաղում և կայունանում է: Ցույց է տրված, որ որքան բարձր է ջերմաստիճանը, այնքան մեծ են ռեակցիաների արագությունները:

Առանցքային բառեր. հանքաքար, մոլիբդենիտային խտանյութ, օքսիդացուցիչ բովում, գոլորշու ճնշում, օքսիդացում, սուլֆիմացիա, փոշեկլանիչ համակարգ, ծծմբաթթվային լուծույթներ:

S.G. AGHBALYAN, A.M. HOVHANNISYAN, V.A. SIMONYAN

**INVESTIGATING THE PROCESSES OF MOLYBDENITE
CONCENTRATE BAKING AND RHENIUM OXIDE GENERATION**

The behavior of rhenium is studied at recycling molybdenum and copper-molybdenum ores. It has been shown that rhenium mostly passes to bulk sulfide concentrate and then to molybdenum concentrate during flotation. During oxidative baking of the obtained molybdenum concentrate (550...600°C), rhenium forms Re_2O_7 , ReO_3 , ReO_2 compounds which are removed by the gas flow caused by the high vapor pressure. These oxides are absorbed by the wet dust absorbing system and converted into sulfuric acid solutions which are a source of obtaining rhenium. A source for obtaining rhenium are also mother solutions obtained from hydrometallurgical purification of the burnt residues.

It has been shown that the rhenium sublimation degree depends on the oxidizing baking conditions and the concentrate mineralogical structure. Thus, the degree of rhenium sublimation of the baking of the concentrate in multi-storey ovens does not exceed 50...60%, which is explained by secondary reactions, causing the formation of difficult-to-evaporate rhenium oxides. The kinetic oxidation curves of the molybdenum concentrate produced in Zangezur copper-molybdenum enrichment plant were studied depending on temperature and time. According to the studies, the speed of the reactions is very high in the first 10 minutes after which it slows down and stabilizes. It has been shown that the higher is the temperature, the higher is the reaction speed.

Keywords: ore, molybdenite concentrate, oxidizing baking, vapor pressure, oxidation, sublimation, dust absorber, sulfuric acid solutions.

А.А. АЛАЯН, Т.А. ДЕМИРЧЯН

КАК ВОЗНИКЛА МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА

Дано научное обоснование причин первоочередности металлургического получения меди из железосодержащих медно-сульфидных руд. Показаны роль и место армянской металлургии в общемировой культуре. Отмечено, что металлургия железа своими корнями уходит в металлургию меди, в частности, к периоду перехода от использования медных руд зоны окисления к сульфидным рудам и дальнейшей переработке последних. Железо получено восстановлением вюстита, попавшего в шлак, в результате закономерных химических реакций. Восстановленные комки железа отделялись из хрупкого медеплавильного шлака битьем, откуда и произошло армянское название этого железа: “крица(й)” - избитого или из битья, от армянского слова “кур”.

Ключевые слова: железо, медь, металлургия, халькопирит, вюстит, восстановление, шлак.

Введение. Тема актуальна не только в связи с решением вопроса закономерной первоочередности металлургии меди, бронзы и возникновения металлургии железа в период перехода от использования руд зон окисления к сульфидным рудам, но и вопроса возможной комплексной переработки медного сырья с получением железа при получении черновой меди в современных условиях.

Вопрос о причинах первоочередности металлургии меди, по сравнению с металлургией железа, до сих пор не решен.

Целью исследования является научное обоснование причин первоочередности металлургического получения меди из железосодержащих медно-сульфидных руд, а также роли и места армянской металлургии в общемировой культуре.

Постановка задачи и методика исследования. Для достижения поставленной цели проведены всесторонние исследования, включающие историко-археологические, современные физико-химические, статистические, лингвистические и другие данные. Проведены соответствующие расчеты.

Датский археолог Христиан Юргенсен Томсен (1788-1865) в середине XIX века на основе археологического материала научно обосновал систему трех веков развития человечества: каменного, бронзового и железного [1]. Однако первоочередность возникновения металлургии и использования меди (и бронзы) после каменного века вызывает недоумение. Ведь содержание

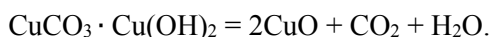
меди в земной коре (на глубине до 16 км) составляет всего $(4,7 \dots 5,5) \cdot 10^{-3} \%$, в то время как содержание железа - $5,0 \dots 5,1\%$, т.е. в земной коре содержится $\sim$ в 1000 раз больше железа, чем меди. Причина подобной очередности не одна. Попробуем разобраться в них. Как и некоторые металлы, золото, серебро, железо также существуют в виде самородков, но они имеют очень малые размеры и вкраплены в горные породы. Массовые скопления чистых самородков железа исключительно редки. Наиболее замечательные из них находятся в Гренландии и в Германии. Самородная медь может достигать весом в несколько тонн, как, например, в Америке у Великих Озер. К тому же они имеют гораздо большее распространение. Но железо существует и в виде железных метеоритов. Для метеоритного железа характерно наличие никеля в количестве $4 \dots 30\%$, т.е. оно является природно-легированным. Первые образцы использования железа человеком были метеоритными. И самородная медь, и метеоритное железо хорошо куется. При ковке твердость повышается, металл наклёпывается и может служить в качестве орудия. Примитивная ковка - это ковка каменным молотом, которую применял человек каменного века для изготовления каменного орудия в основном отбивкой кремниевых и обсидиановых отщепов. По данному показателю медь, по-видимому, особых преимуществ перед железом не имеет. О золоте вообще говорить не приходится: количество его мало, а механические свойства даже после наклёпа очень низкие.

Одним из основных признаков, привлекающих древнего человека, является цветовой признак. По этому признаку большое преимущество имеют золото и серебро, но они неконкурентоспособны по другим показателям.

Из минералов наиболее яркими являются минералы меди - малахит и азурит ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$ и $2\text{CuCO}_3 \cdot 2\text{Cu(OH)}_2$), имеющие соответственно ярко-зеленый и ярко-синий цвета. Яркими являются также минералы мышьяка - реальгар и аурипигмент (AsS и As_2S_3), имеющие соответственно яркий оранжево-красный и золотистые цвета. Латунно-желтый цвет имеет также медно-железный минерал - халькопирит (CuFeS_2), но он находится сравнительно глубоко в сульфидной зоне, а не на поверхности зоны окисления, как малахит и азурит.

Основные минералы железа - гематит и магнетит (Fe_2O_3 и Fe_3O_4), имеют красный и буроватый цвета. Изначально окислы железа использовались в керамике как красители. Для получения меди (и бронзы) человек сначала использовал приповерхностные минералы зоны окисления медно-рудных месторождений, наиболее распространенными из которых являются малахит и азурит, а также куприт (Cu_2O) и тенорит (CuO), который называется также мелаконит, наряду с самородной медью, которая бывает почти без примесей.

Все минералы зоны окисления легко восстанавливаются окисью углерода (CO). Так, куприт (Cu_2O) восстанавливается углём начиная со 100°C [2], но восстановительная атмосфера должна сохраняться до полного охлаждения полученной меди. В противном случае, медь может снова окислиться. Особенно это относится к малахиту и азуристу, карбонатам меди с кристаллической водой. При нагреве кристаллическая вода быстро испаряется, а карбонат диссоциирует начиная с 200°C по реакции



Двуокись углерода по реакции Будуара восстанавливается до окиси



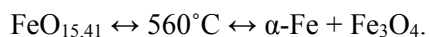
Начиная с 290°C при наличии восстановительной атмосферы в виде CO тенорит (мелаконит) восстанавливается до куприта $2\text{CuO} + \text{CO} \rightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{CO}_2$.

При недостатке угля металл снова кальцинируется. Твердый углерод (древесный уголь) восстанавливает куприт начиная со 100°C .

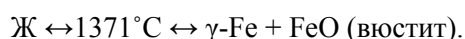
Избыточное количество древесного угля является гарантией полного восстановления окислов меди и предохраняет от окисления.

Окислы железа – гематит (Fe_2O_3), магнетит ($\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), вюстит (FeO) - также легко восстанавливаются в твердом состоянии, но при температуре выше эвтектоидного превращения вюстита, т.е. выше 560°C [3].

Эвтектоидный распад вюстита:

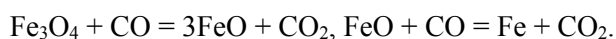
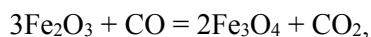


Температура плавления вюстита выше 1371°C , так как при $t = 1371^\circ\text{C}$ происходит эвтектическое превращение:



Содержание кислорода в вюстите составляет 23,1 до 25,6% (по массе) соответственно при температуре $1371 \dots 1450^\circ\text{C}$.

Восстановление гематита происходит с очень низких температур – начиная с 300°C по реакции



Восстановление вюстита выше 560°C [3] происходит тем быстрее, чем выше температура. При этом получается губка с высокой удельной поверхностью, т.е. с очень большим количеством мельчайших пор. Вследствие этого повышается активность реакции окисления железа, что приводит к охрупчи-

ванию и потере ковкости. Об этом свидетельствуют многочисленные эксперименты по моделированию процессов получения железа (17 экспериментов) сыродутным способом, проведённые Б.А. Колчиным [4], с применением руд из сравнительно древних отвалов Сосновского рудника на Урале. Сама печь была построена на раскопках в Новгороде из глины и похожа на древнерусские печи. В 50-ых годах XX века подобные исследования были проведены в стране басков (Северная Испания), в Чехословакии и Польше [5]. При этом во всех случаях при экспериментировании ковкое железо получалось при температуре выше 1200°C , когда было достаточное количество шлаков, предохраняющих восстановленное железо от окисления.

Вышеизложенное говорит о том, что древнему человеку легче было найти яркие зелено-синие, голубые минералы меди, часто находившиеся рядом с самородками в приповерхностной зоне окисления сульфидных медно-рудных месторождений, чем менее броские минералы железа. Температурный интервал восстановления меди также ниже того же показателя восстановления железа. Температура плавления железа - 1539°C , видимо, была недостижима для древнего человека каменного века, в то время как реальгар и аурипигмент, плавящиеся при температуре 310 и 320°C , сплавляясь с медью, снижали температуру плавления последнего, а при несколько большем содержании (начиная с 7...8%) создавали эвтектику, оплавляющую зерна твердого раствора на основе меди. При температуре 680°C и содержании As-а в 21,2 (по массе) образуется эвтектика. Именно поэтому (хотя возможно и отсутствие касситерита SnO_2) первыми бронзами, полученными и прокованными человеком начиная с VII тысячелетия до н.э., являются мышьяковистые бронзы, “бывшие самым популярным сплавом меди в Месопотамии, Анатолии, Сирии, Палестине, Египте, на Крите, в Кикладах, Греции (добавим в Армянском нагорье) в III и в первой половине II тысячелетия, составлявшие от одной четверти до трех четвертей всего потребляемого металла. В коллекциях же металлических находок Северо-Западного Ирана, Сирии, Греции и островов Эгейского моря на долю мышьяковистой бронзы приходится две трети всех бронзовых изделий” [6].

Из сказанного следует, что очередность перехода от каменного века именно к медно-бронзовому является “естественной”. В то же время вышеприведенные данные о проделанных экспериментах по получению железной крицы показывают, что необходимым условием ее получения является среда, обеспечивающая предупреждение окисления корольков губчатого железа. И этой средой может служить жидкий шлак.

Вопрос о значении шлаков в металлургии встал во весь рост после открытия геологом Геологоуправления Арм. ССР Корюном Мкртчяном Меца-

мора и посещения этого исключительного исторического памятника участниками международной конференции геологов. Интерес особенно усилился после опубликования А.А. Мартиросяном сведений о том, что в древнеармянских письменных источниках говорится о применении металлургами костной смеси и соотнесении этого сообщения к Аргиштихинили и Мецамору [7].

Именно в связи с этими сообщениями американским ученым Д. Меддином были опубликованы данные о проведении специального эксперимента с применением костной смеси. Эксперимент был поставлен с целью выявления технологии пиротехнического производства в Мецаморе. Эксперимент показал, что применение костной смеси в количестве 7% от общего веса шихты при прямом восстановлении железа из руды снижает температуру плавления шлака до 960°C , в результате чего получается ковкое железо [8]. Как показывает тройная диаграмма $\text{FeO-SiO}_2\text{-CaO}$ (рис.), минимальная температура в этой системе относится к изотерме в 1100°C , а в двойной системе FeO-SiO_2 эвтектическая температура между вюститом (FeO) и фаялитом ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$) равна 1177°C [2].

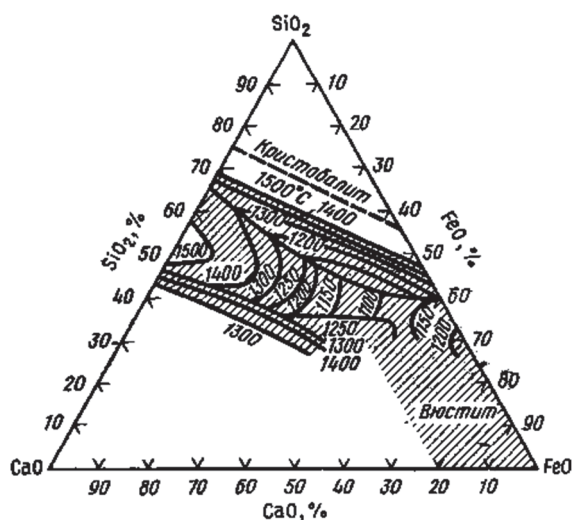


Рис. Диаграмма состояния системы CaO-SiO-FeO

Обращаясь к этому вопросу, В.В. Иванов пишет [9]: “Добавление флюса того типа, который использовался в древней Армении в печах Мецамора и Аргиштихинили, в том числе 7% костной смеси (CaO , P_2O_5), делает возможной ковку железа, сплавляющегося в крицы (без такого флюса ковка криц возможна лишь при существенно более высокой температуре). Поэтому добавление этого флюса (засвидетельствованного в указанных ранее армянских памятниках) следует считать выдающимся пиротехническим достижением”.

В связи с примечаниями древних металлургов Армении в качестве флюсующего вещества - костной смеси рассмотрим химический состав кости (усредненный) [10].

Усредненный состав костей различных животных:

$\text{CaO}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow 3 \text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 - 58...62\%$, среднее 60%;

жиров и клея – 26...30%, среднее 28%;

$\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2 \rightarrow 3 \text{MgO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5 - 1...2\%$, среднее 1,5%;

$\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} \cdot \text{CO}_2 - 6...7\%$, среднее 6,5%;

$\text{CaF}_2 - 2\%$, среднее 2%;

азота и др. – 2%, среднее 2%.

После обезжиривания костей, диссоциации CaCO_3 и удаления двуокиси углерода (CO_2) и азота (N) состав костной смеси будет: $\text{CaO} - 72,0\%$, $\text{P}_2\text{O}_5 - 24,0\%$, $\text{MgO} - 1,2\%$, $\text{CaF}_2 - 2,8\%$.

Р. Медин и В.В. Иванов в своих статьях об использовании армянскими металлургами в качестве флюсующего материала костной смеси указывают в составе на наличие CaO и P_2O_5 . Действительно, в костях основными составляющими являются оксиды кальция и фосфора в соотношении ~72% и 24% соответственно. Как видно из диаграммы состояния $\text{P}_2\text{O}_5 - \text{CaO}$ [2], при подобном соотношении температура плавления выше 1600°C .

Рассмотрим диаграммы состояния $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{P}_2\text{O}_5$ [2], где приводится изотермическое сечение при 1600°C и указываются области расслоения внутри гомогенного расплава, а также области с расплавом и твердой фазой $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ и сильное отталкивание между растворенными в жидкости FeO и $3\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$. Гомогенный расплав при 1600°C соответствует ~1,5% P_2O_5 и 1,0% CaO . При понижении температуры эта область будет сужаться. Так что, вряд ли эти компоненты будут являться причиной снижения температуры плавления эвтектики $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ и FeO , хотя отдельно CaO несколько (до 1100°C) может понизить эту температуру (см. диаграмму состояния $\text{FeO}-\text{SiO}_2-\text{CaO}$, рис.).

Исходя из вышеизложенного, понижение температуры плавления шлака при применении костной смеси связано с наличием флюорита – CaF_2 , который является одним из лучших разжижителей шлаков.

Раскопки Е.А. Байбуртяна в селе Шенгавит, нынешнем южном пригороде Еревана, в 1936-1938г. выявили культуру энеолита 3-го тысячелетия до н.э. [11].

Были выявлены каменная литформа топора, фрагменты тиглей, т.е. все атрибуты металлургического производства энеолита.

Высокоразвитая культура Шенгавита послужила основой для дальнейших раскопок на территории современной Армении и сопредельных территорий. На территории только Армянской ССР их оказалось более сотни [12]. Обращаясь к этой культуре, Б.А. Куфтин назвал ее “урартским “колумбарием” у подножья Арарата” и обобщил ее под названием “куроаракской культуры” [13]. С появлением и развитием этой культуры многие авторы традиционно связывают развитие металлургии, список работ которых подробно указан у А.Ц. Геворкяна [12].

Именно в эту эпоху впервые появляется железо в шлаках медеплавильного (и бронзового) производства и в сравнительно больших количествах в самом металле – меди и бронзе. Это, безусловно, связано с постепенным изменением используемого сырья – от руды зоны окисления к сульфидным рудам, так как в большинстве наиболее распространенных сульфидных руд имеется большое количество железа, например, в халькопирите CuFeS_2 (30,42% Fe), борните Cu_5FeS_4 (14,55% Fe), не говоря уже о сопутствующем пирите FeS_2 (46,54% Fe).

В.В. Иванов пишет [9]: “Железо, как и стекло, достаточно рано стали получать в качестве шлаков - побочных продуктов при керамическом производстве или производстве меди и бронзы. Об этом свидетельствуют, например, железные шлаки, обнаруженные, по данным К.Х. Кушнareвой и Т.Н. Чубинишвили [14], в остатках металла в тигле на Южном Кавказе времени куроаракской культуры и древней медеплавильной печи (около XVIII в до н. э.) из Аладжа Гуюка [15]”.

Именно из Аладжа Гуюка (Хююка) происходит железный кинжал, полученный, бесспорно, из земного, рудного железа, потому что он не содержит никеля, который содержится всегда (4...10% и выше) в метеоритном железе. Этот кинжал датируется 2100 г. до н.э. [16, 17]. Аладжа Гуюк находится на территории современной Турции, недалеко от Богазкоя, где археологами открыта бывшая столица Хеттского царства – Хаттушаш. В Хаттушаше найдена самая древняя хеттская клинописная надпись [18] царя Аниттаса (XVIII в. до н. э.), объединителя всех хеттских мелких “Царств” в единое Хеттское царство, который до того был всего лишь правителем Куссара. В этой надписи сказано, что человек из города (государства) Пурусханда принес в дар Аниттасу железный трон и железный скипетр, видимо, в знак покорности и признания власти Аниттаса.

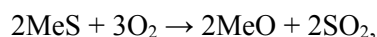
Для определения времени перехода от руд зоны окисления к сульфидным рудам нами были использованы данные химических анализов конвертерной (черновой) меди, полученные из сульфидных руд 12-ти различных

заводов разных стран, приведенные в справочнике металлурга [19]. Среднее количество железа в конвертерной меди оказалось равным 0,067%. Мы ужесточили этот показатель, доведя его до 0,1%.

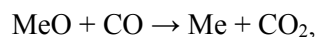
На основании данных спектрального анализа артефактов раннего и среднего бронзовых веков (РБВ и СБВ), т.е. 3-го тысячелетия и первой половины 2-го тысячелетия для Армении, приведенных у Геворкяна А.Ц. [12], нами определено, что для РБВ в 33 из 93-х количество артефактов в которых Fe > или = 0,1%, составляет 35,5%, а для СБВ в 21-м из 37, что составляет 56,8%. Считается, что в Армении всю медь (и бронзу) в позднем бронзовом веке (ПБВ), как и сегодня, получали из сульфидных руд.

Таким образом, переход от использования руд зоны окисления к сульфидным рудам происходил в конце 3-го тысячелетия, и именно к этому времени относится кинжал из Аладжи-Хююка (2100 г. до н.э.). Для получения меди в шахтных печах из сульфидных руд процесс проводят в две стадии.

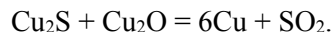
Первая стадия – окислительная, при которой удаляется вся сера (сначала из сульфидов железа, а потом из сульфидов меди), в общем случае:



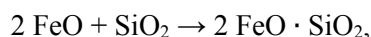
Вторая стадия:



т.е. прямое восстановление - по реакции между твердым углеродом и окислом металла, или косвенное - между окислом металла и окисью углерода. Для меди (Cu_2O) прямое восстановление начинается при температуре 100°C , а косвенное - при комнатной температуре [2]. Для железа (FeO) прямое восстановление начинается с $950 \dots 1000^\circ\text{C}$, косвенное - при 570°C и тем интенсивнее, чем выше температура в шахтной печи. Отметим также, что восстановление из сульфида происходит также с окисью меди по реакции

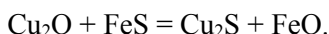


Как указано выше, при шахтной плавке (стадия восстановления) для черновой меди в шлаке происходит реакция образования фаялита:



и при больших количествах вюстита он восстанавливается до железа, иногда в виде железной настыли [2].

Из вышеизложенного следует, что древние металлурги на определенном хронологическом этапе имели дело со смешанной рудой зоны окисления и сульфидной, т.е. фактически окислительная стадия получалась сама собой, и при этом естественно проходила сначала реакция между окисью меди и сульфидом железа с получением окиси железа – вюстита;



Как видно из диаграммы FeO- CaO - SiO₂, изотерма ликвидуса при 1100⁰С проходит при составах, близких к ~80% FeO, и соотношении CaO: SiO₂=3:2, т.е. ~80% FeO, 12% CaO и 8% SiO₂, конечно, при некоторых изменениях этого состава. Тройная эвтектика должна находиться при более низкой температуре, т.е. ~1075⁰С. Именно под поверхностью ликвидуса, примыкающей к вюститу (FeO), без применения костной смеси - при температурах выше 1075⁰С, а в случае применения костной смеси - при температурах выше 960⁰С, происходит выделение твердых кристаллов вюстита в расплаве шлака, которые и восстанавливались при наличии восстановительной среды, в частности, окиси углерода (CO).

Таким образом, железо получалось в виде комков разных размеров от 1 мм до 50 мм попутно при металлургическом производстве меди (и бронзы). Это был, видимо, первый, хотя и заранее не предусмотренный, как бы самопроизвольный опыт комплексной переработки металлического сырья, которая сегодня является необходимым условием любого металлургического производства.

Жидкий шлак выливался из шахтной печи и затвердевал. Твердый шлак, будучи хрупким, разбивался ударами молота, а пластичное железо только несколько деформировалось, но не разрушалось и легко отделялось от шлака, фактически путем битья. Полученное путем битья шлака железо получило название крица. Этот термин происходит из индоевропейско-армянского слова кур [20] (KUR, арм. Կըր), в исходно-отложительном падеже отвечающем на вопросы *umiz* ?, *inchiz* ? (арм. ումիզ, ինչի՞նչ), в значении от кого?, из чего?, с двойным суффиксом –“иц”», и –“ай” (*iz* и *ay*), причем конечный -й краткий звук не произносится и читается *крица* (*kriza*) [21] и имеет значение “избитый”, “выбитый”. Термины в армянском языке технологичны и указывают либо признак (свойство), либо место, либо необходимое действие. В данном случае применяется необходимое действие – избитие, выбивка. Из всех технологий, примененных впоследствии в Европе, ближе всего к древнейшей технологии является технология, примененная фирмой Круппа – Крупп-Реннферфарен в

середине XX века (нем. Krupp-Rennverfahren) [22]. По этой технологии восстановленное твердое железо выбивается из железистого твердого шлака. Разница только в том, что вместо шахтной печи применяется горизонтальная трубчатая печь большой длины (до 72 м), размельчение шлака производится в шаровых мельницах, а для отделения железных комков размерами 1...50 мм применяется магнитная сепарация. Этот способ получения железа в СССР получил название “крично-рудовой процесс”.

Во всех остальных случаях (технологиях) железо получают либо из тестообразного шлака (сыродутный процесс), либо из чугуна - кричный горн или пудлинговый способ (англ. Pudling).

Пудлинговая сталь применялась до конца XIX века и в России, которая была заменена “литейной сталью”.

Таким образом, первоначально железо получалось при шахтной плавке смешанных медных руд из твердого отвального шлака путем избивания последнего. При этом хрупкий шлак легко размельчался, а куски железа оставались целыми и отбирались, отделяясь из общей смеси. Именно полученное по такой технологии железо получило армянское название *крица(й)*, “избитый”, “выбитый”.

Заключение. Впервые определено, что металлургическое железо было получено в шлаках медеплавильного производства при переходе от использования руд зоны окисления к рудам сульфидной зоны, т.е. смешанных руд. Показано, что именно флюорит (CaF_2), входящий в состав костной смеси, используемой в древности армянскими металлургами, является причиной снижения температуры плавления шлаков, а вовсе не CaO и P_2O_5 , указываемых другими авторами. Именно это обстоятельство позволило индоевропейским металлургам получать крицай железо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Большая советская энциклопедия.- 2-е издание.- Том 42.- М., 1956.- 607с.
2. Цимерман Р., Гюнтер С. Металлургия и материаловедение: Справочник.- М.: Металлургия, 1982.- 344с.
3. Белых О.А., Дринца М.Е. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа: Справочник.- М.: Металлургия, 1986.- 319с.
4. Колчин Б.А. Черная металлургия и металлообработка в Древней Руси.- М.: Изд-во АН СССР, 1953.- 159с.
5. Eaton E.R., Me. Kerrel H. Near Eastern Alloying and some Textual Evidence for the early use of Arsenical copper // World Archaeology.- 1976.-V. 8, №. 2.- P. 169-174.

6. **Иванов В.В.** Возникновение и развитие химии с древних времен до XVII века: Сборник.-М.: Наука, 1980.- С. 57-72.
7. **Мартirosян А.А.** Аргиштихинили // Археологические памятники Армении. "Урартские памятники".- Ереван, 1974.- Вып. 1.- С. 152-159.
8. **Maddin R.** Early iron metallurgi in the Near East // Traansaktions of the iron and Steel Institute of Japan.- Nippon Tekko kyokai, 1975.- Vol. 15.- P. 59.
9. **Иванов В.В.** Проблемы истории металлов на Древнем Востоке в свете данных лингвистических // Историко-филологический журнал (ИФЖ).- Ереван: Изд. АН АрмССР, 1976.- С. 59-70.
10. Большая советская энциклопедия.- 2-е издание.- Том 23.-М., 1953.- С. 140.
11. Большая советская энциклопедия.- 2-е издание.- Том 47.- М., 1957.- С. 664-665.
12. **Геворкян А.Ц.** Из истории древнейшей металлургии Армянского Нагорья.- Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1980.- С. 39.
13. **Куфтин Б.А.** Урартский "Колумбарий" у подножия Арарата и куроаркский энеолит // ВМГ.- Тбилиси.-1943.- Т. XIII.- С. 38.
14. **Кушнарев К.Х., Чубинишвили Т.Н.** Древние культуры Южного Кавказа (V-III тыс. до н.э.).- Л.: Наука, 1970.- С. 132.
15. **Mellink M.J.** Archaeology in Asia Minor // Amer. J. Archaeol.- 1974.- Vol. 72, N2.- P. 22.
16. **Wertime T.A.** Pyrotechnology. Man s First Industral Uses of Fire // Amer. Sei.- 1973.- Vol. 61, N6.- P. 670-682.
17. **Marschall V.** Transpazifische Kulturbeziehungen zu ihren Geschichte.- Munchen, 1972.- 35p.
18. **Neu E. Der Anitta-Text** (S tudien zu den Bogazkoy-Texten18).- Wisbaden, 1974.- 44p.
19. Справочник металлурга по цветным металлам.- Т. 2.- М.: Гос. науч. тех. издат., 1947.- 198с.
20. **Ачарян Гр.** ЭКСАЯ.- Т.2.- 1935.- 662с.
21. **Алаян А.А.** Происхождение и этимология собственно армянских металлургических терминов // ИФЖ.- 2002.- N1.- С. 210-216 (на арм. яз.).
22. **Алаян А.А., Айвазян В.В.** Технологияковки, индоевропейский армянский терминковки // Вестник Инженерной академии Армении.- 2010.- Т. 7, N3.- С. 521-523.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 21.12.2020.

Ա.Ա. ԱԼԱՅԱՆ, Տ.Ա. ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ

ԻՆՉՊԵՍ Է ԾԱԳԵԼ ԵՐԿԱԹԻ ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱՆ

Առաջին անգամ ցույց է տրվում, որ երկաթի մետալուրգիան իր արմատներով սերտորեն կապված է պղնձի մետալուրգիայի հետ, մասնավորապես՝ հենց այն ժամանակաշրջանի հետ, երբ տեղի էր ունենում օգտագործվող պղնձահանքերում անցումը օքսիդացած զոնաներից սուլֆիդային հանքաքարին՝ դրանց հետագա վերամշակմամբ պղնձի և հետագայում երկաթի ստացմամբ: Երկաթը ստացվել է պղնձաձուլական խարամի մեջ վյուստիտի վերականգնմամբ, որը օրինաչափ քիմիական ռեակցիաների արդյունք է: Վերականգնված երկաթի կտորները փխրուն խարամից առանձնացվել են ձեռման, այն է՝ կռման միջոցով:

Առանցքային բառեր. երկաթ, պղնձ, մետալուրգիա, խալկոպիրիտ, վյուսթիթ, վերականգնում, խարամ:

A.A. ALAYAN, T.A. DEMIRCHYAN

HOW DID THE METALLURGY OF IRON ARISE

The scientific substantiation of the reasons for the priority of obtaining copper from iron-containing copper-sulphide ores is given. The role and place of the Armenian metallurgy in the world culture age shown.

It is shown that iron metallurgy has its roots in copper metallurgy, in particular, in the period of transition from the use of copper ores in the oxidation zone to sulphide ores and further processing of the latter. Iron was obtained by reducing wustite trapped in the slag, as a result of regular chemical reactions. The restored lumps of iron were separated from the brittle copper-smelting slag by beating, which is where the Armenian name for this iron came from: Kritsa(y) - beaten, from the Armenian root "Kur".

Keywords: iron, copper, metallurgy, chalcopyrite, vustite, recovery, slag.

Ա.Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Գ.Ռ. ԿԱՆԵՑՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ՀԱԷԿ-ՈՒՄ ՌԻՍԿ-ՏԵՂԵԿԱՑՎԱԾ ՍՏՈՒԳՈՒՄՆԵՐԻ ԻՐԱԿԱՆԱՑՄԱՆ
ԳՈՐԾԸՆԹԱՑԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ

Միջուկային բնագավառը Կարգավորող մարմինը ստուգումների իրականացման միջոցով հավաստիանում է, որ միջուկային տեղակայանքների շահագործումն անվտանգ է: ՀՀ-ում ստուգումների իրականացման ռեսուրսների արդյունավետ օգտագործման և դրանով անվտանգության մակարդակի բարձրացման նպատակով մշակվել է ռիսկ տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթաց: Այն կազմվել է առկա գործընթացի տարբեր փուլերում ռիսկ - տեղեկացված մոտեցումների ներառման միջոցով: Ստուգումների ճիշտ թիրախավորման և խախտումներն ըստ կարևորության դասակարգելու շնորհիվ՝ արդյունավետ կդառնա ստուգումների գործընթացում Կարգավորող մարմնի ռեսուրսների օգտագործումը:

Առանցքային բառեր. ռիսկ-տեղեկացված ստուգումներ, անվտանգության հավանականային վերլուծություն (ԱՀՎ), ատոմային էլեկտրական կայան (ԱԷԿ), Հայկական ատոմային էլեկտրակայան (ՀԱԷԿ):

Ներածություն: Միջուկային տեղակայանքներում անվտանգ շահագործման պահանջների կատարումը վերահսկվում է որոտը Կարգավորող մարմնի կողմից: Կարգավորող մարմնի առաքելությունն է հավաստիանալ, որ միջուկային տեղակայանքի անձնակազմը, բնակչությունը և շրջակա միջավայրը պատշաճ մակարդակով պաշտպանված են տեղակայանքին բնորոշ ռիսկերից [1]: Անվտանգ շահագործման հավաստիացման վերահսկողական կարևոր մեխանիզմ է միջուկային տեղակայանքում ստուգումների իրականացումը, որը Կարգավորող մարմնի հիմնական գործառնություններից է: Կարգավորող մարմնի ստուգումների գործընթացներ կիրառվում են ատոմային էներգիայի օգտագործման օբյեկտների և օբյեկտներում իրականացվող գործողությունների նկատմամբ [2, 3]: Արտաքին ստուգումներից բացի, տեղակայանքներում իրականացվում են նաև ներքին ստուգումներ:

Կարգավորող մարմնի կողմից իրականացվող ստուգումների ծրագրման փուլում ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների կիրառումը կարող է նպաստել ստուգումների ծավալի և ռեսուրսատարության կրճատմանը [2, 3]: Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումներ են կոչվում դետերմինիստական և հավանականային ինֆորմացիան համադրող մոտեցումները: Այսինքն՝ մոտեցումներ, որոնք համատեղ կիրառում են կուտակված շահագործման փորձից հայտնի դարձած ինֆորմացիան և ԱՀՎ արդյունքները:

Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումներն ունեն տարբեր կիրառություններ: Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների կիրառության ոլորտներն են՝ ռիսկ-տեղեկացված ստուգումները, ինչպես նաև կարգավորող մարմնի որոշումների կայացման գործընթացը, որը կիրառություն է գտել մի շարք երկրների կարգավորող մարմինների կողմից: Վերջինիս նպատակը վտանգների և ռիսկերի դերի առավել հանգամանալից ներկայացումը և որոշումների կայացման գործընթացի հետ դրանց կապերի հաստատումն է [4]:

Աշխարհի տարբեր երկրներում (այդ թվում՝ նաև ՋՋԷՌ շահագործող երկրներից Ֆինլանդիայում) իրականացվել են ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների փորձնական ծրագրեր, որոնց նպատակն էր պարզել տվյալ միջուկային էներգաբլոկի ԱՀՎ արդյունքների հնարավոր կիրառելիությունը՝ ստուգման ենթակա տարրերի թիրախավորման նպատակով: Ուսումնասիրությունների նպատակներից էր նաև տեղակայանքների ուղղորդումը ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների և մոտեցումների մեթոդի ընտրության հարցում [5]:

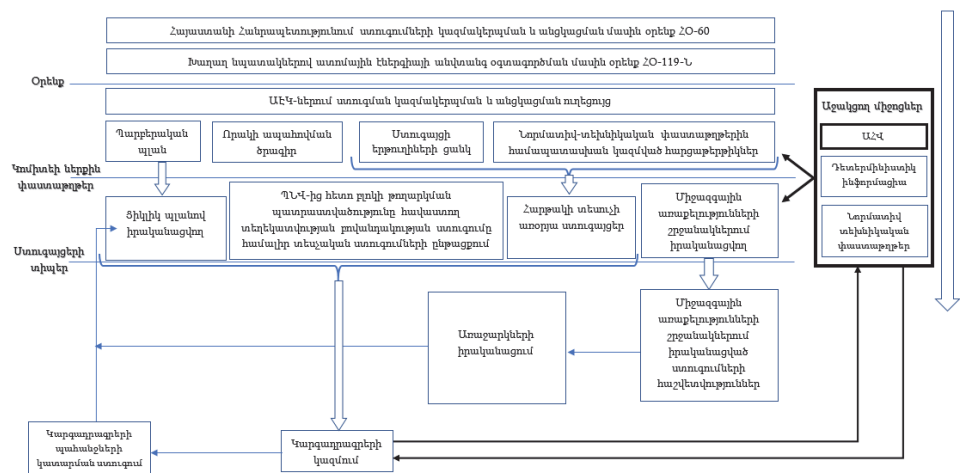
Ստուգումների ընթացքում բացահայտված խախտումների կարևորության գնահատման դեպքում, փորձագիտական գնահատման հետ մեկտեղ, երբեմն կիրառվում են նաև ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումներ: Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումները քանակական գնահատման հնարավորություն են ընձեռում: Փոքրաթիվ միջուկային էներգաբլոկներ շահագործող երկրներում, որպես կանոն, առկա են ստուգումների իրականացման սահմանափակ ռեսուրսներ (անձնակազմ, ֆինանսական միջոցներ և այլն), ուստի և արդիական է իրականացվող ստուգումների ռեսուրսատարության կրճատման խնդիրը: Այդ նպատակով մշակվում է ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթաց: Վերջինս մշակվում է այնպես, որ բարելավվի ԱԷԿ-ի ստուգումների արդյունավետությունը և հետևաբար՝ որոշակիորեն նաև ԱԷԿ-ի անվտանգության մակարդակը:

Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների կարևոր առանձնահատկություններից է նաև այն, որ դրանք բացահայտում են անվտանգության վրա մեծ դերակատարում ունեցող տարրերը՝ անգամ անվտանգության երրորդ և չորրորդ դասերի դեպքում: Մա իր հերթին կարող է նպաստել ստուգումների ապակենտրոնացմանը առաջին և երկրորդ անվտանգության դասերի համակարգերի տարրերից՝ նպաստելով ստուգումներն իրականացնող անձնակազմի ճառագայթային բեռնվածքի նվազեցմանը [5]:

Աշխատանքի նպատակն է մշակել ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթաց, որը կբարելավի ստուգումների իրականացումը, ինչպես նաև մեծածավալ ԱՀՎ և այլ ինֆորմացիայի ամբողջացման և ամփոփման միջոցով կստեղծի տեսուչների կիրառման համար ստուգումների արդյունավետ թիրախավորմանն օժանդակող հարմար գործիք:

Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթացի մշակումը: Միջազգային փորձի, խորհրդատվությունների, պահանջների ուսումնասիրության և վերլուծության հիման վրա, տեղական փորձի վերլուծության արդյունքում կիրառվող գործընթացի բարելավման նպատակով, մշակվել է ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթաց:

Ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների ինտեգրումը ՀՀ ՄԱԿԿ-ի (Միջուկային անվտանգության կարգավորման կոմիտեի) ստուգումների իրականացման գործընթացում սխեմայի տեսքով ներկայացված է նկ.1-ում:



Նկ.1. Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման առաջարկվող գործընթացը

Կիրառվող գործընթացի հիմքում ՀՀ օրենսդրությունը և Կոմիտեի մշակված ներքին փաստաթղթերն են: Դրանց հիման վրա կատարվում են տարբեր տիպի ստուգայցեր: Ստուգայցերի արդյունքում արձանագրվում են խախտումները, կազմվում դրանց վերացումը պահանջող կարգադրագրեր:

Ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացումը ենթադրում է ստուգումների ծրագրման ժամանակ դետերմինիստական ինֆորմացիայի հետ մեկտեղ ԱՀՎ արդյունքների կիրառում՝ թիրախավորելով ռիսկ-նշանակալի տարրերը: Ստուգումները ծրագրելիս ԱՀՎ արդյունքների կիրառմամբ բացահայտվում են ստուգման ենթակա կարևոր տարրերը: Վերջիններս ներառվում են ստուգման ծրագրում:

Կարգադրագրերում խախտումների վերացման ժամկետների սահմանման համար մշակվել է ռիսկ-տեղեկացված մոտեցում: Ստուգումների կազմակերպման և անցկացման գործընթացում ԱՀՎ արդյունքների կիրառումն ունի մի շարք դրական կողմեր, որոնցից են անվտանգության մակարդակի առավել արդյունավետ բարձրացումը, մարդկային ռեսուրսի արդյունավետ օգտագործումը, ինչպես նաև իրականացվող ստուգումների ծավալի հնարավոր կրճատումը:

ԱԷԿ-ներում ստուգումների իրականացման արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման միջազգային փորձի վերլուծություն:

Դիտարկվել է քսանից ավելի երկրների փորձը, և առանձնացվել են լավագույն մոտեցումները: Յուրաքանչյուր երկիր ունի արձանագրված խախտումների գնահատման իր ուրույն մոտեցումը: Որոշ երկրներ կիրառում են դետերմինիստական ինֆորմացիան կամ իրականացնում հավանականային վերահաշվարկներ, մինչդեռ այլ երկրներ համադրում են այդ երկու մոտեցումները: Մոտեցումները համադրող երկրների շարքում են ԱՄՆ-ը, Իսպանիան, Հարավաֆրիկյան Հանրապետությունը, Մեքսիկան, Շվեյցարիան, Ուկրաինան, Ֆինլանդիան, Ֆրանսիան [6-8]:

Մլովակիայում խախտումների կարևորության գնահատումը վիճակագրական է: Վիճակագրական գնահատման նպատակն է ստանալ խախտումների բաշխումը և հաճախականությունը [6]: Ֆրանսիայում խախտումների կրկնելիությունը կարող է օգտագործվել որպես կարևորության որոշման ցուցանիշներից մեկը [6]:

Այլ երկրներ ծրագրում են խախտումների կարևորության գնահատման գործընթացում ներառել ռիսկ-նշանակալիության գնահատումներ: Չեխիայում աշխատանքներ են կատարվում խախտումների գնահատման հավանականային մոտեցումը դետերմինիստական մոտեցման կիրառման մակարդակին հասցնելու ուղղությամբ [6]: Ճապոնիայում կան մտադրություններ՝ ուսումնասիրելու ռիսկ-նշանակալիության գնահատման կոնկրետ մոտեցումները և պարզելու պահանջվող հավաքագրվելիք ինֆորմացիայի շրջանակը, որպեսզի կազմվի յուրաքանչյուր ռեակտորային տեղակայանքի համար հուսալի ինֆորմացիայի հավաքագրման համակարգ, որը կկիրառվի խախտումների ռիսկ-նշանակալիության գնահատման նպատակով [6]:

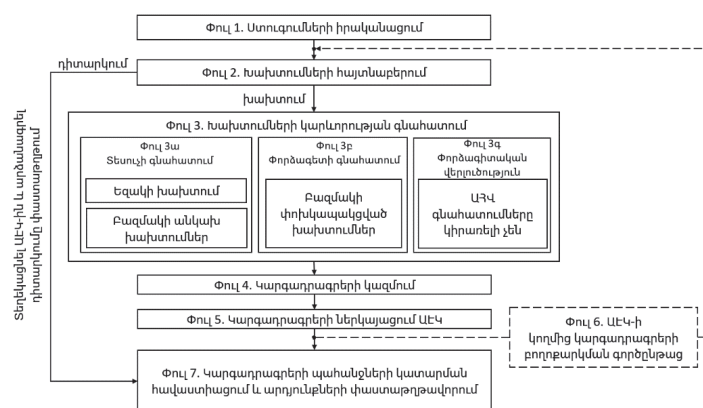
Դիտարկված բոլոր երկրների փորձը հաշվի առնելով՝ մշակվել է մեր երկրում կիրառելիության տեսանկյունից հարմար գործընթաց, որը հստակ սահմանում է, թե որ դեպքերում ինչ գնահատման տարբերակից է պետք օգտվել, ինչպես նաև տալիս է խախտումների քանակական գնահատման հստակ մեխանիզմ: Ի տարբերություն այլ երկրների, արդեն իսկ առկա էր նմանատիպ գործընթացների կիրառման միջազգային փորձ: Վերջինիս վերլուծությունն օգտակար է եղել այլ երկրներում համանման գործընթացների ներդրման ընթացքում արդեն իսկ բացահայտված թերությունները հաշվի առնելով՝ բացառել դրանց կրկնությունը: Մշակված գործընթացում ներդրված են նոր մոտեցումներ:

ԱԷԳ-ի փաստաթղթերում ներկայացված խորհրդատվությունների և պահանջների վերլուծություն: ԱԷԳ-ի պահանջների համաձայն՝ պետք է կազմվի խախտումների վերլուծության և դրանց վերացման հետ կապված հետագա գործողությունների համակարգված ծրագիր: Ծրագիրը պետք է ընդգրկի արձանագրված խախտման վերացման հետ կապված գործողությունների պարբերական վերա-

նայում և հսկում՝ համոզվելու համար, որ լիցենզակիրը կատարում է խախտման վերացման պահանջները: Գործողությունների ավարտից հետո խախտումների վերացման արդյունքները պետք է փաստաթղթավորվեն [9]:

ԱԷԿ-ներում իրականացվող ստուգումների արդյունքում հայտնաբերված խախտումների կարևորության գնահատման մշակված գործընթացը: Կիրառվող գործընթացի բարելավման նպատակով մշակված է նոր մոտեցում: Մոտեցումը մշակվել է՝ հաշվի առնելով միջազգային փորձը, միջազգային կարգավորող փաստաթղթերի պահանջները և խորհրդատվությունները:

Առաջարկվող գործընթացը սկսվում է ստուգումների իրականացմամբ: Ստուգումների վերջնարդյունք են արձանագրված դիտարկումները և խախտումները: Խախտումները պետք է տարբերակվեն նվազ կարևոր և գնահատում չպահանջող դիտարկումներից: Դիտարկումը համարվում է խախտում, եթե անվտանգության առումով ունի զգալի ազդեցություն: Եթե դիտարկման ազդեցությունը անվտանգության առումով նվազ կարևորություն ունի, ապա այն ենթակա չէ գնահատման, սակայն ենթակա է շտկման: Տեսուչը պետք է կատարի յուրաքանչյուր արձանագրված խախտման կարևորության գնահատում կամ դիմի գնահատումների իրականացման համար պատասխանատու փորձագետների օգնությանը: Գնահատումներից հետո կազմվում են կարգադրագրեր, որոնցում նշվում են խախտումների վերացման ժամկետները: Լիցենզակիրը կարող է բողոքարկել կարգադրագրերը՝ ներկայացնելով հիմնավորումներ: Բողոքարկման դեպքում գնահատումը վերանայվում է, և կազմվում են նոր կարգադրագրեր, որոնք արդեն ենթակա չեն բողոքարկման: Գործընթացն ավարտվում է կարգավորող մարմնի կողմից կարգադրագրերի պահանջների կատարման ստուգմամբ և արդյունքների փաստաթղթավորմամբ: Գործընթացը սխեմայի տեսքով պատկերված է նկ.2-ում:



Նկ.2. Ստուգումների իրականացման արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մշակված գործընթացը

Գործընթացի փուլերի մանրամասն մեկնությունը բերված է ստորև.

Փուլ 1՝ ստուգումների իրականացում. Կարգավորող մարմնի գլխավոր պարտականություններից է ԱԷԿ-ում ստուգումների իրականացումը: Ստուգումների վերջնարդյունք են արձանագրված դիտարկումները և/կամ խախտումները:

Փուլ 2՝ խախտումների հայտնաբերում. Տեսուչների կողմից դիտարկումների՝ խախտումներից տարբերակմանն օժանդակելու համար պետք է կազմվեն հարցաշարեր, որոնք հաշվի կառնեն ազգային կարգավորող փաստաթղթերի պահանջները, ԱԷՄԳ-ի IAEA-TECDOC-1867-ում [10] առաջարկվող, ինչպես նաև ԱՄՆ-ի Միջուկային ոլորտը կարգավորող մարմնի «Կարևորության որոշման» գործընթացում ներկայացված հարցաշարերը [11]:

Փուլ 3՝ խախտումների կարևորության գնահատում. Խախտման կարևորության գնահատման փուլն ընդգրկում է երեք տարբեր ուղիներ՝ ԱՀՎ մոդելում արտացոլված եզակի կամ բազմակի անկախ խախտումների կարևորության գնահատում (փուլ 3ա), ԱՀՎ մոդելում արտացոլված բազմակի փոխկապակցված խախտումների կարևորության գնահատում (փուլ 3բ), ԱՀՎ մոդելում չարտացոլված խախտումների կարևորության գնահատում (փուլ 3գ):

Փուլ 3ա՝ տեսուչի գնահատական. Եզակի խախտման կամ բազմակի, միմյանցից անկախ խախտումների կարևորությունը որոշվում է համակարգերի տարրերի ռիսկ-նշանակալիության ցանկերի կիրառմամբ:

ԱՀՎ ոլորտում կան տարատեսակ կարևորության ցուցիչներ, որոնք ԱՀՎ մոդելը կիրառելի են դարձնում ցանկացած տիպի վերլուծության շրջանակներում՝ կարևոր տարրերի ընտրության գործընթացում:

Համակարգերի, տարրերի, անձնակազմի սխալներն ըստ ռիսկ-նշանակալիության դասակարգելու համար կօգտագործվեն RAW (Risk achievement worth) և FC (Fractional contribution) ցուցանիշները հետևյալ կերպ [12]՝

- Բարձր ռիսկ-նշանակալիություն՝

$$RAW(E) > 2 \text{ և } FC(E) > 0.005 \text{ կամ } RAW(E) > 100 \text{ կամ } FC(E) > 0.1;$$

- Միջին ռիսկ նշանակալիություն՝

$$2 < RAW(E) < 100 \text{ և } FC(E) < 0.005 \text{ կամ } RAW(E) < 2 \text{ և } FC(E) > 0.005;$$

- Ցածր ռիսկ-նշանակալիություն՝ $RAW(E) < 2$ և $FC(E) < 0.005$:

FC (Fractional Contribution) - որքանով է դիտարկվող բաղադրիչը կամ միջոցը նպաստում համակարգի ձախողմանը: Ներկայացվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$FC(E) = \frac{\sum_i \text{cutset}_i(E)}{P_{top}},$$

որտեղ $\sum_i \text{cutset}_i(E)$ -ը E-րդ պատահարի առաջացման համար բավարար խափանումների փոքրագույն համադրությունների հավանականությունների գումարն է, որը որոշվում է Բուլյան հանրահաշվի կիրառմամբ՝ համակարգչային կոդերի միջոցով, P_{top} -ը՝ դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը:

RAW (Risk Achievement Worth) - ցույց է տալիս, թե քանի անգամ է աճում դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը՝ դիտարկվող բաղադրիչի անաշխատունակության պատճառով: Ներկայացվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$RAW(E) = \frac{P_{top}(1)}{P_{top}},$$

որտեղ E -ն դիտարկվող հիմնական իրադարձությունն է, $P(E)$ -ն՝ E իրադարձության տեղի ունենալու հավանականությունը, P_{top} -ը՝ դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը, $P_{top}(x)$ - ը՝ դիտարկվող երևույթի ընդհանուր հավանականությունը, երբ $P(E) = x$ [13]:

Որպես օրինակ աղյուսակում բերված է ՀԱԷԿ-ի համակարգերի տարրերի ռիսկ-նշանակալիության ցուցակներից մեկ հատված [14]:

Եթե տարրի անվտանգության դասը 1 կամ 2 է, ապա խախտման կարևորությունը բարձրացվում է՝ ռիսկ-նշանակալիության ցուցանիշներից անկախ:

Աղյուսակ

ՀԱԷԿ-ի վթարային լրասնման համակարգի որոշ տարրերի ռիսկ-նշանակալիության FC և RIF ցուցանիշները

Հ/հ	Տարրը	FC	RIF
Ռիսկ-նշանակալիությունը՝ բարձր			
EM-PC-2APN-1	ՎԼՀ պոմպ 2ԱՊԻ-1	3.36E-02	5.90E+02
EM-PC-2APN-2	ՎԼՀ պոմպ 2ԱՊԻ-2	3.36E-02	5.90E+02
EM-PC-2APN-3	ՎԼՀ պոմպ 2ԱՊԻ-3	3.36E-02	5.90E+02
Ռիսկ-նշանակալիությունը՝ միջին			
EM-VI-2R-9-2	Ամրան 2P-9/2	1.23E-05	5.31E+00
EM-VI-2R-9-4	Ամրան 2P-9/4	1.23E-05	5.31E+00
EM-VI-2R-9-6	Ամրան 2P-9/6	1.23E-05	5.31E+00

Փուլ 3բ՝ փորձագետի գնահատում. Բազմակի, փոխկապակցված խախտումների ռիսկ-նշանակալիությունը չի կարող որոշվել համակարգերի տարրերի ռիսկ-նշանակալիության ցանկերի կիրառմամբ: Անվտանգության առումով բազմակի

խախտումների արդյունաբար ազդեցության գնահատման համար փորձագետը գնահատում է դրանց ռիսկ-նշանակալիությունը՝ ԱՀՎ մոդելում համապատասխան փոփոխություններ կատարելուց հետո վերահաշվարկներ կատարելով:

Փուլ 3գ՝ փորձագիտական վերլուծություն. Որոշ խախտումների ռիսկ-նշանակալիությունը չի կարող գնահատվել ո՛չ ցանկերի միջոցով, ո՛չ էլ ԱՀՎ մոդելների կիրառմամբ, քանի որ դրանք արտացոլված չեն մոդելներում: Հետևաբար՝ այս խախտումները պահանջում են փորձագիտական վերլուծության իրականացում: Փորձագետները խախտումների կարևորությունը որոշում են՝ ելնելով բազմաթիվ գործոններից:

Գնահատումները պետք է կատարվեն սահմանված ժամկետներում: Գնահատումների կատարման ժամկետները կարող են երկարաձգվել առանձին դեպքերում՝ կարգավորող մարմնի թույլտվությամբ:

Փուլ 4՝ կարգադրագրերի կազմում. Կարգադրագրերը պաշտոնական փաստաթղթեր են, որոնք պարտավորեցնում են լիցենզակիրին՝ վերացնելու խախտումը սահմանված ժամկետում:

Փուլ 5՝ կարգադրագրերի ներկայացում ԱԷԿ. Կարգադրագրերը կազմելուց հետո դրանք ներկայացվում են ԱԷԿ:

Փուլ 6՝ ԱԷԿ-ի կողմից կարգադրագրերի բողոքարկման գործընթաց. Կարգավորող մարմնի կողմից կարգադրագրերը ստանալուց հետո լիցենզակիրն իրավունք ունի հինգ աշխատանքային օրվա ընթացքում բողոքարկել տրված գնահատականը և սահմանված ժամկետը՝ ներկայացնելով հիմնավոր պատճառներ: Եթե լիցենզակրի ներկայացրած հիմնավորումները տեղին են և արժեքավոր, ապա տեսուչը կամ փորձագետը պարտավոր են վերանայել խախտման տարբերակումը դիտարկումից և խախտման կարևորությանը տրված գնահատականը: Արդյունքում որոշվում է վերջնական ռիսկ-նշանակալիությունը, և կազմվում են կարգադրագրեր, որոնք արդեն ենթակա չեն բողոքարկման: Լիցենզակիրը կամ կարգավորող մարմինը անհրաժեշտության դեպքում կարող են աշխատանքային հանդիպում նախաձեռնել:

Փուլ 7՝ կարգադրագրերի պահանջների կատարման հավաստիացում և արդյունքների փաստաթղթավորում. Սահմանված ժամկետի ավարտին կարգավորող մարմինը պետք է հավաստիանա, որ լիցենզակիրը կատարել է կարգադրագրերում նշված պահանջները, և փաստաթղթավորի արդյունքները:

Բոլոր փուլերի արդյունքները պետք է պարտադիր կերպով փաստաթղթավորվեն: Նպատակահարմար է, որ տեսուչներն օգտվեն մշակված մոտեցումից, քանի որ այն գնահատման պարզ գործիք է և պահանջում է միայն կատարել հստակ սահմանված քայլերը: Գործընթացը գերծ է սուբյեկտիվ գնահատումներից և ամբողջովին համահունչ է միջազգային պահանջներին:

Եզրակացություն. Մշակված է ՀԱԷԿ-ում ռիսկ-տեղեկացված ստուգումների իրականացման գործընթաց: Մշակված գործընթացը հիմնվել է առկա գործընթացի վրա՝ ստուգումների ծրագրման և հայտնաբերված խախտումների գնահատման փուլերում ռիսկ-տեղեկացված մոտեցումների ներդրմամբ: Մշակված գործընթացի կիրառման արդյունքում արդյունավետ կդառնա ստուգումների գործընթացում Կարգավորող մարմնի ռեսուրսների օգտագործումը: ԱԷԿ-ում իրականացվող ստուգումների արդյունքում արձանագրված խախտումների կարևորության գնահատման մշակված գործընթացի կիրառումը հնարավորություն է տալիս համակարգված կերպով իրականացնել դիտարկումների տարբերակումը գնահատման ենթակա խախտումներից, արձանագրված խախտումները դասակարգել ըստ կարևորության և առավել հիմնավոր կերպով սահմանել կարգադրագրերում նշվող պահանջների կատարման ժամկետները: Խախտումների գնահատման մշակված գործընթացը համապատասխանում է խախտումների գնահատման համակարգի առկայության ԱԷՄԳ պահանջին:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. IAEA-TECDOC-1090 Quality assurance within regulatory bodies.- Vienna, 1999.
2. **Կանեցյան Գ.** ՀՀ ԿԱ ՄԱԿՊԿ-ի կողմից ՀԱԷԿ-ում իրականացվող ստուգումների պլանավորման և անցկացման մեթոդաբանության առաջարկ/ ՄՌԱԳԿ.-2019.-101 էջ:
3. **Կանեցյան Գ.** Ռիսկ-տեղեկացված տեսչական ստուգումների պլանավորման վերաբերյալ մեթոդաբանական փաստաթղթի առաջին տարբերակի մշակում/ ՄՌԱԳԿ.- 2017.- 43էջ:
4. **Gordon J., Turner S.**, Office for nuclear regulation – risk informed regulatory decision making.
5. <https://www.irpa.net/members/P11.47fp.pdf> 18.03.2021.
6. **International** workshop on risk informed inspection, inspection of performance of licensee organisation, and inspection aspects of plant near or at end-of-life. Appendix – Compilation of survey responses, 92p., © OECD 2005.
7. **Performance** of regulatory inspections in radiation protection at the Koeberg Nuclear Power Station (KNPS) Vanessa Majola National Nuclear Regulator (NNR).- Duynfontein, 7441, South Africa.
8. Application of Risk-Informed Approaches in Inspection Activity **G. Gromov, A. Dybach, A. Sevbo, et al** // Nuclear and radiation safety.-2010.-№3.-P.9-15. http://digitalrepository.unm.edu/ne_etds/22
9. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1804_web.pdf 18.03.2021.
10. **IAEA-TECDOC-1867** Handbook for Regulatory Inspectors of Nuclear Power Plants.
11. <https://www.nrc.gov/docs/ML1924/ML19247C384.pdf>
12. **Working** group on the regulatory use of PRA Methodology: Final Report of the 4th Mandate.-Budapest, 2018.

13. **Կանեցյան Գ. Ռ.** Ռիսկ-տեղեկացված տեսչական ստուգումների պլանավորման վերաբերյալ առաջարկ: NRSC-A117-3.2.Տարբերակ 01:
14. **Kanetsyan G.** Development of the first version of the methodological document on Risk-informed inspection planning Version 01: NRSC.-2018.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: «Միջուկային և ռադիացիոն անվտանգության գիտատեխնիկական կենտրոն» ՓԲԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.03.2021:

Ա.Գ. ХАЧАТРЯН, Г.Р. КАНЕЦЯН, А.А. ГЕВОРГЯН

РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ РИСК-ИНФОРМИРОВАННЫХ ИНСПЕКЦИЙ НА ААЭС

Регулирующий орган ядерной сферы удостоверяется в безопасной эксплуатации ядерных установок посредством проведения инспекций. Разработан процесс проведения риск-информированных инспекций с целью эффективного использования инспекционных ресурсов Республики Армения и, как следствие, повышения уровня безопасности. Процесс составлен посредством внедрения риск-информированных подходов на разных этапах действующего процесса. Благодаря правильному определению инспекционных целей и классификации нарушений по важности, использование инспекционных ресурсов Регулирующего органа станет эффективным.

Ключевые слова: риск-информированные инспекции, вероятностный анализ безопасности (ВАБ), Атомная электрическая станция (АЭС), Армянская атомная электростанция (ААЭС).

A.G. KHACHATRYAN, G.R. KANETSYAN, A.A. GEVORGYAN

DEVELOPING THE PROCESS OF PERFORMING RISK-INFORMED INSPECTIONS AT THE ANPP

The Regulatory body of the nuclear field is ensured by the safe operation of nuclear installations by means of performing inspections. A procedure to perform risk-informed inspections is developed aimed at making the use of inspection resources of RA efficient, and consequently, improving the safety level. The procedure is developed via introduction of risk-informed approaches in different phases of the current procedure. Due to the right targeting of inspections and the classification of inspection findings according to their significance, the use of inspection resources of the Regulatory body will become efficient.

Keywords: risk-informed inspections, probabilistic safety assessment (PSA), nuclear power plant (NPP), Armenian Nuclear Power plant (ANPP).

Լ.Լ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ՎԻՐՏՈՒԱԼ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԽՆԴՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ VOIP ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ

Մշակված է մոդել, որը նկարագրում է ամպային սերվերների հաշվողական ռեսուրսների դինամիկ բաշխումը այդ սերվերների վրա գործող վիրտուալ մեքենաների միջև: Պատկերված է այդ մոդելի կիրառման նպատակահարմարությունը VoIP համակարգերում, նկարագրված են VMware համապատասխան ռեսուրսների դինամիկ բաշխման ծրագրային միջոցները միջավայրում և կիրառման արդյունքները:

Առանցքային բառեր. համացանց, ամպային ծառայություններ, VoIP, հաշվողական ռեսուրսների դինամիկ բաշխում, վիրտուալ մեքենաներ, ձայնային կոդեկներ:

Համացանցի բուռն զարգացումը հիմք ծառայեց նրա ակտիվ ներթափանցմանը, համագործակցմանը, իսկ հետագայում՝ նաև գերիշխմանը ավանդական տեխնոլոգիաների ոլորտում: Այդ ոլորտներից էր նաև հեռախոսային կապը, որի համար ստեղծվեց VoIP (Voice over IP- ձայնի փոխանցում համացանցով) տեխնոլոգիան, որն էապես էժանացնում է հեռախոսային խոսակցության արժեքը, ապահովում է ձայնի փոխանցման բարձր որակ, հուսալիություն և գաղտնիություն:

VoIP-ն սկսվեց համապատասխան սարքավորումների՝ IP PBX (IP հեռախոսակայանների), դրանց ծրագրային ապահովման նախագծումից [1] և հետագա զարգացումից [2, 3]: Վերջին տարիներին այդ VoIP սարքավորումների համար մշակված ծրագրային ապահովումը հարմարեցվում և շահագործվում է ամպային սերվերներում [4]՝ հիմնականում օգտագործելով մեկ սերվերի վրա գործող մի քանի վիրտուալ մեքենաներ: Այս մոտեցումը հնարավորություն է տալիս կազմակերպություններին՝ սարքավորումների գնման և սպասարկման ծախսերը փոխարինելու ամսավճարով, որը ներկայումս լայնորեն կիրառվում է միջին և փոքր, հատկապես նորաստեղծ կազմակերպությունների կողմից:

Ամպային սերվերներում VoIP ծրագրային ապահովման շահագործումը առաջ է բերում այդ սերվերների ռեսուրսների օպտիմալ կառավարման խնդիրը այս համակարգերի համար, որի լուծման համապատասխան մոդելը և ծրագրային միջոցները նկարագրված են սույն աշխատանքում:

Ներկայացնենք նախ հետևյալ սահմանումները:

$VM = \{VM_1, VM_2, \dots, VM_N\}$ -ը վիրտուալ մեքենաների բազմություն է, որոնք աշխատում են S սերվերի վրա և օգտագործում են ռեսուրսներ S սերվերին

հասանելի $R = \{R^1, R^2, \dots, R^L\}$ բազմությունից, իսկ $v_k(R^k)$ ֆունկցիան վերադարձնում է R^k բազմության կամայական ռեսուրսի օգտագործման թվային չափանիշը:

S սերվերի և $VM_1, VM_2, \dots, VM_N$ վիրտուալ մեքենաների աշխատանքի ժամանակը ներկայացնենք որոշակի T կրկնվող ժամանակաշրջանի $T_1, T_2, \dots, T_M$ ժամանակահատվածներով՝ մեկ շաբաթվա ժամերի նմանությամբ:

Ամեն VM_i վիրտուալ մեքենային և T_j ժամանակահատվածին համապատասխանեցնենք $\{A_{ij}^k\}, \{P_{ij}\}, \{UR_{ij}^k\}, \{C_{ij}\}$ բազմությունները ($i=1,2,\dots,N$), ($j=1,2,\dots,M$), ($k=1,2,\dots,L$), որտեղ $A_{ij}^k = v_k(R_{ij}^k)$ -ն V_i -ը վիրտուալ մեքենային տրամադրված R^k ռեսուրսի չափանիշն է T_j ժամանակահատվածում, P_{ij} -ն՝ V_i -ը վիրտուալ մեքենայի վրա կատարվող խնդիրների բազմությունը T_j ժամանակահատվածում, $UR_{ij}^k = f_k(P_{ij}, R^k)$ -ը, V_i -ը՝ վիրտուալ մեքենայի՝ T_i ժամանակահատվածում R^k օգտագործվող ռեսուրսի չափանիշը P_{ij} կատարվող խնդիրների բազմության դեպքում, որտեղ f_k -ն այն ֆունկցիան է, որը հաշվարկում է R^k օգտագործվող ռեսուրսի չափանիշը P_{ij} խնդիրների բազմության դեպքում, C_{ij} -ն V_i -ը՝ վիրտուալ մեքենայի ռեսուրսների դեկլարման պարամետրերի բազմությունը T_i ժամանակահատվածում:

Անխափան աշխատանքի համար ցանկացած T_i ժամանակահատվածում պետք է տեղի ունենան հետևյալ պայմանները.

1. $A_{ij}^k \geq UR_{ij}^k$, կամայական T_i ժամանակահատվածի և R^k ռեսուրսի, այսինքն՝ բոլոր վիրտուալ մեքենաներին տրամադրված R_{ij}^k ռեսուրսների դեպքում A_{ij}^k չափանիշները պետք է բավարար լինեն՝ կատարվող խնդիրներն իրականացնելու համար.

2. $\sum_{i=1}^N A_{ij}^k \leq v_k(R^k)$ կամայական T_i ժամանակահատվածի և R^k ռեսուրսների, այսինքն՝ բոլոր վիրտուալ մեքենաներին տրամադրված R_{ij}^k ռեսուրսների դեպքում չափանիշների գումարը չի կարող գերազանցել R^k ռեսուրսի առավելագույն չափանիշը:

Մյուս կողմից՝ ռեսուրսների օպտիմալ օգտագործման համար անհրաժեշտ է նվազեցնել տրամադրված և իրականում օգտագործվող ռեսուրսների չափանիշների տարբերության՝ $v_k(R^k) - \sum_{i=1}^N A_{ij}^k$ արժեքը, պահպանելով վերոնշյալ պայմանները:

Այս պայմանները պահպանելու համար անհրաժեշտ է օպտիմալ կերպով սահմանել C_{ij} ռեսուրսների դեկլարման պարամետրերի բազմությունները կամայական VM_i վիրտուալ մեքենաների և T_j ժամանակահատվածի համար:

Եթե նույն սերվերում գործող V_i մեքենաների վրա կատարվող P_{ij} խնդիրների բազմությունը տարբերվում է տարբեր T_j ժամանակահատվածներում, ապա պահպանելով (1) և (2) պայմանները և ելնելով խնդիրների բաշխման վերլուծության արդյունքներից՝ նպատակահարմար է C_{ij} դեկլարման պարամետրերի միջոցով

նվազեցնել կամ ավելացնել V_i վիրտուալ մեքենային հատկացված R^k ռեսուրսները T_j -ի ժամանակահատվածում, դրանով իսկ դինամիկ կերպով վերաբաշխելով բոլոր R^k ռեսուրսները:

Այսպիսով, ռեսուրսների դինամիկ բաշխման ընդհանուր համակարգը պետք է բաղկացած լինի երկու առանձին համակարգերից՝

- կամայական VM_i վիրտուալ մեքենաների և T_i ժամանակահատվածների P_{ij} կատարվող խնդիրների մասին տվյալների կուտակման և վերլուծության համակարգ, որը նաև հաշվարկում է UR_{ij}^k արժեքները և սահմանում C_{ij} ռեսուրսների ղեկավարման պարամետրերի արժեքները,

- S սերվերի ռեսուրսների դինամիկ բաշխման համակարգ, որը որպես մուտքային տվյալներ օգտագործում է C_{ij} ռեսուրսների ղեկավարման պարամետրերի արժեքները:

Բնական է, որ S սերվերի ռեսուրսների դինամիկ բաշխումը որոշակի ժամանակաշրջանի ընթացքում նպատակահարմար է կատարել միայն այն դեպքում, երբ տարբեր վիրտուալ մեքենաների վրա կատարվող խնդիրների քանակը կանոնավոր կերպով էապես փոփոխվում է առանձին ժամանակահատվածներում: Հենց այս պայմանին են բավարարում VoIP-ի համակարգերը. դրանց հիմնական խնդիրները հեռախոսազանգերն են, որոնք մեծ մասամբ կատարվում են աշխատանքային ժամերին, իսկ աշխատանքային ժամերը տարբերվում են ըստ երկրների (աղ. 1):

Աղյուսակ 1

Աշխատանքային ժամերի բաշխումը՝ ըստ 0-կան ժամային գոտու

Նոր Զելանդիա																		Ն. Զել.											
						Հայաստան																							
																		ԱՄՆ											
Ժամ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23					

Այս հանգամանքից ելնելով, համաձայն նկարագրված մոդելի, մշակվել են համապատասխան միջոցներ, որոնք իրականացնում են սերվերների ռեսուրսների դինամիկ բաշխումը VoIP-ի համակարգեր սպասարկող վիրտուալ մեքենաների միջև: Տվյալների կուտակումը և վերլուծությունը կատարվում է EpygiArm ընկերության ecMON գործիքի միջոցով, որը կատարում է նաև սպասարկման այլ խնդիրներ՝ վճարումների ստուգում, հասանելիություն, ծրագրային ապահովման թարմացում և այլն: Բաշխման ենթահամակարգն իրականացվել է VMWARE համակարգում տեղադրված վիրտուալ մեքենաների միջև, որոնց վրա գործում են տարբեր երկրների կազմակերպությունները սպասարկող VoIP համակարգեր: Որպես S

սերվերի բաշխվող R^1 և R^2 ռեսուրսներ հանդիսացել է պրոցեսորի և ցանցային թողունակություն օգտագործումը, իսկ խնդիրներ՝ հեռախոսագանգերի կատարումը: Այս հեռախոսագանգերի համար R^1 և R^2 օգտագործվող ռեսուրսների արժեքները կախված են կիրառվող ձայնային կոդեկներից, իսկ f_1 և f_2 ֆունկցիաները հաշվարկում են օգտագործվող ռեսուրսների չափանիշները ներկայացված արժեքների հիման վրա (աղ. 2):

Աղյուսակ 2

Ռեսուրսների օգտագործման արժեքները՝ ըստ ձայնային կոդեկների [5-8]

	G.711u/G.711a	G.726-40	G.729a	iLBC-13.33
Պրոցեսոր (MHz)	1.2	4.1	8.5	18.4
Ցանցային թողունակություն (kb/s)	84	53	29	27

Ստորև ներկայացված են դինամիկ բաշխման իրականացման հիմնական քայլերը.

- Նոր VoIP համակարգը վիրտուալ մեքենայի վրա տեղադրելիս հատկացվում են ռեսուրսներ, որոնք ապահովում են համակարգի անխափան աշխատանքը՝ ըստ պատվիրած հեռախոսագանգերի առավելագույն քանակի: Դրանք ընդգրկում են նաև այն ռեսուրսները, որոնք անհրաժեշտ են բուն համակարգին և մնում են անփոփոխ ամբողջ ժամանակ:

- Ամեն մի վիրտուալ մեքենայից, որի վրա գործում է համապատասխան VoIP-ի համակարգը, ստացվում են կատարվող զանգերի մասին տեղեկություններ, որոնցից են կոնկրետ ժամերին կատարված զանգերի քանակը և VoIP կոդեկի տեսակը մեկ շաբաթվա բոլոր ժամերին:

- Ամեն մի վիրտուալ մեքենայի համար հաշվարկվում է պահանջվող ռեսուրսների քանակը, և սահմանվում են ռեսուրսների ղեկավարման պարամետրերի արժեքները:

- VMWARE PowerCLI-ի միջոցով իրականացվում է դինամիկ բաշխումը:

Նման մոտեցումը հնարավորություն է տալիս նույն սերվերին ավելացնել տեղադրված VoIP համակարգերի քանակը, ինչը էապես նվազեցնում է շահագործման ծախսերը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Wallingford T.** Switching to VoIP, O'Reilly Media, Inc., 2003. - 477 p.
2. **Harutyunyan L. Gardishyan H.** Real time resource management in VoIP voice data processing systems //Proc. of the IASTED International Conference on Automation, Control and Information Technology with cooperation of Russian Academy of Science.- Novosibirsk, 2005. -P.62-65.

3. **Гардишян Г., Арутюнян Л.** Об одном подходе к организации систем обработки звуковых данных в IP сетях //Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН.- 2005.- Т. LVIII, №1. -С.115 -119.
4. **Marinescu D.** Cloud Computing: Theory and Practice.- Newnes, 2013. - 416 p.
5. G.711 : Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.711-198811-I/en>
6. G.726 : 40, 32, 24, 16 kbit/s Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM) <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.726-199012-I/en>
7. G.729 : Coding of speech at 8 kbit/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear prediction (CS-ACELP), <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.729-201206-I/en>
8. Internet Low Bitrate Codec, <https://www.ietf.org/rfc/rfc3951.txt>

«ՀՓԻՋԻ Արմ» ՍՊԸ: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 18.03.2021:

Լ.Լ. ԱՐՄԵՆՅԱՆ

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ VOIP СИСТЕМ

Разработана модель динамического распределения ресурсов облачных серверов между функционирующими на них виртуальными машинами. Показана целесообразность применения этой модели для систем VoIP. Представлены программные средства динамического распределения ресурсов между виртуальными машинами в среде VMware и результаты их практического применения.

Ключевые слов: Интернет, облачные технологии, VoIP, динамическое распределение вычислительных ресурсов, виртуальные машины, голосовые кодеки.

L.L. HARUTYUNYAN

SOLVING THE PROBLEM OF OPTIMAL MANAGEMENT OF VIRTUAL MACHINE RESOURCES FOR VOIP SYSTEMS

A model for the dynamic distribution of cloud server resources between virtual machines operating on them has been developed. The expediency of using this model for VoIP systems is shown. Software tools for the dynamic allocation of resources between virtual machines in the VMware environment, and the results of their practical application are presented.

Keywords: Internet, cloud technologies, VoIP, dynamic computing resource allocation, virtual machines, voice codecs.

Ա.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

ԲԶԶԱՑԻՆ ԿԱՊԻ ՑԱՆՑԵՐԻ ԲԱԶԱՑԻՆ ԿԱՑԱՆՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԱԾԱԽՄԻ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Առաջարկվել է բջջային կապի ցանցերի բազային կայանների էներգածախսի գնահատման մաթեմատիկական մոդել, որը հաշվի է առնում կայանների համալրող տեխնիկական միջոցների աշխատանքային և դրվածքային հզորությունները, ինչպես նաև հնարավոր էներգետիկական կորուստները: Գնահատվել և վերլուծվել են տարբեր հզորությամբ կայանների էներգածախսը և դրա բաշխվածությունը՝ ըստ տեխնիկական միջոցների: Նշվել են բազային կայանների էներգաարդյունավետության բարձրացման հնարավոր եղանակները և էներգախնայողության ուղիները:

Առանցքային բառեր. բջջային կապ, բազային կայան, էներգածախս, էներգաարդյունավետություն:

Ներածություն: Ժամանակակից անլար կապի տեխնոլոգիաների զարգացումն ուղղված է կապի հուսալիության, թողունակության և արագագործության բարձրացմանը: Այդ նպատակով ներկայումս լայնորեն մշակվում և կիրառվում են բջջային ցանցերի բազային կայանների (Basic Station - BS) լավարկման նոր տեխնոլոգիական և ալգորիթմական լուծումներ, ավելի զարգացած և ընդլայնված հնարավորություններով համակարգեր:

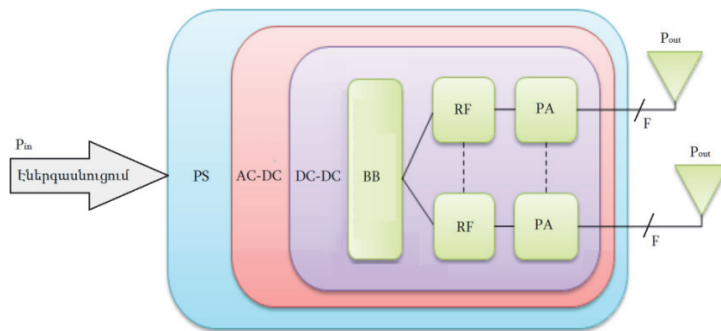
Դրանց թվին են պատկանում բջջային կապի, այսպես կոչված, «հետերոգեն ցանցերը» (Heterogeneous Network - HetNet) [1], որոնք ներառում են ինչպես սովորական մակրո BS-ներ (macroBS), այնպես էլ ավելի փոքր հզորությամբ և սպասարկման ծածկույթով միկրո BS-ներ (microBS): Զուգակցված կիրառվում են նաև առավել փոքր BS-ներ՝ պիկո և ֆեմտո (picoBS, femtoBS): Այսպիսի բազմաշերտ կառուցվածքում մակրո շերտը ծածկույթ է ապահովում մեծ արագությամբ շարժվող և այն տարածքի բաժանորդներին, որտեղ միկրո, պիկո և ֆեմտո շերտերի ծածկույթը բացակայում է, իսկ վերջիններս ապահովում են մեծ արագությամբ և մեծ թողունակությամբ կապ այն հատվածներում, որտեղ կա բաժանորդային սարքավորումների մեծ խտություն [2]:

Գրականության մեջ մեծ տեղ է հատկացված HetNet-ի BS-ների այն խնդիրների քննարկմանը, որոնք միտված են մատուցվող ծառայությունների որակի (Quality of Service - QoS) բարձրացմանը՝ մեծ ծավալով տվյալների հաղորդման, առավելագույն սպեկտրալ արդյունավետության և փոքր հապաղման ժամանակների ապահովմանը [1]:

Անհամեմատ քիչ ուշադրություն է դարձվում բջջային կապի ցանցերի BS-ների էներգաարդյունավետությանը, որին, կայանների շարունակաբար խտացման պայմաններում, ներկայումս առաջադրվում են բավականին խիստ պահանջներ: Ավելին, մի շարք նորարարական տեխնոլոգիական և ալգորիթմական լուծումներ մեծացնում են BS-ների էներգածախսը և հանգեցնում էներգաարդյունավետության փոքրացմանը: Այսպես, ժամանակակից բջջային կապի ցանցերում ներդրված օրթոգոնալ հաճախային բաժանմամբ մուլտիպլեքսավորման (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) բազմակրող հաղորդման տեխնոլոգիան մի կողմից՝ նվազեցնում է ընդունիչում կատարվող գործողությունների հաշվողական բարդությունը և փոքրացնում հապաղումները, մյուս կողմից՝ մեծացնում է հաղորդվող ազդանշանի առավելագույն և միջին հզորությունների հարաբերության գործակիցը (Peak to Average Power Ratio - PAPR) [3]: Որքան մեծ է PAPR-ը, այնքան փոքր է BS-ների ուժեղարարների էներգաարդյունավետությունը [4]:

Բջջային կապի ցանցերի BS-ների էներգածախսի գնահատումը և վերլուծությունը թույլ կտան հստակեցնել դրանց էներգաարդյունավետության բարձրացման եղանակները և էներգախնայողության ուղիները: Այդ առումով կարևոր է նշել, որ ներկայումս BS-ների վրա ծախսվում է անլար հեռահաղորդակցական համակարգերի էեկտրասնուցման ամբողջ ծավալի մոտավորապես 57%-ը [5]:

Բազային կայանների էներգածախսի մոդելը: Նկ. 1-ում բերված է բջջային կապի ցանցի BS-ի էներգասնուցման կառուցվածքային ընդհանուր սխեման:



Նկ. 1. Բազային կայանի էներգասնուցման կառուցվածքային ընդհանուր սխեման

Կայանի համալրող տեխնիկական միջոցներն են՝ փոփոխական հոսանքի սպառիչները (Power Supply - PS), լարման փոխակերպիչը (AC-DC converter), լարման կարգավորիչը (DC-DC controller), թվային ազդանշանի մշակման սարքավորումը (BaseBand Unit - BB), ռադիոհաճախային հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգերը (Radio Frequency System - RF), ուժեղարարները (Power Amplifier - PA) և ֆիդերները (Feeder - F):

Կախված BS-ի հզորությունից, նշանակությունից և շահագործման առանձնահատկություններից՝ թվարկված տեխնիկական միջոցների մի մասը կարող է նաև չօգտագործվել կամ շահագործվել ոչ լիարժեք. հնարավոր է նաև լրացուցիչ այլ հանգույցների կիրառումը: Մասնավորապես, BS-ներում հեռահար ռադիոհանգույցների (Remote Radio Unit - RRU) առկայության դեպքում հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգը տեղակայվում է անմիջապես ալեհավաքի հարևանությամբ, և ֆիդերներ չեն կիրառվում [6], իսկ հատկապես խոշոր և քաղաքներից դուրս գտնվող BS-ները լրացուցիչ համալրված են հեռակառավարվող և ինքնավար սնուցումն ապահովող համակարգերով [7]:

Նշենք նաև, որ BS-ների համալրող տեխնիկական միջոցների մի մասը ստատիկ էներգասպառիչ է, իսկ մյուսները՝ դինամիկ են, և դրանց էներգածախսը կախված է թրաֆիկից և կայանի հաղորդման ելքային հզորությունից:

Ալեհավաքների տիրույթում էներգիայի առումով կորստաբեր են գոիչները, համակցող և երկկողմանի կոմունիկացիա ապահովող հանգույցները և ֆիդերները: Հիմնական էներգետիկական կորուստները ֆիդերների վրա են, որոնք հաղորդման ելքային հզորությունը կարող են փոքրացնել մի քանի $\eta_{\mathcal{F}}$ -ով [8]: Ժամանակակից BS-ներում այդ կորուստները հասցվել են նվազագույնի՝ շնորհիվ օպտոմանրաթելային մալուխների և RRU-ների կիրառման: MicroBS-ների, առավել ևս picoBS և femtoBS-ների դեպքում ալեհավաքների տիրույթում էներգետիկական կորուստներն աննշան են:

Ուժեղարարի աշխատանքային հզորությունը փոփոխական է և կախված է կայանի հաղորդման ելքային հզորությունից հետևյալ արտահայտությամբ [8]¹

$$P_{PA} = \frac{P_{out}}{\eta_{PA}(1 - \delta_F)},$$

որտեղ P_{out} -ն կայանի հաղորդման ելքային հզորությունն է, η_{PA} -ն՝ արդյունավետության գործակիցը (օ.գ.գ.-ն), δ_F -ը՝ էներգետիկական կորուստները ֆիդերի վրա:

Բջջային կապի ցանցերում OFDM տեխնոլոգիայի ներկայումս լայնորեն կիրառումը հանգեցնում է ուժեղարարների էներգաարդյունավետության փոքրացմանը 6...12 $\eta_{\mathcal{F}}$ -ով [4]: Այս դեպքում ուժեղարարից առաջացող ոչ գծային աղավաղումները հնարավոր է կոմպենսացնել հաստատուն կամ դանդաղ փոփոխվող պարուրիչով մոդուլացման մեթոդներով և օգտագործելով ազդանշանների մինչ-մուտքային աղավաղումներ մտցնող սարքեր [3]: Այդպիսի տեխնիկական լուծումները անհրաժեշտ են միայն macroBS և microBS-ների դեպքում, որոնցում ուժեղարարը հիմնական էներգասպառիչն է:

¹ Հղման աղբյուրում այս բանաձևում ֆիդերի վրա էներգետիկ կորուստները հաշվի չեն առնված:

Ռադիոհաճախային հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգերի հզորությունը կախված է դրանց ճարտարապետությունից և պարամետրերից (անալոգա-թվային փոխարկման թույլտվություն, աշխատանքային հաճախաշերտի լայնություն, աղմկակայունություն): Բարդ, սակայն առավել էներգաարդյունավետ, ցածր միջանկյալ հաճախությամբ (Low-intermediate Frequency - IF) [9] կամ սուպեր-հետերոդինային (Super-heterodyne) ճարտարապետությամբ [10] հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգերը կիրառվում են macro և microBS-ներում, իսկ ավելի պարզ կառուցվածքով զրո-IF համակարգերը՝ picoBS և femtoBS-երում:

Թվային ազդանշանի մշակման սարքավորումների աշխատանքը կարելի է գնահատել վայրկյանում գեղա գործողությունների (Giga Operation Per Second – GOPS) թվաքանակով, որն էլ հնարավոր է ներկայացնել էներգածախսը բնութագրող $GOPS/Վտ$ միավորներով: Խոշոր BS-ների դեպքում այն կազմում է 40 $GOPS/Վտ$ [11]:

Լարման փոխակերպիչների և կարգավորիչների դրվածքային հզորությունները պայմանավորված են կայանի հաստատուն հոսանքի սպառիչների էներգածախսով, իսկ էներգաարդյունավետությունը բնութագրվում է համապատասխան օ.գ.գ.-ներով: Նշենք, որ արևային էլեկտրասնուցմամբ BS-ներում, որպես կանոն, լարման AC-DC փոխակերպիչներ չեն կիրառվում [7]:

Փոփոխական հոսանքի սպառիչներն են կայանների ընդհանուր հովացման, լուսավորման, տեսանկարահանման, չափիչ և լուսաազդանշանային սարքերը: Դրանք հիմնականում չեն կիրառվում փոքր BS-ների դեպքում:

BS-ների էներգածախսի բալանսում անհրաժեշտ է ներառել ևս երկու կորստաբեր բաղադրիչ: Առաջինը կորուստներն են հաստատուն հոսանքի հաղորդալարերի և հաղորդաձողերի (Mains Supply) վրա, իսկ երկրորդը պայմանավորված է սարքավորումների տեղային հովացման (Cooling) անհրաժեշտությամբ:

Ժամանակակից մեծ BS-ներում կիրառվում են բազմակի մուտքերով և բազմակի ելքերով (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) տեխնոլոգիան կամ դրա տարատեսակները՝ բազմաբաժանորդ MIMO (Multi User MIMO, MU-MIMO) և լայնամասշտաբ MIMO (Large-Scale MIMO – LS MIMO), որոնք օգտագործում են բազմաթիվ ալեհավաքներ՝ լրացուցիչ խանգարումակայունություն և կապուղու ավելի մեծ թողունակություն ապահովելու համար [12]: Բնականաբար, BS-ներում սեկտորների և ալեհավաքների թվաքանակն ազդում է կայանի ընդհանուր էներգածախսի վրա, քանի որ պահանջվում են լրացուցիչ թվով սարքավորումներ: Ընդ որում, կախված BS-ների կառուցվածքից, սեկտորի ալեհավաքների համար կարող է կիրառվել ինչպես մեկական, այնպես էլ մեկ ընդհանուր թվային ազդանշանի մշակման սարքավորում (նկ. 1): Փոքր BS-ներում հիմնականում կիրառվում է մեկ մուտքով և մեկ ելքով (Single Input Single Output, SISO) տեխնոլոգիան:

Այսպիսով, BS-ների էներգածախսի ընդհանուր մաթեմատիկական մոդելը կարելի է ներկայացնել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$P_{BS} = N_S \frac{\frac{N_{Tx} P_{out}}{\eta_{PA}(1-\delta_F)} + N_{Tx} P_{RF} + f P_{BB}}{(1-\delta_{MS})(1-\delta_{Cool})} + \frac{P_{AC-DC}}{\eta_{AC-DC}} + \frac{P_{DC-DC}}{\eta_{DC-DC}} + P_{PS},$$

որտեղ N_S -ը և N_{Tx} -ն համապատասխանաբար սեկտորների և ալեհավաքների թվաքանակներն է, P_{RF} -ն, P_{BB} -ն, P_{AC-DC} -ն և P_{DC-DC} -ն՝ համապատասխանաբար հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգի, թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման, լարման փոխակերպիչի և կարգավորիչի դրվածքային հզորությունները, P_{PS} -ն՝ փոփոխական հոսանքի սպառիչների գումարային հզորությունը, δ_{MS} -ն և δ_{Cool} -ը՝ համապատասխանաբար հաղորդման գծերի վրա և լրացուցիչ հովացմամբ պայմանավորված կորուստները, η_{AC-DC} -ն և η_{DC-DC} -ն՝ համապատասխանաբար լարման փոխակերպիչի և կարգավորիչի օ.գ.գ.-ները, f -ն բնութագրում է թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման թվաքանակը մեկ սեկտորում ($f \in [N_{Tx}, 1]$):

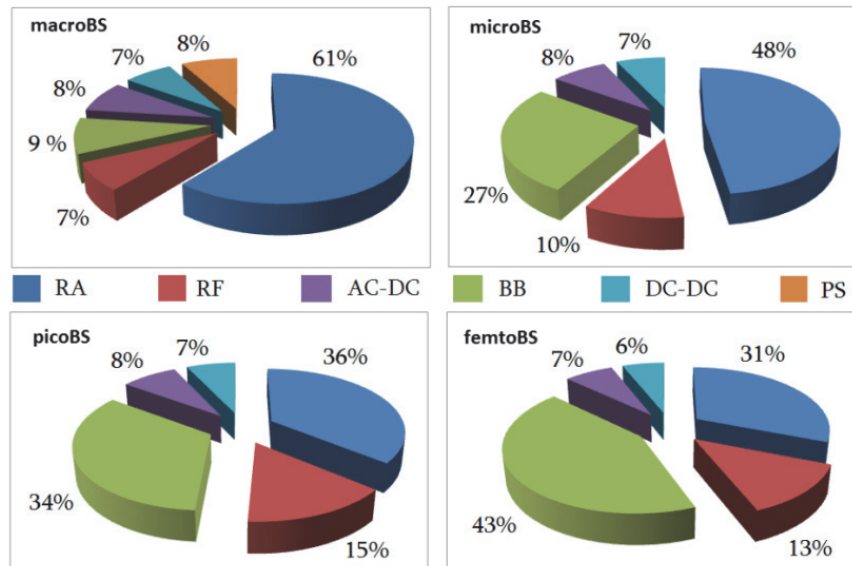
Մաթեմատիկական մոդելում ենթադրվում է, որ BS-ների հաղորդիչ և ընդունիչ ալեհավաքները և համապատասխան սարքավորումները թվաքանակով հավասար են: Մակայն որոշակի տեխնոլոգիաների կիրառման դեպքում, օրինակ՝ բազմակի մուտքերով և մեկ ելքով (Multiple Input Single Outputs, MISO) կամ մեկ մուտքով և բազմակի ելքերով (Single Input Multiple Outputs, SIMO), հաղորդիչ և ընդունիչ սարքավորումները թվաքանակով տարբերվում են: Այս դեպքում անհրաժեշտ է մաթեմատիկական մոդելում կատարել համապատասխան փոփոխություններ:

Բազային կայանների էներգածախսի վերլուծությունը: Աղյուսակում բերված են տարբեր հզորությամբ BS-ների տեխնիկական ցուցանիշները և դրանց ընդհանուր էներգածախսի գնահատման միջինացված արդյունքները հաղորդման ելքային առավելագույն հզորության դեպքում ($P_{out} = P_{out,max}$), իսկ նկ. 2-ում ցույց են տրված BS-ների էներգածախսի բաշխվածություններն ըստ համալրող տեխնիկական միջոցների:

Աղյուսակ

BS-ների տեխնիկական ցուցանիշները և էներգածախսը

BS	$P_{out,max}$		N_S	N_{Tx}	f	$P_{BS}, \text{ Վտ}$
	η_F	η_{in}				
macroBS	46	40	3	2	1	954
microBS	38	6,3	1	2	1	86
picoBS	21	0,13	1	2	1	8
femtoBS	17	0,05	1	2	1	5

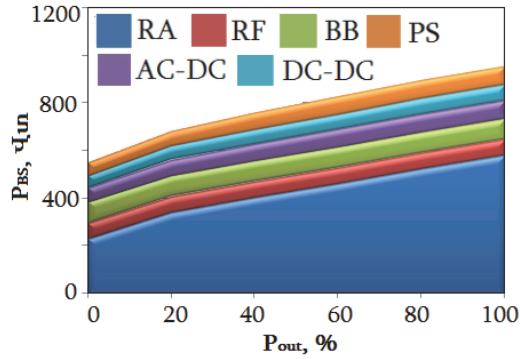


Նկ. 2. BS-ների էներգածախսի բաշխվածություններն ըստ համալրող տեխնիկական միջոցների

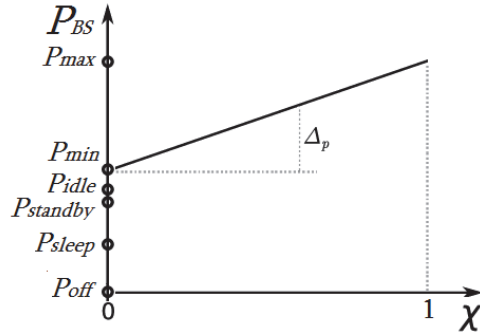
Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, macroBS-ների և microBS-ների հիմնական էներգասպառիչն ուժեղաբարձ է: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ macroBS-ների ուժեղաբարձների էներգածախսի մոտավորապես 34%-ը պայմանավորված է կորուստներով ֆիդերների վրա: Դա նշանակում է, որ RRU-ի կիրառման դեպքում macroBS-ների էներգածախսը կնվազի առնվազն 197 Վտ-ով: Եթե հաշվի առնենք նաև, որ RRU-ն ակտիվ հովացում չի պահանջում, ապա դրա կիրառումը կլինի առավել էներգաարդյունավետ: Փոքր BS-ներում գերակշռում է թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման էներգածախսը: Դա բացատրվում է այն հանգամանքով, որ ուժեղաբարձների էներգածախսը պայմանավորված է թրաֆիկով, որն անհամեմատ փոքր է picoBS և femtoBS-ների դեպքում:

Նկ. 3-ում բերված են microBS-ի համալրող տեխնիկական միջոցների էներգածախսի բաշխվածության կորերը՝ կախված կայանի ելքային հաղորդման հզորությունից (100%-ի դեպքում $P_{out} = P_{out,max}$): Երևում է, որ էներգածախսի կախվածությունը ելքային հզորությունից ունի ընդգծված գծային ֆունկցիայի տեսք:

Նկ. 4-ում բերված է BS-ի էներգածախսի կախվածությունը թրաֆիկի մասշտաբայնությունից (կշիռից)՝ α : Համեմատության համար նկարում նշված են նաև էներգածախսերը բոլոր հնարավոր աշխատանքային ռեժիմների դեպքերում՝ պարապ (Idle Mode), քնած (Sleep Mode), սպասման (Standby Mode), առավելագույն հաղորդման (Maximum Active Mode), նվազագույն հաղորդման (Minimum Active Mode) և անջատման (Off Mode):



Նկ. 3. Բազային կայանի էներգաձախսի բաշխվածության կորերը՝ կախված կայանի էլքային հաղորդման հզորությունից



Նկ. 4. BS-ի էներգաձախսի կախվածությունը թրաֆիկի մասշտաբայնությունից

Մաթեմատիկորեն BS-ի էներգաձախսը ակտիվ ռեժիմի համար, երբ $0 < \chi < 1$, կարող ենք մոտարկել հետևյալ գծային ֆունկցիայով.

$$P_{BS}(\chi) = P_1 + \Delta_p P_{out_max}(\chi - 1),$$

որտեղ $P_1 = P_{min} + \Delta_p P_{max_out}$, Δ_p -ն էներգաձախս-էլքային հաղորդման հզորություն կախվածության թեքության գործակիցն է, P_{min} -ը՝ էներգաձախսը նվազագույն հաղորդման ռեժիմում:

BS-ի էներգաձախսերը մնացած հնարավոր ռեժիմների դեպքում կրնույթագրվեն հետևյալ կերպ.

$$P_{BS}(\chi \approx 0) \approx P_{min}, P_{BS}(\chi = 1) = P_{max}, P_{BS}(\chi = 0) = P_{idle},$$

$$P_{BS}(\chi = 0) = P_{sleep}, P_{BS}(\chi = 0) = P_{standby}, P_{BS}(\chi = 0) = P_{off} = 0,$$

որտեղ P_{min} -ն, P_{max} -ն, P_{idle} -ն, P_{sleep} -ն, $P_{standby}$ -ն և P_{off} -ն էներգաձախսերն են համապատասխանաբար նվազագույն և առավելագույն հաղորդման, պարապ, քնած, սպասման և անջատման ռեժիմներում:

Տրաֆիկի բացակայության դեպքում $P_{off} < P_{sleep} < P_{standby} \leq P_{idle}$ անհավասարությունը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ անջատման ռեժիմում BS-ը ամբողջովին անջատված է էլեկտրասնուցումից, քնած ռեժիմում անջատված են ուժեղարարը և տեխնիկական միջոցների մի մասը, սպասման ռեժիմում անջատված է ուժեղարարը, իսկ պարապ ռեժիմում այն աշխատում է առանց բեռնվածքի:

Եզրակացություն: Բջջային կապի ցանցերի BS-ների հիմնական էներգասպառիչն ուժեղարարն է, որը PAPR-ի փոքրացման համար պետք է օժտված լինի մեծ դինամիկ տիրույթով և հնարավորինս գործի անցումային բնութագրերի գծային տեղամասում՝ հագեցման կետին մոտ: RRU-ի կիրառումը նվազեցնում է էներգետիկական կորուստները ֆիդերների և հաղորդման գծերի վրա: Էներգախնայողության տեսակետից արդյունավետ կլինի BS-ների ծառայությունների մատուցման դինամիկ մեթոդների (օրինակ, քնած ռեժիմի) կիրառումը, ինչպես նաև HetNet-ում տարբեր հզորությամբ և սպասարկման ծածկույթով BS-ների օպտիմալ տեղաբաշխումը և զուգակցված գործունեությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Kaliski R.D.** Heterogeneous Network Architecture and Device-to-Device Communications in 5G Cellular Networks.- In book: Wiley 5G Ref. -John Wiley & Sons, 2020.- P. 1-24.
2. **Ayvazyan A.G.** Performance Analyses of Circuit-Switched Fallback // Proc. of IX Int. Conf. on Computer Science and Information Technologies.- 2017.- P. 379-381.
3. **Անտոնյան Ս.Վ., Ծատուրյան Գ.Ա., Մովսիսյան Լ.Ռ.** Բջջային կապի 5-րդ սերնդի հզորության ուժեղարարների մուտքային ազդանշանի թվային աղավաղման եղանակի ուսումնասիրությունը // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2020.- Հ. LXXIII, № 2.- Էջ 144-151:
4. **Bondarev B.N., Kabak V.S.** Calculation of the Peak-to-Average Power Ratio of Signals of OFDM Multichannel Systems // Radioelectronics and Commun. Systems.- 2015.- V. 58(10).- P. 462-469.
5. **Alsharif M.H., Kim J., Jin Hong Kim.** Green and Sustainable Cellular Base Stations: An Overview and Future Research Directions // Energies.- 2017.- N 10.- P. 587-604.
6. **Al-Falahy N., Alani O.Y.K.** The Impact of Base Station Antennas Configuration on the Performance of Millimetre Wave 5G networks // Proc. of IX Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks.- 2017.- P. 636-641.
7. **Айвазян А.Г., Агабекян Д.В., Варданян А.А.** Солнечное электропитание базовых станций сотовой связи // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2020.- N2.- P. 107-113.
8. **Deruyck M., Tanghe E., Joseph W., Martens L.** Characterization and Optimization of the Power Consumption in Wireless Access Networks by Taking Daily Traffic Variations into Account // EURASIP J. on Wireless Communications and Networking.- 2012.- N 1.- P. 1-12.

9. **Zhang C., Lihong Zhang L.** Intermediate Frequency Digital Receiver Based on Multi-FPGA System // J. of Electrical and Computer Engineering.- 2016.- ID 6123832.
10. **Sun J., Chen Lu Ch., Wang M.** Performance Assessment and Prediction for Superhetrodyne Receivers Based on Mahalanobis Distance and Time Sequence Analysis // Int. J. of Antennas and Propagation.- 2017.- ID 6458954.
11. **Desset C., Debaillie B., Giannini V., Fehske A.** Flexible Power Modeling of LTE Base Stations // Proc. of Conf. on Wireless Communications and Networking.- 2012.- P. 2858-2862.
12. **Մարդրյան Գ.Ռ., Հովսեփյան Ժ.Մ.** Կողային տարանջատմամբ վարժեցնող ազդանշանների օգտագործումով բազմակի մուտքերով և բազմակի ելքերով (MIMO) կապուղու գնահատման եղանակ // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2015.- Հ. LXVIII, № 2.- Էջ 205-211:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.02.2021:

А.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Предложена математическая модель оценки энергопотребления базовых станций сетей сотовой связи, учитывающая рабочую и установочную мощности комплектующих технических средств станций, а также возможные энергетические потери. Оценены и проанализированы энергопотребление и его распределение по отдельным техническим средствам для базовых станций различных мощностей. Указаны возможные пути повышения энергоэффективности базовых станций и способы энергосбережения.

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, энергопотребление, энергоэффективность.

A.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

ASSESSING THE ENERGY CONSUMPTION OF BASE STATIONS OF CELLULAR NETWORKS

A mathematical model is proposed for assessing the energy consumption of base stations of cellular networks, taking into account the operating and installation capacities of the technical means components of the stations, as well as the possible energy losses. Energy consumption and its distribution by technical means for base stations of various powers are estimated and analyzed. Possible ways of increasing the energy efficiency and ways of energy saving of base stations are indicated

Keywords: cellular network, base station, energy consumption, energy efficiency.

Վ.Շ. ՄԵԼԻՔՅԱՆ, Վ.Ս. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

ԴԻՆԱՄԻԿ ՀԻՇՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ԹԱՐՄԱՑՄԱՆ
ՇՂԹԱ ՄՆՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ՄԻԱՑՄԱՆ ԵՎ ԱՆՋԱՏՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

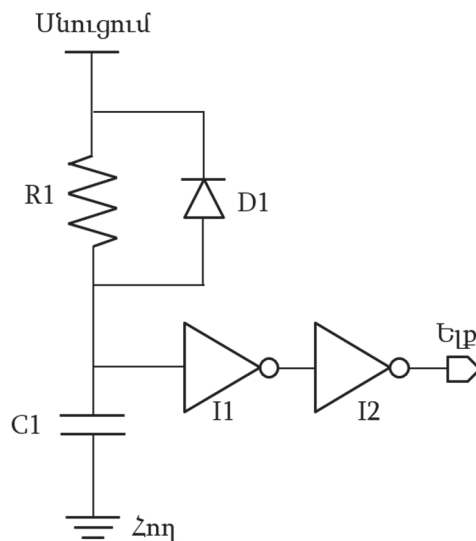
Ներկայացված է սևեռիչի վրա հիմնված դինամիկ հիշող համակարգերում հիշողությունը թարմացնող ազդանշանի գեներացման համար նախատեսված շղթա, որն ապահովում է թարմացնող ազդանշանի կանխատեսելի վարքը՝ սնման լարման միացման և անջատման ժամանակահատվածներում: Ինտեգրալ սխեմաներում, էներգասպառման նվազեցման նպատակով, այն բաժանվում է տարբեր լարումներով սնուցվող կղզյակների, և առկա է սնուցումների միացման և անջատման ընթացքում շղթաների որոշիչ կետերի կանխատեսելի վարքն ապահովելու խնդիր, մասնավորապես՝ դինամիկ հիշող սարքերի թարմացման ազդանշանի դեպքում: Դինամիկ հիշողության թարմացման ազդանշանի գեներացման տիպային շղթաները չեն կարող ապահովել շղթայի ելքային ազդանշանի կայունությունը սնման լարման տատանումների և աղմուկների առկայության դեպքում: Առաջարկվող շղթայում ներդրվել են սևեռիչ, պասսիվ տարրեր՝ բացառելով շղթայի ելքային ազդանշանի փոփոխությունը սնման լարման տատանումների դեպքում: Ներկայացված շղթան մոդելավորվել է՝ օգտագործելով 16-նանոչափային տեխնոլոգիական պրոցեսի տարրերը:

Առանցքային բառեր. սևեռիչ, դինամիկ հիշող սարք, ստատիկ էներգասպառում, դինամիկ էներգասպառում:

Ներածություն. Արդի ինտեգրալ սխեմաներում էներգասպառման նվազեցման խնդիրը դարձել է հիմնական մարտահրավերներից մեկը [1-3]: Տեխնոլոգիական պրոցեսի զարգացմանը և տրանզիստորների հոսքուղու երկարության նվազմանը զուգընթաց՝ ընդհանուր հզորության մեջ մեծանում է ստատիկ հզորության չափաբաժինը: Արտահոսքի հոսանքները բացարձակ արժեքով մոտենում են փոխանջատման (ակտիվ) հոսանքներին: Էներգասպառման պահանջները բավարարելու համար արդեն բավարար չէ փոքրացնել միայն փոխանջատումների վրա ծախսվող հզորությունը (հզորության դինամիկ բաղադրիչը): Իսկ տրված շղթայի համար արտահոսքի հոսանքների փոքրացման միակ ճանապարհը այն սնուցումից անջատելն է: Ուստի ինտեգրալ սխեման բաժանվում է տարբեր հատվածների՝ կղզյակների, իրենց հատուկ սնուցմամբ: Այն ժամանակահատվածներում, երբ ինտեգրալ սխեմայի տվյալ մասը չի աշխատում, հնարավոր կլինի անջատել նրա սնուցումը, և արդյունքում զգալիորեն կնվազի ամբողջ ինտեգրալ սխեմայի էներգասպառումը:

Այնպիսի ինտեգրալ սխեմաներում, որոնք բաժանված են տարբեր սնման լարումներով կոդյակների, անհրաժեշտ են շղթաներ՝ սնման լարման միացման և անջատման ժամանակահատվածները հայտնաբերելու և այդ ընթացքում շղթայի որոշիչ լարերի կանխատեսելի վարքն ապահովելու համար: Այդ գործառույթն իրականացվում է հատուկ նշանակությամբ թարմացնող ազդանշանի գեներացման շղթաների միջոցով: Վերը նշված խնդիրը որոշիչ է դինամիկ հիշող համակարգերում, քանի որ կարիք կա պարբերաբար թարմացնելու դրանցում գրանցված տեղեկությունը: Սնման լարման միացման և անջատման ժամանակահատվածներում հարկավոր է ապահովել հիշողության թարմացման շղթայի կանխատեսելի աշխատանքը՝ ընթերցման կամ գրանցման անհարկի գործողություններից խուսափելու համար: Այլ կերպ ասած, սնուցման միացման կամ անջատման ժամանակ դինամիկ հիշողությունը թարմացնող ազդանշանը չպետք է լինի չորոշված կամ բարձր դիմադրության վիճակում, այլ որոշակի՝ տրամաբանական բարձր կամ ցածր վիճակում (միացված լինի տվյալ կոդյակի համար նախատեսված սնման կամ հողանցման լարմանը):

1□ Առաջարկվող ներդրման շղթայի աշխատանքի էությունը□ Դիտարկվել է դինամիկ հիշողության թարմացման ազդանշանի գեներացման տիպային շղթան (նկ. 1) [4,5]: Շղթան բաղկացած է դիմադրությունից, ունակությունից, դիոդից և շրջիչից:

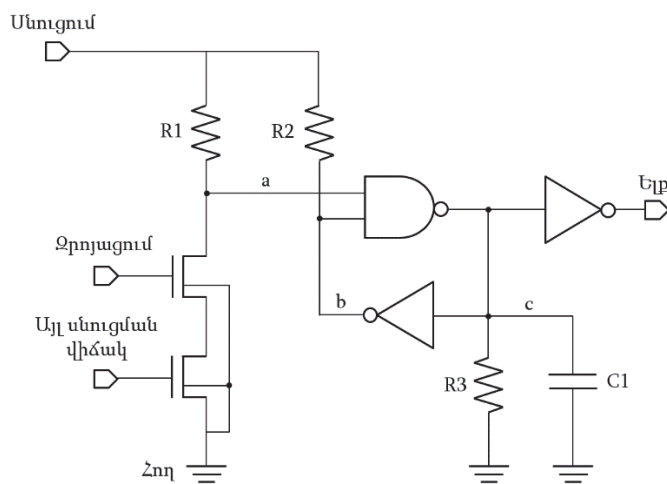


Նկ. 1. Դինամիկ հիշողության թարմացման ազդանշանի գեներացման տիպային շղթան

Սնման լարման միացման սկզբնապահին $C1$ ունակության երկու շրջադիրներն ունեն հավասար պոտենցիալներ, և թարմացնող ազդանշանը ցածր մակար-

դակի է: Մնման լարման մեծացմանը զուգընթաց՝ C1 ունակությունը լիցքավորվում է R1 դիմադրության միջոցով: Այն պահին, երբ ունակության վրայի լարումը հասնում է I1 և I2 շրջիչներով կազմված կրկնիչի շեմային լարմանը, թարմացնող ազդանշանը (շղթայի ելքը) ունենում է լարման բարձր մակարդակ: D1 դիոդը նախատեսված է ունակության արագ լիցքաթափման համար այն դեպքում, երբ շղթայի սնուցումը կտրուկ կանջատվի:

Այս շղթայի հիմնական թերությունն այն է, որ չունի զգայնության միջակայք (հիստերեզիս), և սնման լարման կտրուկ տատանումներից հնարավոր է, որ փոխի իր վիճակը: Ուստի ներկայացված է դինամիկ հիշողության թարմացման ազդանշանի գեներացման շղթա, որի հիմքում ընկած է սևեռիչ, որն ապահովում է ելքային ազդանշանի սևեռումը՝ անկախ սնման լարման աղմուկներից (նկ. 2):



Նկ. 2. Առաջարկվող թարմացման ազդանշանի գեներացման շղթան

Շղթան սևեռվում է, երբ սնման լարումը որոշակի արժեքից փոքր է լինում (այլ կերպ հնարավոր չէ սևեռել շղթան): Մնման լարման տատանումների նկատմամբ աղմկակայունությունն ապահովում են C1 ունակությունը, ԵՎ-ՈՉ տարրի մուտքերը պասսիվ սնմանը միացնող և ունակությունը հողանցող R1, R2 և R3 դիմադրությունները: «Ջրոյացում» մուտքը նախատեսված է սևեռիչը զրոյացնելու համար: «Այլ սնուցման վիճակ» մուտքը նախատեսված է մեկ այլ կղզյակի սնման լարման վիճակի մասին տվյալ շղթային տեղեկություն փոխանցելու համար: Այլ կերպ ասած, եթե ընդունենք, որ տվյալ շղթան միացված է մուտք-ելք սարքի սնման լարմանը, իսկ «այլ սնուցման վիճակ» մուտքը պարունակում է միջուկի սնման լարման վիճակի մասին տեղեկություն, ապա միջուկի սնման լարման չհաստատված լինելու դեպքում հնարավոր չի լինի զրոյացնել սևեռիչի վիճակը (նույնիսկ «զրոյացում» ազդանշանի ակտիվ լինելու դեպքում):

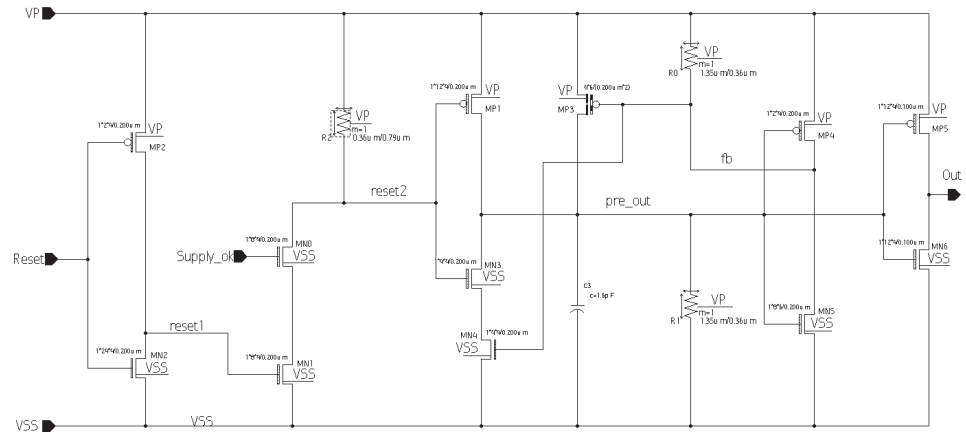
Դիտարկենք դեպք, երբ սնման լարումը սկզբում միացվում է, որոշ ժամանակ մնում է հաստատուն, ապա անջատվում է: Միացման սկզբնական պահին շղթայի բոլոր կետերն ունեն գործնականում զրոյական պոտենցիալ: Ենթադրենք՝ միջուկի սնման լարումը առկա և հաստատված է. այդ դեպքում «այլ սնուցման վիճակ» մուտքը կփոփոխվի՝ ինչպես տրված շղթայի սնման լարումը: Շղթան զրոյանում է «զրոյացում» ազդանշանի բարձր լարման մակարդակի դեպքում և սկզբնական պահին անջատված է: Քանի որ ԵՎ-ՈՉ տարրի մուտքերը պասսիվ միացված են սնուցմանը, համարում ենք, որ նրա մուտքերին առկա են երկու լարման բարձր մակարդակ և ԵՎ-ՈՉ տարրի ելքը, հետևաբար, կլինի ցածր մակարդակ, իսկ ելքը՝ բարձր (այն կաճի նույն կերպ՝ ինչպես շղթայի սնման լարումը):

C1 ունակությունը կմնա լիցքաթափված, իսկ I1 շրջիչի ելքը նույն կերպ, ինչպես R2 դիմադրությունը, կսնի ԵՎ-ՈՉ տարրի մուտքը: Հետևաբար՝ շղթայի ելքը կաճի սնմանը զուգընթաց, և երբ սնուցումը հաստատվի, շղթան կլինի սնեոված: Հաստատված վիճակում սնեռիչը պետք է զրոյացվի, որպեսզի հնարավոր լինի հայտնաբերել սնման լարման անջատումը: «Զրոյացում» մուտքի կարճատև ակտիվ (տրամաբանական մեկ) ազդանշանով ԵՎ-ՈՉ տարրի երկրորդ մուտքը կհողանցվի, հետևաբար՝ նրա ելքը կփոխանջատվի տրամաբանական մեկ՝ լիցքավորելով C1 ունակությունը: Երբ շղթայի c կետի լարումը հասնի I1 և I2 շրջիչների շեմային լարմանը, ելքը և ԵՎ-ՈՉ տարրի երկրորդ մուտքը կդառնան զրո, և շղթան կմնա այդ վիճակում այնքան ժամանակ, քանի դեռ առկա է սնուցումը:

Երբ սնուցումը սկսի անջատվել, շղթայի c կետը կսկսի իջնել սնուցմանը զուգընթաց (իջնելուն կնպաստի նաև հողանցված R3 դիմադրությունը): Երբ այդ կետը կմոտենա I1 շրջիչի ներսի հողանցված ՆՄՕԿ տրանզիստորի շեմային լարմանը, շրջիչի ելքը կսկսի աճել (աճին կնպաստի սնուցմանը միացված R2 դիմադրությունը): Այն աճելով՝ կհասնի սնուցման մակարդակին, և ԵՎ-ՈՉ տարրի ներսի հողանցված երկու ՆՄՕԿ տրանզիստորները կսկսեն բացվել, C1 ունակությունը կսկսի լիցքաթափվել, այդպիսով իջեցնելով շղթայի c կետը դեպի զրո, ինչով կբացվի ելքային շրջիչի սնուցմանը միացված ՊՄՕԿ տրանզիստորը, և ելքը կհավասարվի սնուցմանը: Ամբողջ շղթայի ելքը կփոխանջատվի տրամաբանական բարձր մակարդակ, ինչով և կազդարարվի սնուցման անջատման մասին՝ սնեռվելով սնման լարման անվանական արժեքի մոտավորապես կեսից սկսած: C1 ունակությունն ապահովում է շղթայի c լարի վրա գործնականում անփոփոխ լարում՝ սնման լարման աղմուկների և բարձրհաճախականային փոփոխությունների դեպքում:

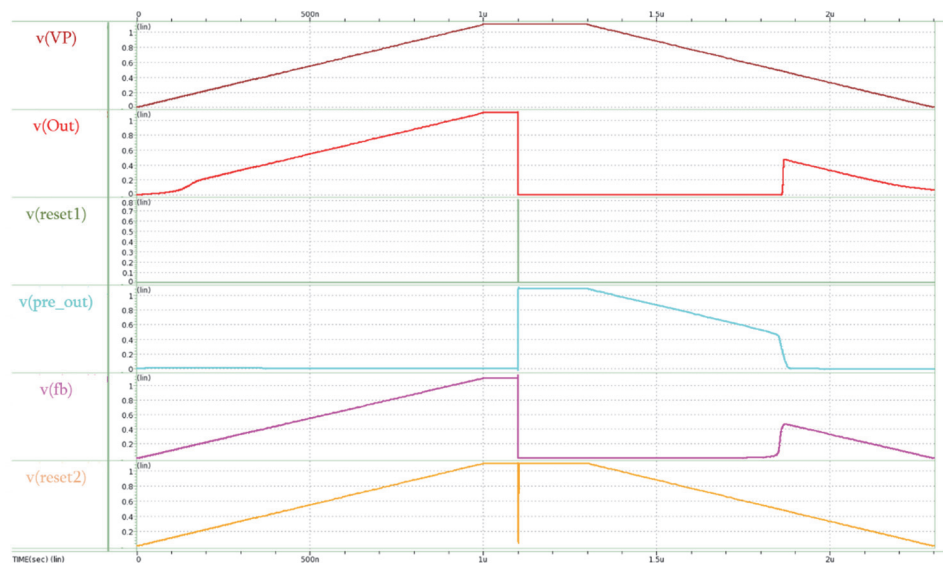
2. Մոդելավորման արդյունքները. Առաջարկվող շղթայում օգտագործվել են 16 *և՛* FinFET տեխնոլոգիական պրոցեսի հաստ օքսիդով տրանզիստորներ (նկ. 3): Մնման լարումը 1.2 Վ է, ինչը վերը նշված տրանզիստորների սնման ան-

վանական լարումն է: Մոդելավորումը կատարվել է HSPICE ծրագրային գործիքով [6]:



Նկ. 3. Առաջարկվող շղթայի իրագործումը

Մոդելավորման ընթացքում մուտքային ազդանշանները տրվել են վերը նկարագրված կերպով: Կատարվել է ժամանակային ստուգում: Բերված են մոդելավորման արդյունքները (նկ. 4):



Նկ. 4. Մոդելավորման արդյունքները

Ազդանշաններում համապատասխանաբար ցուցադրված են շղթայի սնման լարումը, շղթայի ելքը, զրոյացնող ազդանշանը, ունակության վրայի լարումը, որը հանդիսանում է ԵՎ-ՈՉ տարրի ելքը, ինչպես նաև զրոյացնող ազդանշանը և

MP4/MN5 շրջիչի ելքը, որոնք հանդիսանում են ԵՎ-ՈՉ տարրի մուտքերը: Ըստ վերևում նկարագրված տրամաբանության՝ սնուցման լարման միացման ժամանակ շղթայի ելքը միանում է սնուցմանը, և շղթան սնեովում է՝ ապահովելով կանխատեսելի ազդանշան՝ դինամիկ հիշող սարքերի թարմացնող ազդանշանի համար: Երբ սնուցումը հաստատված է, գրոյացվում է շղթայի ելքը, որպեսզի այն պատրաստ լինի գրանցելու սնման լարման հետագա անջատումը: Իսկ սնման լարման անջատման ժամանակ (երբ այն մոտավորապես հավասարվում է անվանական արժեքի կեսին), շղթայի ելքը կրկին միանում է սնմանը, ինչով ևս ապահովվում է կանխատեսելի ազդանշան՝ դինամիկ հիշող սարքերի թարմացնող ազդանշանի համար:

Եզրակացություն. Առաջարկվել է սնեռիչի վրա հիմնված դինամիկ հիշող համակարգերում հիշողությունը թարմացնող ազդանշանի գեներացման համար նախատեսված շղթա, որն ապահովում է թարմացնող ազդանշանի կանխատեսելի վարքը սնման լարման միացման և անջատման ժամանակահատվածներում: Արդի ինտեգրալ սխեմաներում էներգասպառման ստատիկ բաղադրիչի նվազեցման նպատակով՝ այն բաժանվում է տարբեր լարումներով սնուցվող կոդյակների: Առաջանում է սնուցումների միացման և անջատման ժամանակ շղթաների որոշիչ կետերի կանխատեսելի վարքն ապահովելու խնդիր, մասնավորապես՝ դինամիկ հիշող սարքերի թարմացման ազդանշանի դեպքում: Դինամիկ հիշողության թարմացման ազդանշանի գեներացման տիպային շղթաները չեն կարող ապահովել շղթայի ելքային ազդանշանի անփոփոխությունը սնման լարման տատանումների և աղմուկների առկայության դեպքում: Առաջարկվող շղթայում ներդրվել են սնեռիչ, ինչպես նաև պասսիվ տարրեր, որոնց շնորհիվ բացառվել է շղթայի ելքային ազդանշանի փոփոխությունը սնման լարման տատանումների ժամանակ:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Razavi B.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits. - Second Edition. - McGraw-Hill, 2015. - 782 p.
2. **Sedra A. S., Smith K.C.** Microelectronic Circuits. - Oxford University Press, 2014. – 1397p.
3. **Baker R. J.** CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation.- Third Edition. - Wiley, 2010. - 1173p.
4. **Zhang J., Jiang L., Zeng Z.** Design of a Novel Power-on-Reset Circuit Based on Power Supply Detector // 2009 International Conference on Scalable Computing and Communications, Eighth International Conference on Embedded Computing□ - China, 2009□ - P. 355-359.
5. **Pandey P.** Low-voltage power-on-reset circuit with least delay and high accuracy // Electron. Lett. – 2015□ - Vol. 51, no. 11.- P. 856-858.
6. Hspice Application Manual, Synopsys Inc. - 2010. - 196p.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրության 24.03.2021:

В.Ш. МЕЛИКЯН, В.С. ГЕВОРГЯН

**ЦЕПЬ ОБНОВЛЕНИЯ ПАМЯТИ В ДИНАМИЧЕСКИХ
ЗАПОМИНАЮЩИХ СИСТЕМАХ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ И
ОТКЛЮЧЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ**

Представлена схема на основе защелки для генерации сигнала обновления для систем динамической памяти, которая обеспечивает известное поведение сигнала обновления при включении и отключении напряжения питания. Интегральные схемы разделены на различные области питания для снижения энергопотребления. При этом существует проблема обеспечения известного поведения критических точек схем, особенно для сигналов обновления в системах динамической памяти. Типичные схемы генерации сигнала обновления для динамической памяти не могут обеспечивать стабильность выходного сигнала, что вызвано колебаниями питания и шумами. В предлагаемую схему встроены защелка, а также некоторые пассивные элементы, которые исключают ложные переключения на выходе схемы, вызванные перепадами питания. Предлагаемая схема моделируется с использованием элементов 16-нанометрового технологического процесса.

Ключевые слова: защелка, динамическое запоминающее устройство, статическое энергопотребление, динамическое энергопотребление.

V.SH. MELIKYAN, V.S. GEVORGYAN

**A RESET SIGNAL GENERATION CIRCUIT FOR DYNAMIC MEMORY
INTERFACES DURING SUPPLY RAMP-UPS AND RAMP-DOWNS**

A latch-based circuit for reset signal generation for dynamic memory interfaces is presented, which ensures the known behavior of the reset signal at power supply ramp-ups and ramp-downs. The integrated circuits are divided into different power domains to reduce the power consumption that, there is an issue to ensure the known behavior of the critical nets of the circuits, particularly for the reset signals in dynamic memory interfaces. The typical circuits of the reset signal generation for dynamic memories cannot control the stability of the output signal caused by supply variation and noises. A latch is embedded in the proposed circuit, as well as some passive elements. This excludes the false switchings in the output of the circuit caused by supply variations. The proposed circuit is simulated, using the elements of 16-nanometer technological process.

Keywords: latch, dynamic memory, static power, dynamic power.

UDC 621.382

MOCROELECTRONICS

A. KH. MKHITARYAN, V.D. HOVHANNISYAN, H.T. GRIGORYAN,
M.T. GRIGORYAN A.A. AVETISYAN

THE TEMPERATURE DRIFT IMPACT COMPENSATION METHOD IN A HIGH-SPEED RECEIVER

The temperature drift impact compensation method in high-speed SerDes applications is proposed in this paper. The operating temperature range of modern VLSI circuits is $-40...125^{\circ}\text{C}$. During the normal operation modes of integrated circuits, the ambient temperature may have big variations. Based on the SPICE simulation results, the impedance of MOSFET transistor varies in the range of -20% to 13% affecting the reference current generation circuits' temperature stabilities. Based on the proposed solution, an analog-to-digital conversion algorithm detects the variation of reference currents during the operation period of integrated circuits due to the temperature drift impact, and a digital algorithm compensates that impact.

The simulation results show that the variation of the total current due to the temperature drift is reduced by 22%. The solution is essential for the high-speed receivers in the sensitive applications such as UAV systems, automobiles, aircrafts where ambient temperature may vary drastically and in wide ranges.

Keywords: analog, comparator, operational amplifier, integrated circuit, IC, VLSI, reliability, degradation.

Introduction. High-speed (HS) interface IPs are widely used in modern applications. An example of such IPs are USB, D-PHY, M-PHY, HDMI etc. The most sensitive part of those interface IPs are the receiver (RX) parts. They should detect the signal transferred from transmitter (TX) PHYs through the transmission line. To minimize the signal reflection in (1) TX output stage, the transmission line and the receiver input stage impedances should be equalized:

$$\Gamma_{rx} = \frac{Z_{rx} - Z_0}{Z_{rx} + Z_0}, \quad (1)$$

where Z_{rx} represents the receiver input stage impedance, while Z_0 is the transmission line or the transmitter output stage impedance.

Modern RX IPs are using multi-PHY protocols where several serial data come from parallel TX IPs. For such applications, the RX input stage replicates in one place while the calibration bits for all lanes are generating simultaneously. For such an operation, external precision resistor outside the integrated circuit (IC) is placed [1]. An example presenting the block-diagram of the replica calibration

mechanism is presented in Fig.1. The PMOS transistor operating in the saturation region injects current to the external resistor. The current value is always equal to the reference voltage generated by the internal bandgap reference generator [2] divided to the resistance value of the external resistor and controlled by the operational amplifier [3] operating in a negative feedback mode. The current mirror architecture implemented by the I_{ref} - I_{rext} pair generates another reference current which flows through the replica circuit. The comparator and SAR logic digital algorithm is searches for the digital word code which better equalizes the voltage drops on the replica and external resistor circuits.

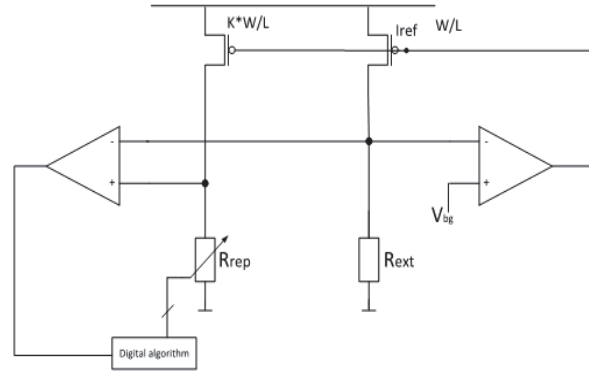


Fig. 1. The HS RX replica calibration mechanism

The I_{ref} - I_{rext} pair inside the calibration block operates as a stable current source generator. For other parts of HS RX where the stable currents play key roles, the design of current sources should be implemented by using the gate-source voltage of the PMOS devices and applying the corresponding W/L ratios for further references. For NMOS-based current sources, architecture redesign is necessary as shown in Fig.2.

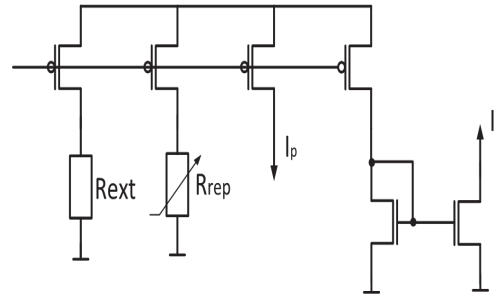


Fig. 2. Bias current generation

The problem description. The calibration mechanism of replica block is described in Fig.3.

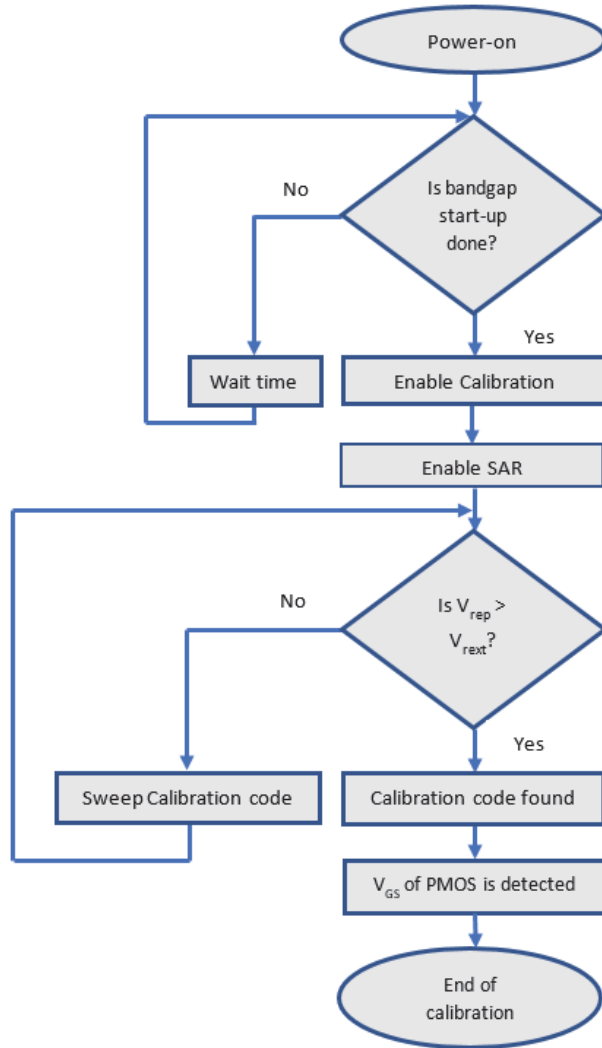


Fig. 3. The default mechanism of HS RX replica calibration

As presented above, the calibration algorithm realization is done once during the power-up of the HS RX. That means the required impedance value and the corresponding calibration code and V_{gs} voltage detections are done considering the current ambient temperature value. To determine the impact of the temperature drift on the calibrated impedance value, the following test has been implemented: the calibration mechanism enabled in case of -40°C ambient temperature and after it done temperature has been shifted to the 125°C. The maximum calibration code is

equal to 15 due to the 4-bit digital calibration mechanism. At -40°C calibration code, the replica is equal to 13 as shown in Fig. 4. Replica impedance to the external resistor impedance ratio is 24 which results in 1.5 mA current flowing through the external resistor with 300 mV reference voltage applied on top of it. The current flowing through the replica should always be equal to $62.5\text{ }\mu\text{A}$ based on the impedance ratio value.

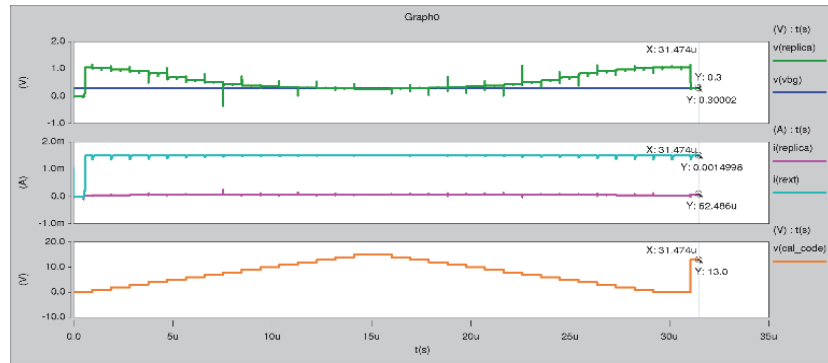


Fig. 4. Replica calibration at -40°C

To evaluate the impact of temperature on the calibration process, the simulation with 125°C has been performed. As shown in Fig.5, the calibration word code has been decreased to 9. The code difference is equal to 4.

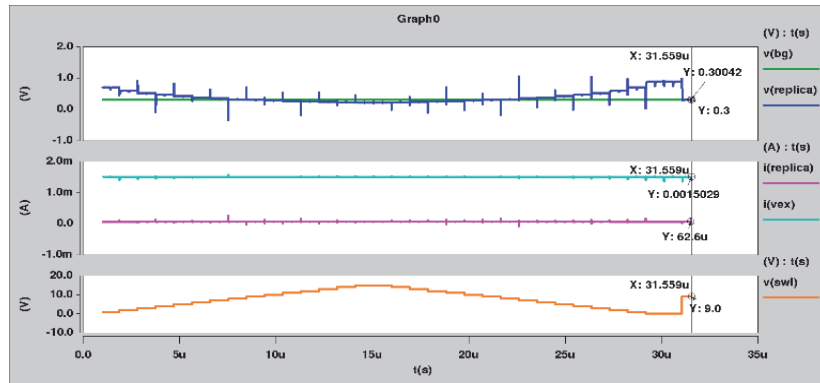


Fig. 5. Replica calibration at 125°C

To evaluate the impact of temperature on the calibrated impedance value, simulation with a calibration code in the -40°C case has been implemented. As shown in Fig.6 the impedance of the replica has been decreased from $4800\text{ }\Omega$ to $3831\text{ }\Omega$ which equals to more than 25% difference.

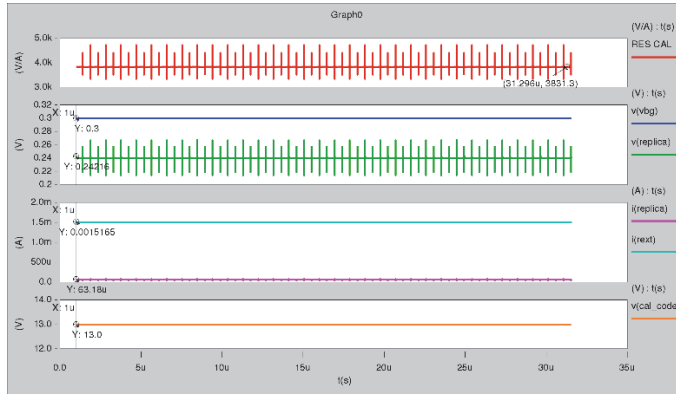


Fig. 6. Temperature drift impact on the impedance of HS RX replica

Technical specifications for the calibrated impedance variations are within the 10...10% range considering all the impact factors such as technology deviation, supply voltage variation, reference voltage uncertainty, etc. Considering the obtained results and the above-mentioned aggressors, the temperature drift impact on the impedance value should not exceed 5%. More variation will result out of specification terminated resistance values and will cause huge reflections of the transmitted HS data. So, it is necessary to reduce the variation by at least 20%.

The proposed solution. To solve the problem, we firstly need to have the clear description of the root cause of the problem. The root cause is the temperature impact on the calibrated impedance. Calibration process is time consuming and during the data transmission and restarting it during data transmission may impact on the reliability of the system. So the solution should be based not on the process itself but the digital algorithm which should track the voltage on the replica after the calibration ends and do the corresponding tuning when it exceeds the maximum or minimum allowable value.

Reg1 register keeps the code corresponding to voltage on replica and is periodically updated based on the sensed voltage on the replica (Fig. 7). Reg2 register keeps the LSB value calculated during the default calibration mechanism. Reg3 register keeps the converted digital code which corresponds to the voltage on top of replica during the default calibration mechanism. Reg4 register is used for doing the subtraction of the Reg3 and Reg1 register values. Reg5 register is used to keep the new calculated calibration word code. The digital algorithm realizes subtraction between the Reg1 and Reg3. If the replica voltage difference exceeds 1LSB calculated after the default calibration mechanism, it updates the Reg5 register value. Reg5 register output is tied to the calibration block and the algorithm can update the termination code without stopping the HS data transmission.

The Schematic implementation of the proposed solution is presented in Fig. 7. ADC [4] has 2 modes: default during which it samples the Replica voltage value and converts it into a digital code and tracking mode during which the system does not change the replica calibration value in case there is no temperature drift impact on the Replica voltage value. Data into the register can be written when the write enable – ‘WE’ signal goes to the high state. Output data can be captured when the read enable – ‘RE’ signal goes high.

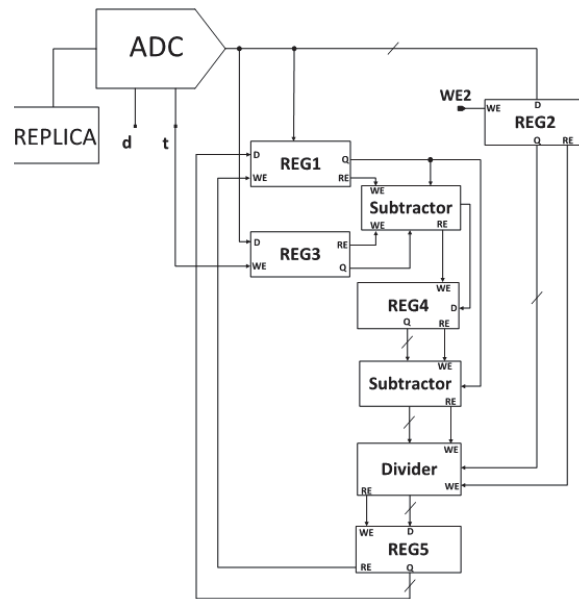


Fig. 7. The schematic implementation of the proposed solution

Results. Based on the proposed solution the new architecture is able to sense the variation of the voltage on the replica. Hspice Simulation [5] results performed by SAED14 nm [6] FinFet technology have shown great improvement. The temperature drift impact on the calibrated impedance value decreased from 25% to 3%. The results are summarized in the Table. Due to the architectural updates the total has been increased by 50% and the total power consumption has been increased by 10%. While taking into account the fact that the HS RX areas are around 20 times bigger compared to the calibration area, the overall impact on the IC area will be less than 3%. Meanwhile the total power consumption is around 10 times bigger than the calibration power, so the total power, consumption increase will be around 1%.

Table

OBTAINED RESULTS

	<i>Without proposed solution</i>	<i>With proposed solution</i>
T-drift impact	25%	3%
Occupied area	1000 μm^2	1500 μm^2
Power consumption	3.6 mW	3.96 mW

Conclusion. A temperature drift impact reduction method in high-speed receiver applications is proposed in this paper. The new architecture of impedance calibration system has been designed. The obtained results have shown around 22% improvement of the temperature drift impact on the impedance calibration. This will result in less reflection during high speed data transmission and better impedance matching between the receiver and transmission line. This architecture can be easily integrated in modern automotive designs.

REFERENCES

1. **Melikyan V., Balabanyan A., Hayrapetyan A. and Melikyan N.** Receiver/transmitter input/output termination resistance calibration method // 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO). - Kiev, 2013. - P. 126-130.
2. **Razavi B.** Design of Analog CMOS Integrated Circuits. - New York, NY USA, 2001.- 509 p.
3. **Sansen Willy M.C.** Analog Design Essentials. – Springer, 2006.- 777p.
4. **Baker R.J.** CMOS Circuit Design, Layout and Simulation.- 3rd Edition. - John Wiley & Sons, 2010.- 1173p.
5. Hspice Reference Manual, Synopsys Inc.- 2017.- 846p.
6. **Melikyan V., Martirosyan M., Piliposyan G.** 14 nm Educational Design Kit: Capabilities, Deployment and Future // Small Systems Simulation Symposium.- 2018.

National Polytechnic University of Armenia. The material is received on 02.03.2021.

**Ա.Խ. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ, Վ.Դ. ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ, Հ.Տ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ,
Մ.Տ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Ա.Ա. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ
ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՇԵՂՄԱՆ ՓՈԽՀԱՏՈՒՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ ԲԱՐՁՐ
ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՍԲ ՀԱՂՈՐԴԻՉ ՀԱԳՈՒՅՑՈՒՄ**

Ներկայացված է շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանի փոփոխության ազդեցության նվազարկման մեթոդ արագագործ տվյալների հաջորդական փոխանցման կապերում: Ժամանակակից ինտեգրալ սխեմաներում աշխատանքային ջերմաստիճանը սահմանվում է -40 -ից 125°C միջակայքում: Մինչդեռ աշխատանքային ռեժիմում գտնվող ինտեգրալ սխեմաների արտաքին միջավայրի ջերմաստիճանը կարող է դրսևորել մեծ տատանումներ: SPICE մոդելավորման արդյունքները ցույց են տվել, որ ՄՕԿ տրանզիստորի դիմադրությունը փոփոխվում է -20% -ից $+13\%$ միջակայքում, որի հետևանքով նվազում է հենակային հոսանքի աղբյուրների կայունությունը: Առաջարկվող լուծման շրջանակներում մշակված ալգորիթմը և իրականացման սխեման ցույց են տալիս արտաքին ջերմաստիճանի փոփոխության արդյունքում ի հայտ եկող հենակային հոսանքի փոփոխությունները և անալոգաթվային կերպափոխման հիման վրա կոմպենսացնում են այդ ազդեցությունները:

Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տվել, որ ջերմաստիճանի տատանման հետևանքով առաջացող հենակային հոսանքի փոփոխությունը նվազեցվել է 22% -ով: Առաջարկված լուծումը առանցքային դեր ունի արագագործ ընդունիչներում, որոնք օգտագործվում են զգայուն համակարգերում՝ ԱԹՄ-երում, մեքենաշինության մեջ, օդանավերում, որտեղ շրջակա միջավայրի ջերմաստիճանը կարող է կտրուկ փոփոխվել մեծ միջակայքերում:

Առանցքային բաներ □ անալոգ, համեմատիչ, օպերացիոն ուժեղարար, ինտեգրալ սխեմա, ԳՄԻՍ, վատացում:

**Ա.Х. МХИТАРЯН, В.Д. ОГАННИСЯН, А.Т. ГРИГОРЯН,
М.Т. ГРИГОРЯН, А.А. АВЕТИСЯН
МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА В
ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ПРИЕМНИКЕ**

Предлагается метод компенсации воздействия температурного дрейфа в высокоскоростных приложениях SerDes. Диапазон рабочих температур современных сверхбольших интегральных схем (СБИС) составляет $-40...125^{\circ}\text{C}$, в то время как в нормальных режимах работы интегральных схем температура окружающей среды может сильно колебаться. На основе результатов моделирования SPICE импеданс MOSFET-транзистора варьируется в диапазоне от -20% до 13% , что влияет на температурную стабильность схем генерации эталонного тока. На основе предложенного решения алгоритм аналого-цифрового преобразования обнаруживает изменение опорных токов в течение периода работы интегральных схем из-за воздействия температурного дрейфа, а цифровой алгоритм компенсирует это влияние.

Результаты моделирования показали, что изменение полного тока из-за температурного дрейфа уменьшилось на 22% . Предложенное решение необходимо для высокоскоростных приемников в таких приложениях, как системы БПЛА, автомобили, самолеты, где температура окружающей среды может колебаться в больших пределах.

Ключевые слова: аналог, компаратор, операционный усилитель, интегральная схема, сверхбольшие интегральные схемы (СБИС), деградация.

Ս.Ս. ԱԲԱԶՅԱՆ

ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՄՆՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ՀՈՂԱՆՑՄԱՆ ՑԱՆՑԻ
ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Ներկայացված է լարման անկման նվազեցմանն ուղղված սնուցման և հողանցման ցանցի նախագծման մեթոդ: Ըստ ներկայացված մեթոդի՝ ցանցի լարերի երկարությունները նվազեցվում են, մինչդեռ մետաղական միջմիացումների քանակը մնում է համարյա անփոփոխ, ինչի արդյունքում հնարավորություն է ստեղծվում՝ ստանալու սնուցման լարի մոտավորապես 36,7% և հողանցման լարի մոտավորապես 18,3% լարման անկման նվազում՝ համեմատած ստանդարտ սնուցման և հողանցման ցանցի հետ:

Առանցքային բառեր. լարման անկում, սնուցման ցանց, անկման նվազեցում:

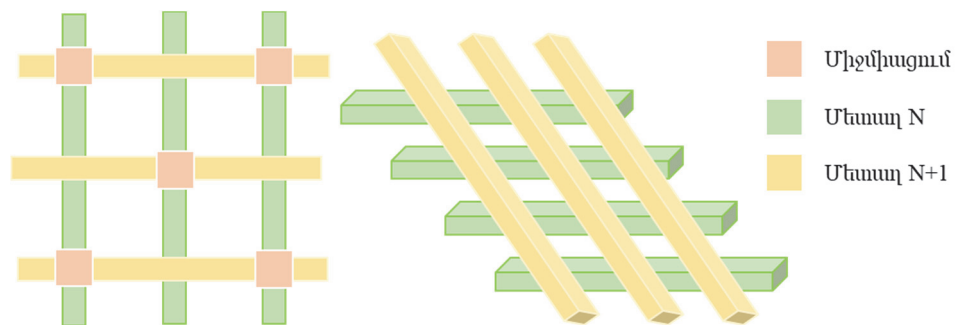
Ներածություն: Ինտեգրալ սխեմաների (ԻՍ) ներկայիս տեխնոլոգիական առաջընթացը նոր մարտահրավերներ է առաջ բերում դրանց նախագծման և ստուգման դեպքում: Բացի դրանից, ավելի ու ավելի մեծ կարևորություն են ձեռք բերում արդեն հայտնի երևույթները: Լարման անկումը ԻՍ նախագծման գործընթացում կարևոր երևույթներից մեկն է: Այն դիտարկվում է սնուցման և հողանցման հանգույցների դեպքում, երբ սնուցման լարի վրա լարումը նվազում է, իսկ հողանցման լարի վրա՝ ավելանում: Արդյունքում՝ անկման մեծ արժեքը կարող է հանգեցնել ԻՍ աշխատանքի խափանման՝ ընդհուպ միջև սխալ տրամաբանության իրականացումը:

Սնուցման և հողանցման ցանցի նախագծման եղանակներից մեկում [1] ներկայացվում է տեղային խիտ ցանցի կիրառման արդյունքում դրա վրա լարման անկման օպտիմալացման մեթոդը: Այս մեթոդի կիրառման արդյունքում այն հատվածներում, որտեղ կա հավանականություն հետագայում մեծ չափի անկման առաջացման, ներդրվում են հատուկ տիպի մետաղներ և միջմիացումներ: Լարման անկման գնահատումը կատարվում է ցանցի վրա պատահական ընտրության մեթոդով անցմամբ կորստի գնահատման միջոցով: Այս մեթոդի հիմնական թերությունն այն է, որ տեղայնացված խիտ կառուցվածքով սնուցման և հողանցման ցանցը զբաղեցնում է մեծ քանակով ծրագծման ուղիներ, որի արդյունքում այդ հատվածում մեծանում է լարերի խտությունը:

Նախագծման մեկ այլ եղանակում [2] ներկայացված է դինամիկ լարման անկման գնահատման և օպտիմալացման մեթոդ: Այս աշխատանքի հիմնական նպատակը ստանդարտ բջիջների տեղաշարժի միջոցով լարման անկման նվազեցումն է: Երբ որևէ բջիջում նկատվում է լարման բարձր անկում, ալգորիթը տեղաշարժում է այդ բջիջը դեպի սնուցման և հողանցման լարեր՝ ապահովելով ԻՍ սնուցման և հողանցման ցանցի և բջջի սեփական սնուցման և հողանցման դողերի միջև ավելի քիչ դիմադրություն: Համակարգը օժտված է նաև մեքենայական ուսուցման ալգորիթներով, որը հնարավորություն է տալիս ուղղորդել բջջի վերջնական տեղաշարժը՝ լավագույնս կարգավորելով լարման անկումը:

Մեկ այլ եղանակ է [3] ԻՍ սնուցման ցանցի այնպիսի նախագծման մեթոդը, որը, բացի լարման անկման գնահատումից և օպտիմալացումից, կատարում է նաև ժամանակային համաձայնեցում: Այս եղանակի դեպքում ցանցի նախագծման ժամանակ հաշվարկվում է ժամանակային սխալանքը՝ որպես ֆունկցիայի հիմնական արգումենտ:

ԻՍ նախագծման դեպքում սնուցման և հողանցման ցանցը պատրաստվում է հիմնականում ըստ նախագծի, օգտագործվող բջիջների ձևի, սխեմայում գործող լարումների և այլն: Ցանցի բարդությունը կախված է նրանից, թե ինչպիսի նախագիծ է իրականացվում՝ մեկ լարումով, տարբեր լարումներով և այլն: Չնայած այս հանգամանքին, ԻՍ նախագծման ժամանակ պարզագույն սնուցման և հողանցման ցանցը ներկայացնում է տարբեր մետաղական շերտերով ուղղահայաց և հորիզոնական մետաղների խումբ (նկ. 1) [4]:



Նկ. 1. Պարզագույն սնուցման և հողանցման ցանց

Այսպիսի կառուցվածքը հնարավորություն է ստեղծում՝ ունենալու բոլոր մետաղական շերտերի միացման հնարավորություն և բավականին մեծ քանակի մետաղական միջմիացումներ, որոնց քանակը անմիջականորեն ազդում է ցանցի վրա լարման անկմանը: Որքան ավելի շատ են միջմիացումները, այնքան ավելի

շատ զուգահեռ միացված դիմադրություններ են լինում ցանցում, ուստի և փոքրանում է ընդհանուր դիմադրությունը:

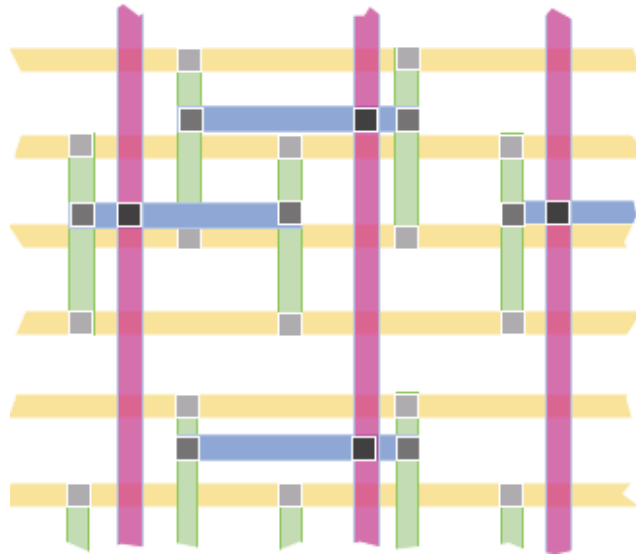
Այնուամենայնիվ, մետաղական լարերի մեծ քանակությունը մի կողմից՝ առաջացնում է հաջորդական պարազիտային դիմադրություններ, որոնք ազդում են լարման անկման վրա, մյուս կողմից՝ ավելացնում է ծրագծման ուղիների վրա ծանրաբեռնվածությունը: Մրա արդյունքում հնարավոր են խնդիրներ և՛ լարման անկման տեսանկյունից, և՛ ծրագծման գերծանրաբեռնվածություն՝ հաշվի առնելով ժամանակակից ԻՍ-երի փոքր չափերը [5,6]:

Այսպիսով, խնդրի լուծման վերլուծություններից երևում է, որ չնայած առաջարկվող մեթոդների կիրառման արդյունքում հնարավոր է նվազեցնել սնուցման և հողանցման ցանցի վրա լարման անկումը, այնուամենայնիվ, դա կատարվում է ծրագծման ուղիների քանակի կորստի հաշվին:

Առաջարկվող կառուցվածքը: Նկարագրված լարման անկման և ծրագծման ծանրաբեռնվածության խնդիրներից խուսափելու, բայց, միևնույն ժամանակ, միջմիացումների բավարար քանակություն ունենալու համար առաջարկվում է սնուցման և հողանցման ցանցի նախագծման մոտեցում, որը պահպանում է տարբեր (հաջորդական) մետաղական շերտերի միջև եղած միջմիացումների ընդհանուր քանակը, բայց նվազեցնում է մետաղների երկարությունը:

Մոտեցման առանձնահատկությունն այն է, որ այն հատվածներում, որտեղ չկան հարևան մետաղական շերտերի միջև միացումներ, մետաղական շերտերը հանվում են: Այսպես, ոչ անընդհատ մետաղական ցանցում նվազում է դիմադրությունը՝ ի հաշիվ հեռացված մետաղական կտորների, բայց քանի որ հարևան շերտերի միջև միջմիացումների քանակը մնում է նույնը, զուգահեռ դիմադրությունները պահպանվում են:

Նկարագրված ցանցը (նկ. 2) ներկայացնում է ամբողջ ԻՍ լայնությամբ ուղղված 1-ին մետաղական շերտ, որին հետևում են «կարճ» մետաղ 2-ի և մետաղ 3-ի շերտերը, ապա 4-րդ մետաղական շերտով ամփոփվում են բոլոր միացումները և միանում իրար:



Նկ. 2. Առաջարկվող ցանցի կառուցվածքը

Այս կառուցվածքի կիրառման արդյունքում նվազում են մետաղների երկարությունները 2-րդ և 3-րդ մետաղական շերտերում, բայց քանի որ միջմիացումների քանակը նույնն է մնում (լարերի «կտրված» մասերն ընկնում են միջմիացումներից դուրս), դա բացասական ազդեցություն չի ունենում ցանցի վրա: Այսպիսով, նվազում է լարերի ընդհանուր երկարությունը՝ նվազեցնելով պարագիտային դիմադրությունը և լարման անկումը:

Բացի լարման անկման նվազումից, ըստ նկարագրության՝ ավելի քիչ քանակի երկայնական և լայնական մետաղների օգտագործումը նվազեցնում է ծրագծման ուղիների ծանրաբեռնվածությունը: Այսինքն, քանի որ այդ հատվածով այլևս սնուցման կամ հողանցման լար չի անցնում, կարելի է տանել սովորական ծրագծման լար: Արդյունքում՝ սնուցման և ծրագծման ցանցի այսպիսի կառուցվածի կիրառումը հնարավորություն է տալիս նաև բարելավել ծրագծումը և ժամանակային որոշ պարամետրեր:

Փորձնական արդյունքները: Նկարագրված սնուցման և հողանցման ցանցի նախագծման մեթոդի առավելություններն ու թերությունները ցուցադրելու և նախագծման ստանդարտ մոտեցման հետ համեմատություններ անելու համար կատարվել են 2 նախագծեր, որոնց նախագծման ժամանակ և՛ առաջարկվող մեթոդի, և՛ ստանդարտ նախագծի դեպքում մետաղների կենտրոնների հեռավորությունը, լայնությունը և հեռավորությունը նույնն են պահվել:

Ինչպես երևում է կառուցված ցանցերի նախագծման ընթացքում ստացված պարամետրերից (աղ. 1), մետաղների երկարությունները այն մետաղական շերտերի դեպքում, որտեղ կիրառվել է երկարության նվազեցում, կարճ են մոտավորապես 21...22%-ով՝ համեմատած ստանդարտ նախագծման եղանակի մետաղների երկարությունների: Բայց, մյուս կողմից՝ այդ մետաղական շերտերի և հարևան մետաղական շերտերի միջև միջմիացումների քանակը միմյանցից ունեն շատ փոքր՝ մոտավորապես 3...4% տարբերություն:

Աղյուսակ 1

Ցանցերի ստացված պարամետրերը

Ստուգվող պարամետր	Մետաղական շերտ	Ստանդարտ մոտեցում	Առաջարկվող մոտեցում
Լարի երկարություն (մկմ.)	Մետաղ 1	318423,352	305381,609
	Մետաղ 2	636847,341	473257,572
	Մետաղ 3	11630,085	9447,751
	Մետաղ 4	15283,113	16147,38
Միջմիացումների քանակ	Մետաղ 1-2	17333374	18172974
	Մետաղ 2-3	27826	26983
	Մետաղ 3-4	28719	27930
Մետաղների քանակ	Մետաղ 1	1569	1473
	Մետաղ 2	3141	3258
	Մետաղ 3	55384	52904
	Մետաղ 4	55375	56124

Քննարկվող երկու տիպի՝ սնուցման և հողանցման ցանցերի վրա կատարվել է լարման անկման արժեքի հաշվարկ, որի արդյունքների համեմատությունից (աղ. 2) երևում է, որ առաջարկվող ցանցի կիրառման արդյունքում և՛ սնուցման ցանցի, և՛ հողանցման ցանցի վրա նկատվում են լարման անկման արժեքների նվազում:

Աղյուսակ 2

Համեմատական արժեքները

Ցանցի լար	Իդեալական լարում, V	Անկումը ստանդարտ նախագծի դեպքում, V	Անկումը առաջարկվող նախագծի դեպքում, V
Մուցում	1,2	5,8e-05	3,9e-05
Հողանցում	0	8,2e-05	6,7e-05

Եզրակացություն: Ներկայացված է լարման անկման արժեքի նվազեցմանն ուղղված սնուցման և հողանցման ցանցի նախագծման եղանակ: Առաջարկվող եղանակի կիրառման արդյունքում հնարավորություն է ստեղծվել սնուցման լարի վրա ունենալ մոտավորապես 36,7% լարման անկման օպտիմալացում, իսկ հողանցման լարի վրա՝ մոտավորապես 18,3%՝ ստանդարտ ցանցի կառուցման եղանակի համեմատ: Լարման անկման նվազեցման հիմքում ընկած է հաջորդական դիմադրությունների արժեքի նվազեցման մեթոդը՝ մետաղական որոշ շերտերի կարճացման հաշվին, անփոփոխ պահելով զուգահեռ դիմադրությունները:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Mamikonyan N., Melikyan N. and Musayelyan R.** IR Drop Estimation and Optimization on DRAM Memory using Machine Learning Algorithms // 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS).- Varna, Bulgaria, 2020.- P. 1-4, doi: 10.1109/EWDTS50664.2020.9224772.
2. Dynamic IR-Drop ECO Optimization by Cell Movement with Current Waveform Staggering and Machine Learning Guidance / **X. X. Huang, H. C. Chen, S. W. Wang, et al** // 2020 IEEE/ACM International Conference on Computer Aided Design (ICCAD).- San Diego, CA, USA, 2020.- P. 1-9.
3. **Kawakami Y., Fukui M. and Tsukiyama S.** Power grid optimization with consideration of timing violation by IR drop // 2008 International SoC Design Conference.- Busan, 2008.- P. I-109-I-112, doi: 10.1109/SOCCDC.2008.4815585.
4. **Aslam M. U., Cheema M. U., Cheema M. B. and Samran M.** Design analysis and optimization of ground grid mesh of extra high voltage substation using an intelligent software // 2014 The 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering, Semarang.- 2014.- P. 339-345, doi: 10.1109/ICITACEE.2014.7065768.
5. **Sinha A. and Chowdhury S.** Mesh-structured on-chip power/ground: design for minimum inductance and characterization for fast R, L extraction // Proceedings of the IEEE 1999 Custom Integrated Circuits Conference (Cat. No.99CH36327).- San Diego, CA, USA, 1999.- P. 461-465, doi: 10.1109/CICC.1999.777323.
6. **Yoshitome T.** Hierarchical analyzer for VLSI power supply networks based on a new reduction method // 1991 IEEE International Conference on Computer-Aided Design Digest of Technical Papers.- Santa Clara, CA, USA, 1991.- P. 298-301, doi: 10.1109/ICCAD.1991.185258.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 08.03.2021:

С.С. АБАЗЯН

**МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТКИ ПИТАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ
ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ**

Представлен метод проектирования сетки питания и заземления, направленный на уменьшение величины падения напряжения. Согласно предлагаемому методу, сокращаются длины проводов питания и заземления, в то время как количество межуровневых соединений остается неизменным. При использовании данного метода падение напряжения на сети питания оптимизировано примерно на 36,7% и на сети заземления - примерно на 18,3%, по сравнению со стандартным методом проектирования сетки.

Ключевые слова: падение напряжения, сетка питания, уменьшение ИК.

S.S. ABAZYAN

**A METHOD FOR POWER AND GROUND MESH DESIGN FOR
INTEGRATED CIRCUITS**

A power and ground mesh design method is presented, which is aimed at decreasing the IR drop value. According to the proposed method, the wire lengths of power and ground network are decreased, while the interlayer connection count is kept unchanged. Because of this, by using the proposed method, it becomes possible to optimize the IR drop on the power net by about 36,7%, while on the ground net - about 18,3%, compared to the standard mesh design method.

Keywords: IR drop, power mesh, IR optimization.

A.V. BABAYAN, G.A. ABGARYAN

GENERIC BIST ARCHITECTURE FOR MEMORIES

A generic Built-In Self-Test (BIST) architecture which is suitable for different types of well-known memories is proposed. This architecture consists of different components which are responsible for BIST features as operation execution and algorithm storage with a defined format. The main components of the proposed architecture are described. This architecture reduces the average test time by 0.85...3.21% (depends on the memory size).

Keywords: embedded memory BIST, memory fault, test algorithm, System-on-Chip.

Introduction. It is a well-known fact that most demanded and used intellectual properties (IP) in a System-on-Chip (SoC) are memories. But they are most defect sensitive components because they are fabricated with minimum feature widths. Nowadays, there are numerous of types of memories each of which has its own pros and cons and can be used in certain types of integrated circuits (IC). Therefore, their reliability is of great importance and the BIST is known to be one of the most efficient solutions for large systems, which mainly consist of memories. The implementation of such a BIST solution, requires understanding of some basic notions and commonly used approaches. Some of them are described below.

Fault Modeling. There are many different types of memories (e.g., SRAM, DRAM, CAM, etc.) and each of them may be prone to certain specific fault types. For example, there are additional match port and valid bits in CAMs except the control and data ports. Hence, there can be stuck faults as well as transition faults for those ports and bits (always (mis)match faults, stuck (in)valid bit, etc.).

On the other hand, there are faults, which are common for most of the memories. Having the classification of the main fault types, which are common across the different memory types (Table 1), will help to create the corresponding test sequences and test mechanisms for them.

Memory Access Mechanism. The easiest way to access the memories is the direct access mechanism. In that case processors, driving memory signals, are connected to the inputs directly. There are other approaches like connection with interface or physical layer (PHY) in case of external memories [1]. But, in general, it is very common now that there are pipes between the memory and the processor. This resolves the possible timing issues.

Test sequence. To detect certain types of faults, different test sequences (algorithms) should be applied [2]. For example, to detect stuck-at 0/1 fault, simple write and read are used with an alternating background:

$$\{W0, R0, W1, R1\}. \quad (1)$$

To detect the transition fault 0 to 1 and 1 to 0, transitions should be applied. The below sequence contains both transitions:

$$\{W0, R0, W1, R1, W0, R0\}. \quad (2)$$

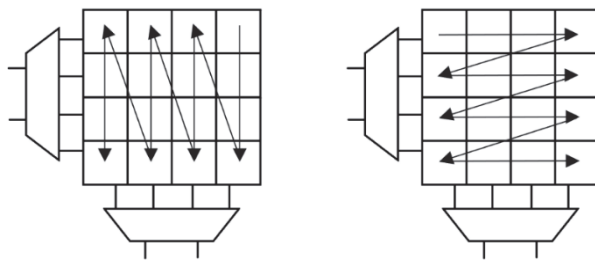


Fig 1. Addressing directions (fast column and fast row)

Table 1

Memory fault classification

Fault Type	Fault Name	Fault Description
Single-cell faults	Stuck-at 0/1	The logic value of a stuck-at (SA) cell or line is always 0 or 1. It is always in state 0 or in state 1 and cannot be changed to the opposite state.
	Transition 0/1	A cell that fails to undergo a 0 to 1 transition when it is written is said to contain an up-transition fault, and a down transition fault indicates that a cell fails to undergo a 1 to 0 transition.
	Write destructive faults	A non-transition write operation in a memory cell causes the cell to flip.
	Read destructive faults	A read operation is performed to the cell causes inversion of the value in the cell and returns the incorrect value.
	Stuck-open faults	The memory word cannot be accessed. When the sense amplifier contains a latch, during a read operation, the previously read value may be produced.
Two-cell faults	Static coupling faults	A given value 0 or 1 of the cell in the aggressor word forces a certain value 0 or 1 in a cell of the victim word.
	Transition coupling faults	A write transition operation applied to a cell of the victim word does not cause a transition if the aggressor word is in each state.

In general, memories have a word-oriented structure and non-bit-oriented, so certain background patterns (BP) can be applied to memory words that can help to detect two cell-related faults such as coupling faults. To detect all the combinations of two coupled bit-cells, (1) sequence can be used with two varying background patterns:

BP 1: Solid pattern (all 0/1) {W1, R1, W0, R0}

BP 2: Checkerboard pattern (all 01/10) {W(D), R(D), W(~D), R(~D)}

The Processor Components: Below are described the primary component blocks which are necessary to have complete memory BIST. A certain block can be different for certain type of memory, but the fundamental approaches are identical [3].

Table 2

March test operations

Operation name	Description
W	Applies simple write operation on the memory.
R	Applies simple read operation on the memory. Compares actual data with expected one (expected data is held until comparison).
RW	If memory has at least two control (read or write) ports than all these ports will be accessed simultaneously. Makes stress condition for the memory.
WW (Content Addressable Memory-CAM specific)	Applies write operation with logic patterns on both arrays of CAMs.
Compare (CAM specific)	Applies search operation in the whole memory during one cycle.
Hit (CAM specific)	Expects a single hit (match) on the current address.
Activate, Activate_2 (External Memory specific)	Applies a page activation.

Address Decoder. There are a few addressing types for a memory, each of which is used in different march algorithms [4]. There are fast row, fast column (Fig. 1), walking and galloping addressing modes which can be used with different data background patterns (solid, checkerboard).

Opcode Decoder. Once we have the described the memory pinout and the access mechanism for that, corresponding operations can be applied through the operation decoder. Table 2 describes the test operations used for different memories.

Data Comparator. This compares actual and expected data values and generates one-bit signal as a result. There is a possibility to have failing I/O bits via provided register.

March Element Format. March element consists of two parts. The first one is the configuration of the current operation set. The configuration which is a register with size of 10...20 *bits*. The size is defined based on memory type and algorithms, which should be used. The addressing direction and data patterns are described in this configuration. The second part contains the operations' sequence. The size of this part is fixed by the maximum number of operations, which is configurable. The rest of this part which is not used for operations are skipped during the march element execution. The possibility of algorithm programming allows to have own test sequences. Using the parallel loading mechanism for configuration register, the test time is improved for different sized memories compared with the results presented in [5].

March Element State Machine. To execute certain operations in a defined sequence, the algorithm format is defined. There can be different containers for march elements with specified format. In this solution, there are two ways to have an algorithm in a processor: hardwired, which means having the specified algorithm fixed in the processor, and programmable, which allows to load the algorithm through certain inputs of the processor. After selecting an algorithm, the internal logic parses it and executes the test operations using the march element state machine. The graph in Fig. 2 describes the state machine for a march algorithm.

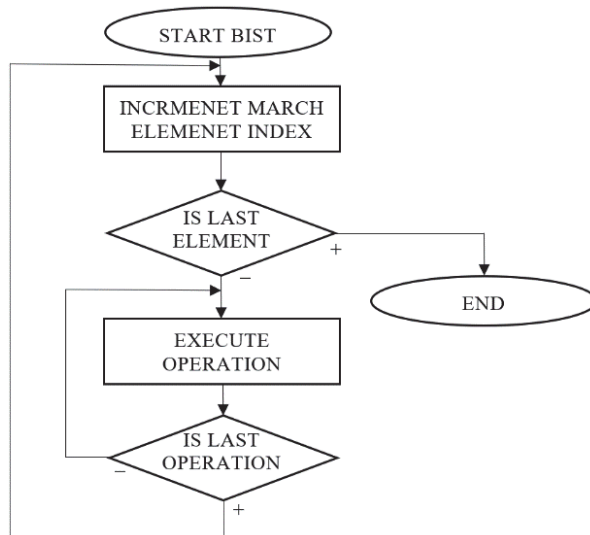


Fig 2. March element execution

Repair Mechanism. This feature exists if memory has an ability to be repaired. It is usually done via redundant cell groups. Knowing the configuration of redundant elements in a memory, the processor analyzes the location of captured failures and based on the results replaced the faulty rows/columns with redundant ones.

Specific Blocks. It is clear, that the proposed architecture for testing different types of memories cannot be absolutely the same with its main components. Therefore, there are some special purpose components which allow to use the main idea as a testing processor. Below is the description of these blocks.

Reference Calibration for MRAM. The logical “0”/“1” of this type of memory is defined as the amplification of the voltage of its bit-cell. For high resistance, the logical value is accepted as “1” and “0” for a low one. Because these resistances are close to each other, it is necessary to find the reference voltage for comparison of the output voltage of a bit-cell. Knowing the characteristics of the bit-cell behavior, the search mechanism can be suggested. It is usually implemented via provided registers as a memory input. Using the specified search algorithm, the best reference value can be found.

Memory Controller for External DRAM. In general, external dynamic memories have a special initialization and test sequence. Initialization sequence contains DRAM memory reset, some configuration registers and physical layer (PHY) reset. After initialization step, memory test should be asserted, but the test operations cannot be executed at once. There are more stages, which memory must be during the test [6,7] (i.e. activation, pre-charge, refresh, etc.). The memory controller allows to execute both protocols.

Conclusion. An architecture, which is compatible with different memories, is presented. The usage of the introduced BIST architecture for different memory types reduces the test time 0.85...3.21% for different memories with different sizes.

REFERENCES

1. Cadence Design Systems, Inc. DFI DDR PHY Interface, 2018.
2. **Vardanian V.A., Zorian Y., Harutunyan G.** Minimal March tests for detection of dynamic faults in random access memories // Journal of Electronic Testing: Theory and Applications (JETTA). – February, 2007. – Vol. 23, no. 1. – P. 55-74.
3. A Robust Solution for Embedded Memory Test and Repair / **Y. Zorian, S. Shoukouri-an, K. Darbinyan**, et al // IEEE Asian, Test Symposium, 2011. – P. 461-462.
4. **Van de Goor A.J.** Testing semiconductor memories, theory and practice. – John Wiley & Sons, Inc., USA, 1991. – 512 p.
5. Symmetry Measure for Memory Test and Its Application in BIST Optimization / **G. Harutyunyan, et al** // J Electron Test. – 2011. – 27. – P. 753–766.

6. **Balch M.** Complete Digital Design: A Comprehensive Guide to Digital Electronics and Computer System Architecture. - The McGraw-Hill Companies, Inc., USA, 2003. – 460 p.
7. **Kim I., Jeong W., Kang D., Kang S.** Fully Programmable Memory BIST for Commodity DRAMs // ETRI Journal. - 2015. - Vol. 37, No. 4. - P. 787-792.

National Polytechnical University of Armenia. The material is received on 17.03.2021.

Ա.Վ. ԲԱԲԱՅԱՆ, Գ.Ա. ԱԲԳԱՐՅԱՆ

ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՆԵՐՂԻՎԱԾ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅՈՒՆ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Առաջարկվում է ներդրված թեստավորման համակարգ, որը համատեղելի է տարբեր տիպի հիշողությունների համար: Ճարտարապետությունը կազմված է տարբեր ենթակառուցվածքներից, որոնք պատասխանատու են թեստավորման իրականացման համար, ինչպիսիք են՝ օպերացիաների կատարումը և թեստավորող ալգորիթմի պահպանումը որոշակի ֆորմատով: Ներկայացված են ճարտարապետության հիմնական բաղադրիչները: Այս համակարգը նվազեցնում է թեստավորման ժամանակը միջինում 0.85-3.21%-ով (կախված հիշողության ծավալից):

Առանցքային բառեր. ներդրված հիշողությունների թեստավորում, հիշողության անսարքություն, թեստավորող ալգորիթմ, համակարգ բյուրեղի վրա:

А.В. БАБАЯН, Г.А. АБГАРЯН

ОБЩАЯ АРХИТЕКТУРА ВСТРОЕННОГО САМОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПАМЯТИ

Предлагается общая архитектура встроенного самотестирования, которая подходит для различных типов хорошо известных видов памяти. Эта архитектура состоит из различных компонентов, которые отвечают за функции самотестирования, такие как выполнение операций и хранение алгоритмов в определенном формате. Описаны основные компоненты предлагаемой архитектуры. Данная архитектура снижает среднее время тестирования на 0,85...3,21% (в зависимости от объема памяти).

Ключевые слова: самотестирование встроенной памяти, неисправность памяти, тестовой алгоритм, система на кристалле.

УДК 681.782.473:004.354.5

АВТОМАТИЗАЦИИ И
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Г.Г. ХАЧАТРЯН, С.О. СИМОНЯН, С.В. ВЕРЛИНСКИЙ

**ПРИМЕНЕНИЕ SOLIDWORKS И ANSYS В ИССЛЕДОВАНИИ
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
КОНСТРУКЦИЙ**

Изучен рынок систем CAD/CAE, используемых в настоящее время при автоматизированном проектировании. Показано, что связка SolidWorks и ANSYS является одним из лучших на рынке решений для разработки конструкций устройств, оборудования, инструментов и проведения различных видов физических расчетов.

Построена 3D-модель конструкции устройства в SolidWorks, исследованы возможности оптимизации и снижения его массогабаритных характеристик. Необходимые для моделирования данные были импортированы из SolidWorks в ANSYS через подсистему управления проектными данными (PDM – Product Data Management) с использованием формата IGES межпрограммного обмена. В ANSYS проведен динамический анализ напряженно-деформированного состояния конструкции. При помощи метода конечных элементов под воздействием вектора синусоидальных нагрузок найдены деформации модели и амплитудно-частотные характеристики в двух диапазонах частот ($1...100\text{ Гц}$ и $100...1000\text{ Гц}$), а также частоты собственных колебаний конструкции (частота резонанса).

Ключевые слова: SolidWorks, ANSYS, напряженно-деформированное состояние, динамический анализ конструкций, системы CAD и CAE, оптимизация, метод конечных элементов, облачные вычисления.

Целью данного исследования является изучение напряженно-деформированного состояния прототипа устройства компьютерного тренажера с использованием новейших версий систем автоматизированного проектирования (САПР), принадлежащих к CAD/CAE-технологиям (Computer Aided Design/Computer Aided Engineering).

Говоря о CAE, нельзя не упомянуть связку CAD/CAM/CAE. Не случайно Национальный научный фонд США (National Science Foundation, NSF) считает появление систем CAD самым значимым событием с точки зрения повышения производительности труда со времен изобретения электроэнергии.

В настоящее время в результате многочисленных слияний и поглощений произошло формирование отрасли вокруг четырех основных игроков – Autodesk, Dassault Systèmes, PTC и Siemens PLM Software [1].

Среди наиболее широко представленных на рынке систем CAD выделяются программные продукты французской компании Dassault Systèmes и нижеперечисленных американских корпораций:

- AutoCAD, Inventor, Revit (Autodesk),
- SolidWorks, CATIA (Dassault Systèmes),
- Pro/Engineer, Creo (PTC),
- NX, Solid Edge (Siemens PLM Software).

Наиболее популярными из систем CAE в основном являются программные продукты следующих американских компаний:

- ANSYS (ANSYS Inc),
- Abaqus (Dassault Systèmes),
- Nastran, Patran (MSC Software),
- NX (Siemens PLM Software),
- Algor Simulation, Moldflow (Autodesk),
- Pro/Mechanica (PTC).

При изучении возможностей применения той или иной САПР наш выбор пал на SolidWorks и ANSYS, как на одни из самых функциональных и лучших из имеющихся на рынке САПР решений по всестороннему моделированию и дальнейшему комплексному анализу механических конструкций. Вопросы применения SolidWorks и ANSYS подробно рассмотрены в [2 - 5].

Улучшение характеристик прочности конструкции устройства возможно с помощью компьютерного моделирования воздействия на него знакопеременной динамической нагрузки. Для этого необходимо создать трехмерную модель устройства в САПР и выполнить анализ прочности. 3D - модель устройства создана в SolidWorks.

Цель прочностного анализа - определить величины поверхностных деформаций, внутренних напряжений и частот собственных колебаний механической конструкции [6].

Снижение массы устройства возможно благодаря правильному выбору и расчету его деталей, а также геометрических размеров материала корпуса, исключая ухудшение основных критериев, таких как жесткость, надежность и стабильность конструкции.

Конструкция состоит из верхней части - стойки и нижней части - корпуса с подъемно-поворотным механизмом и складными ножками. В верхней стойке для передачи движения от маховичков валам используются следующие зубчатые передачи: коническая - с передаточным отношением, равным 1, и цилиндрическая - с передаточным отношением, равным 1,5. На маховички верхней стойки действуют крутящие моменты $M = 10 \text{ Н}\cdot\text{м}$. В нижней части

конструкции для передачи движения подъемному механизму используется коническая зубчатая пара с передаточным отношением, равным 1. На валы подъемно-поворотного механизма, приводимые в движение маховиками, действуют крутящие моменты $M = 250 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (рис. 1). При этом нижняя часть конструкции жестко закреплена.

Габаритные размеры корпуса следующие: длина – 1050 мм, ширина – 480 мм, высота – 1180 мм. Толщина материала корпуса – 3 мм.

В качестве материала корпуса используется Сталь 4, зубчатых колес – Сталь 45.

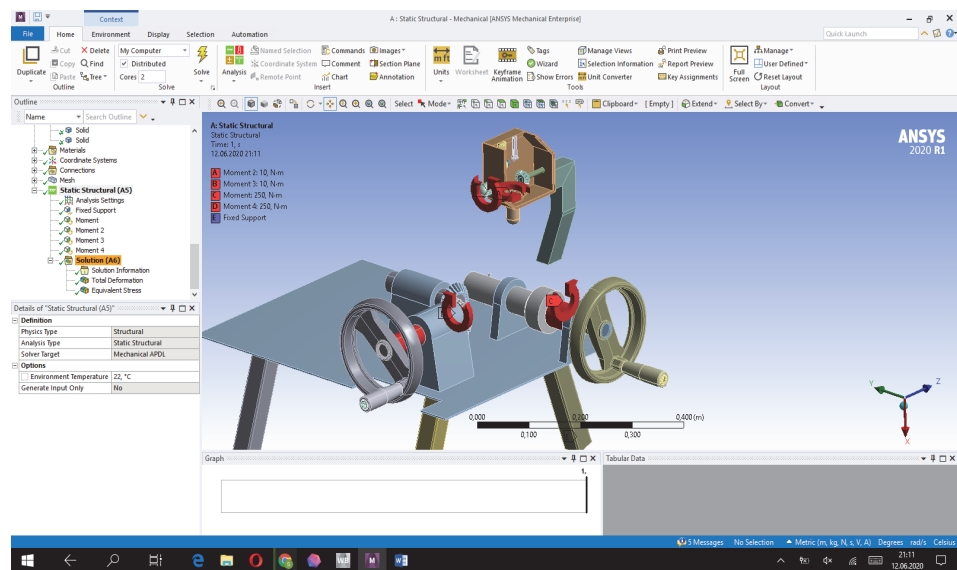


Рис. 1. Крутящие моменты, действующие на органы управления

Оптимизация параметров проводится по минимизации масс деталей конструкции – валов, подшипников и их опор, зубчатых передач:

$$\sum_{i=1}^n m_i \rightarrow \min_m.$$

С применением автоматизированной оптимизации параметров в SolidWorks была получена оптимальная конструкция, представленная на рис. 2. Однако она нерациональна с точки зрения эргономики. В результате дальнейшей проработки был получен внешний вид, представленный на рис. 3.

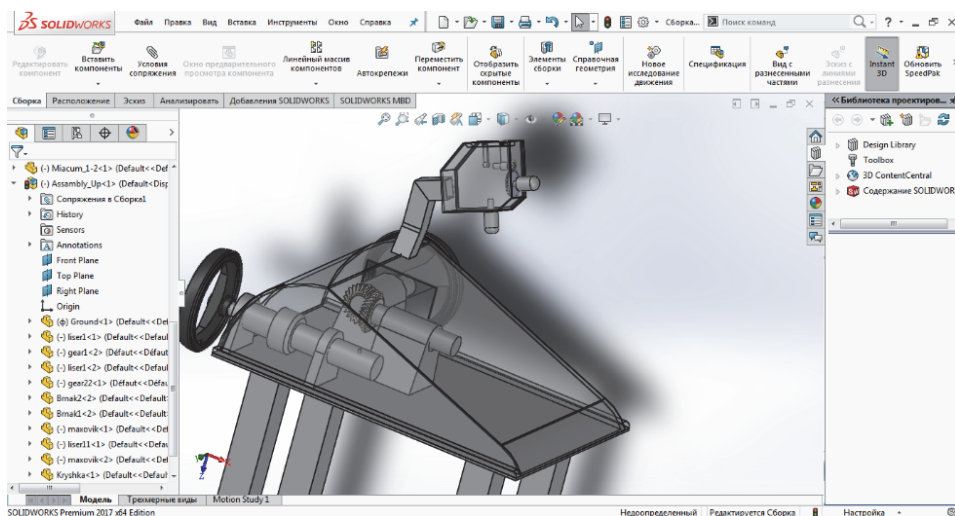


Рис. 2. Оптимизированная конструкция устройства в SolidWorks

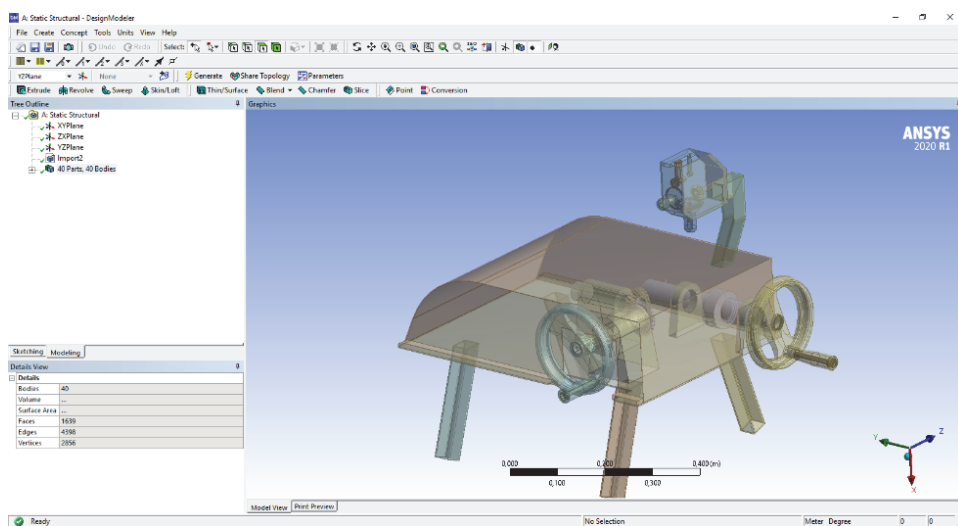


Рис. 3. Окончательная конструкция устройства, перенесенная из SolidWorks в ANSYS

В результате моделирования были получены оптимальные данные толщин основания корпуса и крышки, а также размеров и толщин складных ног. Контрольные расчеты прочности валов и зубчатых соединений производились на основе методик, изложенных в [7]. Исходным пунктом вычислений прочности валов является максимальный крутящий момент, приложенный на каждый из двух нижних маховиков, от которого зависят минимальные диаметры соответствующих валов. Все это влияет на толщину основания корпуса, а значит, и на общую массу конструкции.

Расчет диаметра вала проведен согласно [7]:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi\tau}},$$

где M – крутящий момент, $H\cdot мм$; τ – касательное напряжение, $МПа$.

В качестве целевой функции выбран диаметр вала (от которого зависит его масса). Составлена двухкритериальная нелинейная задача оптимизации:

$$\begin{aligned} d &= \sqrt[3]{\frac{16M}{\pi\tau}} \rightarrow \min_{M, \tau}, \\ 15 &\leq \tau \leq 20, \\ M &> M_{max}, \end{aligned}$$

где M_{max} – максимальный крутящий момент ($6000 H\cdot мм$), который долго может развить человек при вращении двумя руками маховика диаметром 200 мм [8]. Результатом решения задачи оптимизации является уточненный минимальный диаметр вала $d = \varnothing 13 мм$ подъемно-поворотного механизма.

Подобными методами осуществлены оптимизация параметров других деталей конструкции – подшипников, опор, зубчатых передач, и сравнение с оптимизацией в SolidWorks.

Одним из наиболее распространенных методов анализа прочности конструкций является компьютерное моделирование методом конечных элементов (МКЭ) или FEM (Finite Element Method), который предлагает численные методы решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений [9].

На рис. 4 показана полученная в ANSYS амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) конструкции при гармонической (синусоидальной) нагрузке в диапазоне частот 1...100 Гц, а на рис. 5 – в диапазоне частот 100...1000 Гц. Знание собственных частот необходимо для проектирования узлов во избежание возникновения колебаний на резонансной частоте во время транспортировки или эксплуатации устройства.

Анализ моделирования в ANSYS показал, что в диапазоне частот 1...100 Гц деформация конструкции в верхней части стойки достигает на частоте 30,7 Гц значения 13,2 мм. Тот же анализ в диапазоне частот 100...1000 Гц зафиксировал максимальную деформацию конструкции на левом участке днища корпуса, достигнув на частоте 109 Гц значения 10,59 мм (рис. 6).

Особый интерес представляют колебания в диапазоне частот 20...80 Гц. Здесь верхняя частота 80 Гц определяется антропометрическими свойствами организма человека, а именно – частоты сокращения мышц рук оператора

находятся в полосе 30...80 Гц [6]. Колебания с частотой ниже 30 Гц могут возникнуть во время транспортировки устройства на автомобиле.

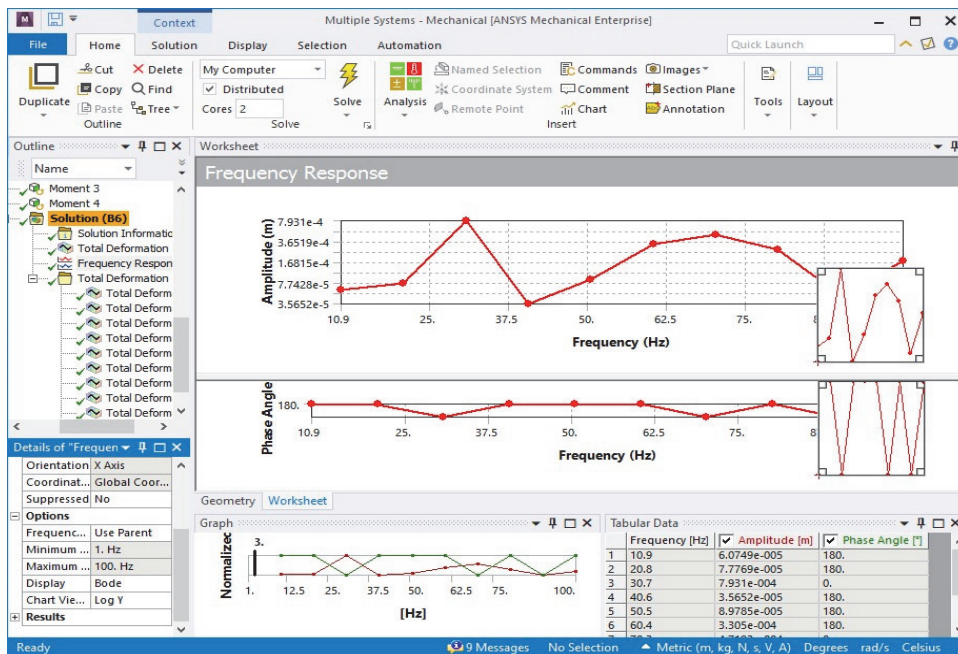


Рис. 4. АЧХ устройства в диапазоне частот 1...100 Гц

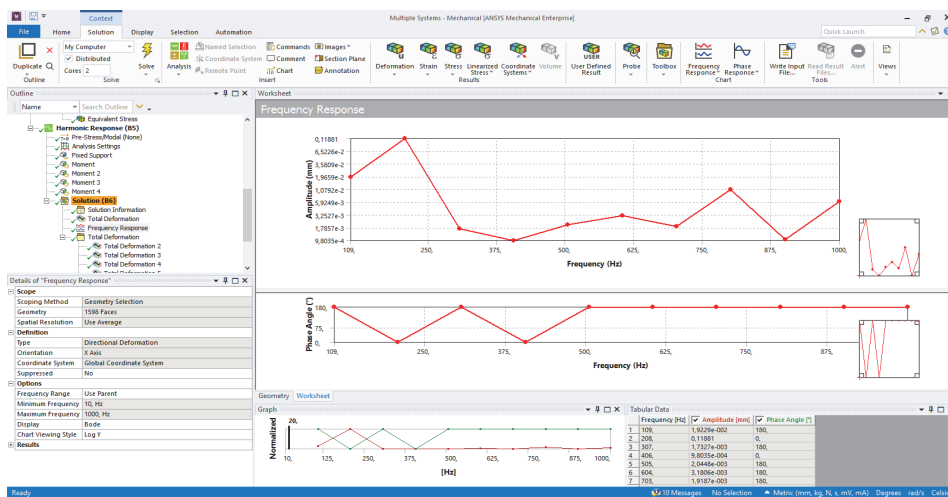


Рис. 5. АЧХ устройства в диапазоне частот 100...1000 Гц

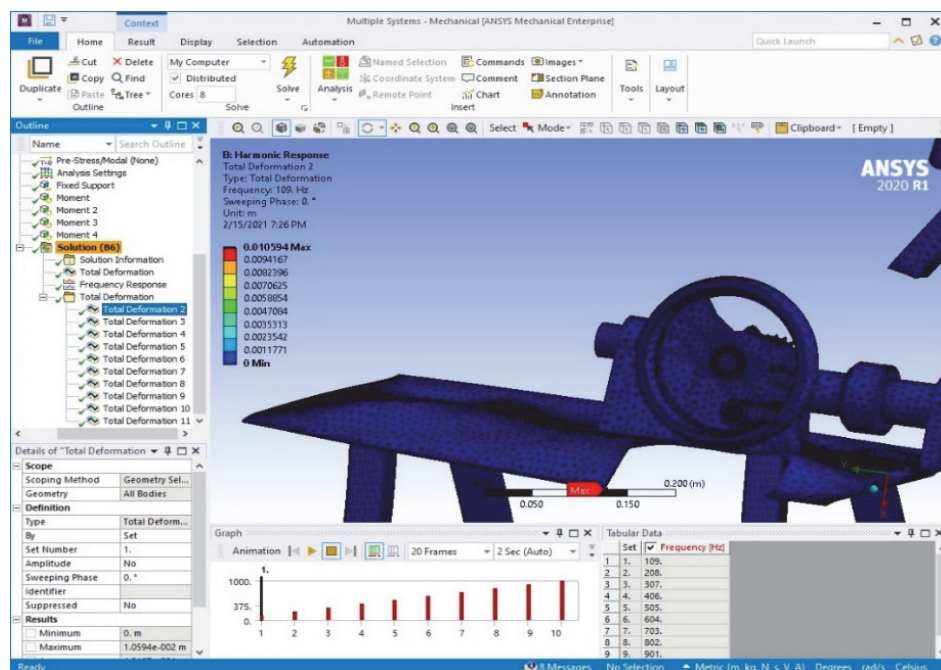


Рис. 6. Деформации конструкции на частоте 109 Гц

Известно, что ускорения, возникающие в структурных элементах автомобиля, являются функцией возбужденных колебаний и амплитуды неровностей автодорожной поверхности. Частоты колебаний в кабине и кузове легковых и грузовых автомобилей с рычажно-пружинной и пневмогидравлической подвесками попадают в диапазон 1,5...22 Гц [10, 11], что в нашем случае ниже резонансной частоты конструкции устройства (30,7 Гц).

Вышеупомянутый анализ напряженно-деформированного состояния проведен с помощью компьютера следующей конфигурации: ЦП – Core i7 3621QM 2.1 ГГц (8 ядер), ОЗУ – 8 Гб, VGA – 1 Гб. Общее затраченное машинное время составило 15909 с (около 4,5 ч), что вызвало необходимость продолжить исследование при помощи более мощного компьютера с применением облачных сервисов.

Облачные вычисления выполнены с использованием облачной модели обслуживания PaaS (Platform-as-a-Service) компании Instigate на сервере следующей конфигурации (рис. 7): ЦП – AMD Ryzen 3800X 3,9 ГГц (8 ядер), ОЗУ – 32 Гб DDR 4, VGA – Geforce GT710B 2 Гб, SSD – 500 Гб.

Результаты расчетов следующие:

- количество узлов, полученных МКЭ, – 493864;

- общее количество элементов - 258558;
- количество решенных дифференциальных уравнений - 1479504.

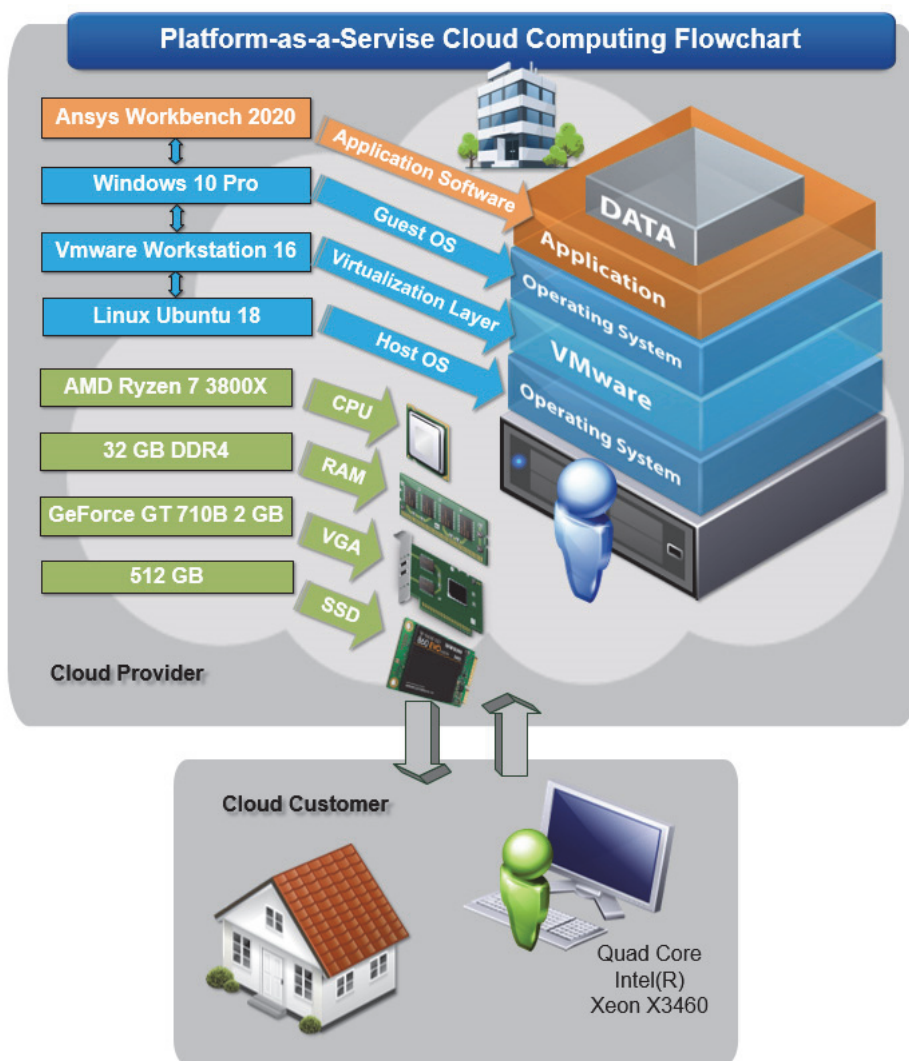


Рис. 7. Диаграмма проведенных облачных вычислений

График процессорного времени, затраченного на локальные и облачные вычисления, приведен на рис. 8, а расчетная производительность операций с плавающей запятой решателя дифференциальных уравнений ANSYS - на рис. 9.

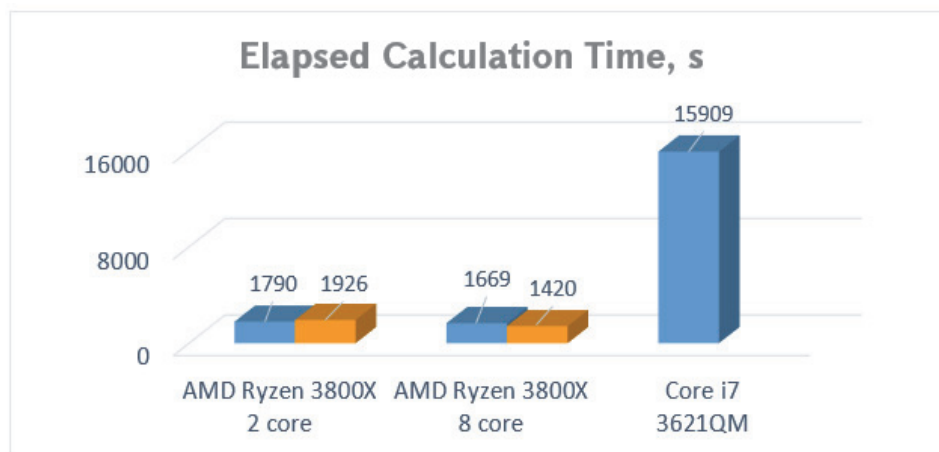


Рис. 8. Процессорное время, затраченное на вычисления в ANSYS

Сравнительные графики производительности процессоров Core i7 3621QM и AMD Ryzen 3800X построены в 2- и 8-ядерном режимах работы последнего.

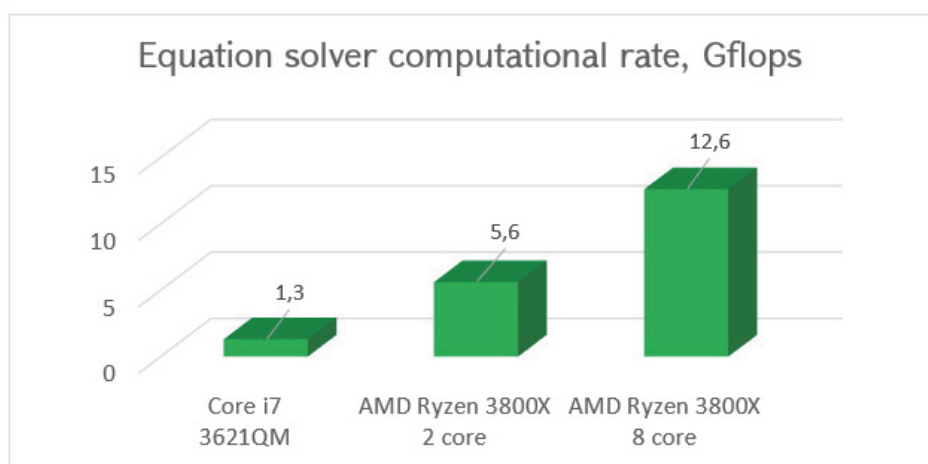


Рис. 9. Расчетная производительность операций с плавающей запятой решателя дифференциальных уравнений ANSYS (64-битный режим)

Заключение

Моделирование в ANSYS показало, что:

- частота собственных колебаний конструкции равна 30,7 Гц, что вынудило для нейтрализации возможного негативного воздействия (при ее перевозке в кузове автомобиля) предусмотреть соответствующее конструктивное решение с жестким закреплением верхней стойки;

- максимальная деформация конструкции при динамической синусоидальной нагрузке в диапазоне частот 100...1000 Гц зафиксирована на левом участке днища корпуса, достигнув значения 10,59 мм на частоте 109 Гц, что свидетельствует о необходимости увеличения толщины материала днища (сталь марки Ст. 4) и перерасчета или добавления ребер жесткости под днищем;

- при моделировании напряженно-деформированного состояния в ходе облачных вычислений получена экономия времени в 8...11 раз по сравнению с локальными вычислениями.

Выявлено, что перевозка конструкции транспортными средствами не вызовет проблем, так как собственные колебания кабины и кузова автомобиля приходятся на диапазон частот 1,5...22 Гц, что ниже резонансной частоты (30,7 Гц) конструкции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерный инжиниринг: Учеб. пособие/ **А.И. Боровков** и др. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. - 93 с. <https://fea.ru/news/3046>.
2. **Аведьян А.** SolidWorks - САПР промышленного масштаба. <https://sapr.ru/article/6786>.
3. **Planchard D.C.** Engineering Design with SOLIDWORKS 2018.-SDC Publications, 2018.- 890 p.
4. **Lombard M.** Mastering SolidWorks.-John Wiley & Sons, Inc. 2019. - 1210 p.
5. **Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S.** Engineering Analysis with ANSYS Software.- Elsevier Ltd., 2006.-456 p.
6. **Федорцев Р.В., Фуфаев А.В., Болотин А.А.** Моделирование и оптимизация портативного прибора наблюдения посредством анализа жесткости его конструкции в среде САПР PRO/ENGINEER//Приборы и методы измерений.- 2013.- N1 (6).- С.52-59.
7. Проектирование механических передач/ **С.А. Чернавский, Г.А. Снесарев, Б.С. Козинцов** и др.-5-е изд., перераб и доп. - М.: Машиностроение, 1984. - 560 с.
8. **Долин П.А.** Справочник по технике безопасности.-5-е изд., перераб и доп. - М.: Энергоиздат, 1982. - 800 с.
9. **Бате К.Ю.** Метод конечных элементов.- М.: Физматлит, 2010. - 1024 с.
10. **Войтенко В.А.** Математическое моделирование упругой подвески автомобиля// Электротехнические и компьютерные системы. -2013.- №10 (86). -С. 33-40.
11. **Поляков Ю.А.** Динамический анализ комплексных виброзащитных систем транспортных средств: Дис. ...д.т.н.- М., 2019.- 478 с.

Национальный политехнический университет Армении. Материал поступил в редакцию 27.02.2021.

Հ.Գ. ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՄԻՄՈՆՅԱՆ, Ս.Վ. ՎԵՐԼԻՆՍԿԻ

**SOLIDWORKS-Ի ԵՎ ANSYS-Ի ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԻ
ԼԱՐՎԱԾԱՂԵՖՈՐՄԱՑՎԱԾ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ**

Ուսումնասիրվել է ներկայումս օգտագործվող CAD/CAE համակարգերի շուկան: Ցույց է տրվել, որ SolidWorks-ը և Ansys-ը հանդիսանում են շուկայում լավագույն լուծումներից մեկը սարքերի, սարքավորումների, գործիքների կոնստրուկցիաների նախագծման և տարբեր տեսակի ֆիզիկական հաշվարկների իրականացման համար:

Կառուցվել է սարքի կոնստրուկցիայի 3D մոդելը SolidWorks-ում, ուսումնասիրել են օպտիմալացման և նրա զանգվածագաբարիտային բնութագրերը նվազեցնելու հնարավորությունները: Մոդելավորման համար անհրաժեշտ տվյալները SolidWorks-ից փոխանցվել են ANSYS տվյալների կառավարման ենթահամակարգի (PDM - Product Data Management) միջոցով՝ օգտագործելով միջօրագրային փոխանակման IGES ձևաչափը: ANSYS-ում իրականացվել է կոնստրուկցիայի լարվածադեֆորմացված վիճակի դինամիկ վերլուծություն: Վերջավոր տարրերի մեթոդով (ՎՏՄ) սինուսոիդալ բեռնվածությունների վեկտորի ազդեցության տակ հայտնաբերվել են մոդելի դեֆորմացիաները և ամպլիտուդահաճախականային բնութագրերը (ԱՀԲ) երկու տիրույթներում (1...100 Հց և 100...1000 Հց), ինչպես նաև կոնստրուկցիայի սեփական տատանումների հաճախականությունները (ռեզոնանսի հաճախականությունը):

Առանգրային բառեր. SolidWorks, ANSYS, լարվածադեֆորմացված վիճակ, կոնստրուկցիաների դինամիկ վերլուծություն, CAD և CAE համակարգեր, օպտիմալացում, վերջավոր տարրերի մեթոդ, ամպլային հաշվարկներ:

H.G. KHACHATRYAN, S.H. SIMONYAN, S.V. VERLINSKY

**APPLICATION OF SOLIDWORKS AND ANSYS IN THE RESEARCH OF
THE STRESS-STRAIN STATE OF CONSTRUCTIONS**

The market of CAD/CAE systems currently in use has been studied. It is shown that the combination of SolidWorks and ANSYS is one of the best solutions on the market for the development of device designs, equipment, tools and various types of physical calculations.

A 3D model of the device design in SolidWorks is built, and the possibilities of optimization and reduction of its mass and size characteristics are investigated. The data required for modeling was transferred from SolidWorks to ANSYS via the Project Data Management (PDM) subsystem, using the IGES interprogram exchange format. The dynamic analysis of the stress-strain state of the structure is carried out in ANSYS. Using the Finite Element Method (FEM) under the influence of the vector of sinusoidal loads, the deformations of the model and its amplitude-frequency characteristics in two frequency ranges (1...100 Hz and 100...1000 Hz), as well as the natural oscillation frequency of the device (the resonance frequency) are found.

Keywords: SolidWorks, ANSYS, stress-strain state, dynamic structural analysis, CAD and CAE systems, optimization, Finite Element Method, cloud computing.

УДК 532.542

ГИДРАВЛИКА И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ
СООРУЖЕНИЯ

Э.П. АЩИЯНЦ

К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ОПОРОЖНЕНИЯ
КОЛОННЫ ЖИДКОСТИ ИЗ ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ
НАСАДКА НА ЕГО КОНЦЕ

Рассматриваются вопросы опорожнения жидкости из напорного трубопровода постоянного диаметра с насадком на его конце. В результате исследований получены более общие аналитические зависимости для скорости опорожнения жидкости из трубопровода и рекомендуется графоаналитический метод определения времени опорожнения жидкости из трубопровода. Проведено сопоставление результатов расчета по полученным формулам с соответствующими экспериментальными данными.

Ключевые слова: напорный трубопровод, насадок, гидравлические сопротивления, жидкость, время опорожнения.

Введение. При проектировании и эксплуатации систем водоснабжения, включающих напорные трубопроводы, возникает необходимость определения гидравлических параметров течения жидкости в указанных трубах в процессе опорожнения колонны жидкости.

Анализ проведенных исследований [1-3] показывает, что динамика движения колонны жидкости при нестационарном процессе изучена недостаточно, а существующие расчетные зависимости, определяющие скорость опорожнения жидкости из трубопровода, нуждаются в усовершенствовании. В настоящее время в технической литературе не имеется достаточно точного аналитического решения этой задачи при одновременном учете как местных, так и распределенных по длине трубопровода гидравлических сопротивлений. Решение этой задачи существенно усложняется в случае опорожнения сложных трубопроводов с насадками на их конце. Исходя из вышесказанного, проведенное в настоящей работе исследование является актуальным.

Постановка задачи и методы исследования. Целью настоящей работы является получение более общих аналитических зависимостей, определяющих скорость опорожнения колонны жидкости из трубопровода, снабженного насадком на его конце.

Один из методов определения скорости опорожнения колонны жидкости из трубопровода (рис.1) через отверстие 2 насадка 3 основан на следующих рассуждениях [4].

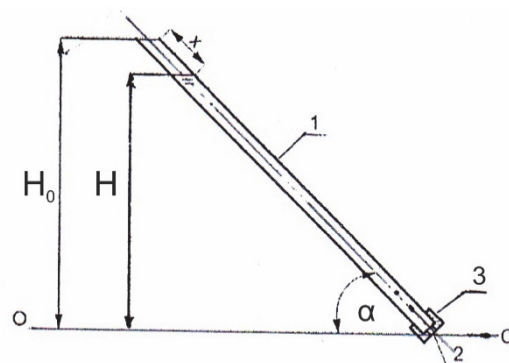


Рис.1. Расчетная схема трубопровода: 1 – трубопровод, 2 – отверстие, 3 – насадок

Если в процессе опорожнения колонны жидкости в трубопроводе уровень ее свободной поверхности в данный момент времени обозначить через H (рис.1), то за бесконечно малый промежуток времени dt этот уровень опустится на величину dH . За это же время из трубопровода вытечет объем жидкости dW , который равен [4]:

$$dW = A_0 \mu \sqrt{2gH} dt, \quad (1)$$

где A_0 - площадь водовыпускного отверстия; μ - коэффициент расхода водовыпускного отверстия; g - ускорение силы тяжести; t - текущее время.

Объем жидкости dW можно представить в виде $dW = A_1 dH$, где A_1 - площадь сечения трубопровода.

Подставляя в уравнение (1) вместо dW выражение $A_1 dH$, получается равенство

$$A_1 \cdot \frac{dH}{dt} = A_0 \cdot \mu \sqrt{2gH}. \quad (2)$$

Приняв обозначение $dH/dt = V_1$, где V_1 - скорость снижения уровня свободной поверхности жидкости в трубопроводе, уравнение (2) можно представить в виде

$$V_1 = \frac{A_0}{A_1} \cdot \mu \sqrt{2gH}, \quad (3)$$

где $\mu \sqrt{2gH} = V_2$ - скорость истечения жидкости из отверстия насадка.

Если трубопровод вертикальный, то $H = l_1 - x$, где l_1 - длина трубопровода, а " x " – расстояние, пройденное колонной жидкости за время t .

В случае наклонного трубопровода (рис.1): $H = (l_1 - x) \sin \alpha$, где α - угол наклона трубы к горизонту.

Если в (3) вместо H подставить его выражение $(l_1 - x) \sin \alpha$, то скорость движения колонны жидкости будет иметь вид

$$V_1(x) = \frac{A_0}{A_1} \cdot \mu \sqrt{2g(l_1 - x) \cdot \sin \alpha}, \quad (4)$$

где μ - коэффициент расхода водовыпускного отверстия, численные значения которого определяются его конструкцией. Для различных отверстий и насадков при квадратичном режиме истечения численные значения этого коэффициента приведены в работах [2,4].

Если диаметр водовыпускного отверстия d_0 меньше диаметра трубопровода и в процессе истечения жидкости из отверстия не происходит сжатия струи, то μ определяется по формуле

$$\mu = 1 \sqrt{1 + \zeta_0 + \left(\frac{A_0}{A_1} \right)^2 \frac{\lambda_1}{d_1} l_1}, \quad (5)$$

где ζ_0 - коэффициент сопротивления водовыпускного отверстия; λ_1 - коэффициент гидравлического трения стенки трубопровода; d_1 - диаметр трубопровода.

Если же при истечении из отверстия на некотором расстоянии от него струя приобретает наименьшую площадь сечения, то коэффициент μ определяется по формуле

$$\mu = \varepsilon \sqrt{1 + \zeta_0 + \left(\frac{\varepsilon A_0}{A_1} \right)^2 \frac{\lambda_1}{d_1} l_1}, \quad (6)$$

где ε - коэффициент сжатия струи, который при больших численных значениях числа Рейнольдса рекомендуется определять по формуле [2]

$$\varepsilon = 0,62 + 0,38(A_0 / A_1)^2. \quad (7)$$

Зависимость (4) используется для определения продолжительности опорожнения колонны жидкости из трубопровода. С этой целью это уравнение представляется в виде $\frac{dx}{dt} = \frac{A_0}{A_1} \cdot \mu \sqrt{2g(l_1 - x) \sin \alpha}$, которое после разделения переменных "x" и "t" принимает вид

$$dt = \frac{A_1}{A_0 \mu \sqrt{2g \sin \alpha}} \cdot \frac{dx}{\sqrt{l_1 - x}}. \quad (8)$$

Интегрируя это уравнение при начальном условии: при $t = 0$ - $x = 0$, получается зависимость вида

$$t = \frac{2A_1}{A_0 \mu \sqrt{2g \sin \alpha}} (\sqrt{l_1} - \sqrt{l_1 - x}). \quad (9)$$

При полном опорожнении жидкости из трубопровода $x = l_1$, и, следовательно, время полного опорожнения равно

$$T = \frac{2A_1 \sqrt{l_1}}{A_0 \mu \sqrt{2g \sin \alpha}} \text{ или } T = \frac{2A_1 l_1}{A_0 \mu \sqrt{2g H_0}}. \quad (10)$$

Зависимость (4) получается из уравнения неразрывности течения жидкости вида

$$A_1 V_1 = A_2 V_2, \quad (11)$$

вследствие чего в ней не учитывается влияние инерционных свойств колонны жидкости в процессе опорожнения. С целью устранения этого недостатка для определения скорости опорожнения жидкости из трубопровода используется уравнение Д. Бернулли для нестационарного движения [2,4], взятое для двух сечений. Первое сечение берется на свободной поверхности жидкости в трубопроводе (рис.1), а второе - в конце трубопровода на месте выхода струи жидкости из отверстия 2 насадка 3. В результате получается уравнение вида

$$\begin{aligned} \frac{P_{AT}}{\rho g} + (l_1 - x) \sin \alpha + \frac{V_1^2}{2g} &= \frac{P_{AT}}{\rho g} + \frac{V_2^2}{2g} (1 + \xi_0) + \\ &+ \frac{\lambda_1}{d_1} (l_1 - x) \cdot \frac{V_1^2}{2g} + \frac{(l_1 - x)}{g} \frac{dV_1}{dt} + \frac{l_H}{g} \frac{dV_2}{dt}, \end{aligned} \quad (12)$$

где P_{AT} - атмосферное давление на свободной поверхности жидкости в трубопроводе; ρ - плотность жидкости; V_1 - средняя скорость течения жидкости в трубопроводе; V_2 - средняя скорость струи жидкости при выходе ее из отверстия насадка; l_H - длина насадка.

В уравнении (12) влиянием слагаемого $\frac{l_H}{g} \frac{dV_2}{dt}$ пренебрегаем ввиду незначительности длины l_H по сравнению с длиной трубы l_1 .

Используя уравнение неразрывности (11), скорость V_2 приводится к скорости V_1 , в результате чего уравнение (12) принимает вид

$$\frac{dV_1}{dt} + \frac{V_1^2}{2(l_1 - x)} \cdot \left\{ \frac{\lambda_1}{d_1} (l_1 - x) + \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2 (1 + \xi_0) - 1 \right] \right\} = g \sin \alpha. \quad (13)$$

Уравнение (13) содержит две независимые переменные t и x .

С целью упрощения расчетов производная dV_1/dt заменяется производной вида $\frac{1}{2} \frac{dV_1^2}{dx}$ [3], а в выражении $\left\{ \frac{\lambda_1}{d_1} (l_1 - x) + \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2 (1 + \xi_0) - 1 \right] \right\}$ слагаемое $\frac{\lambda_1}{d_1} (l_1 - x)$, где $0 < x < l$, осредняется постоянной величиной $\lambda_1 l_1 / 2d$, в результате чего вышеуказанное выражение будет величиной постоянной.

Обозначая $V_1^2 = y$, после вышеуказанных замен уравнение (13) принимает вид

$$\frac{dy}{dx} + y \frac{K}{(l_1 - x)} = 2g \sin \alpha, \quad (14)$$

где

$$K = \left\{ \lambda_1 l_1 / 2d + \left[\left(\frac{A_1}{A_0} \right)^2 (1 + \xi_0) - 1 \right] \right\}. \quad (15)$$

Уравнение (14) интегрируется при начальном условии: при $x = 0 - y = 0$.

В результате получается зависимость для скорости вида

$$V_1(x) = \sqrt{\frac{2g \sin \alpha}{K-1} \left[(l_1 - x) - l_1 \left(\frac{l_1 - x}{l_1} \right)^K \right]}. \quad (16)$$

Из формулы (14) видно, что при $x = l_1 - V_1(l_1) = 0$, а при $K = 0$ зависимость для скорости принимает вид

$$V_1(x) = \sqrt{2gx \sin \alpha}. \quad (17)$$

В случае, если трубопровод имеет участки различного уклона, то в момент опорожнения последнего участка скорость течения жидкости в нем будет отлична от нуля. Если эту скорость обозначить через V_0 , то зависимость (16) примет вид [5]

$$V_1(x) = \sqrt{V_0^2 \left(\frac{l_1 - x}{l_1} \right)^K + \frac{2g}{(K-1)} \left[(l_1 - x) - l_1 \left(\frac{l_1 - x}{l_1} \right)^K \right] \sin \alpha}. \quad (18)$$

Зависимости (16) и (18) используются для определения времени опорожнения трубопровода. Для этого вначале строятся графики изменения скоростей по указанным формулам.

Те участки полученных кривых, где они существенно отличаются от линейных на оси абсцисс, делятся на более короткие участки l_i , в пределах которых изменение скорости течения жидкости можно принять линейным от параметра "x". Вычисляя средние скорости в пределах выделенных участков, определяется продолжительность их опорожнения, исходя из равенства $t_i = l_i / V_i^{cp}$, а полное время опорожнения трубопровода будет равно

$$T = \sum l_i / V_i^{cp}.$$

На рис.2 показан график скорости колонны жидкости в процессе ее опорожнения из вертикального трубопровода с насадком на его конце, построенный по формуле (16) при следующих расчетных данных: $l_1 = 2,95 м$,

$d_1 = 0,016 \text{ м}, \quad A_1 = 2 \text{ см}^2, \quad d_0 = 1,05 \text{ см}, \quad A_0 = 0,865 \text{ см}^2,$
 $\sin \alpha = 1, \quad \varepsilon = 0,69, \quad \varepsilon A_0 = 0,6, \quad \lambda_1 = 0,023, \quad \zeta_0 = 0,04.$

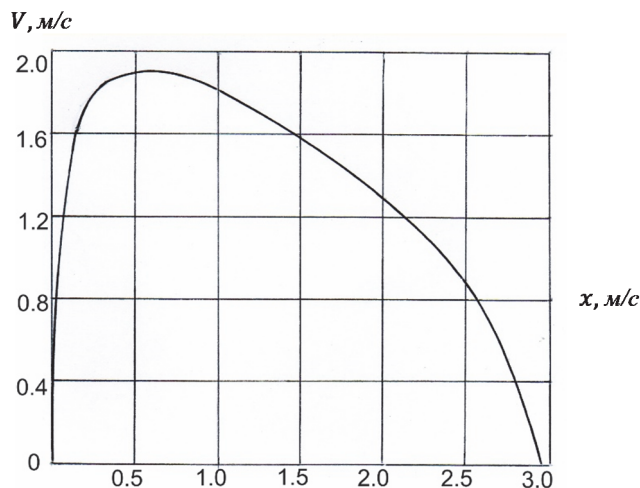


Рис.2. График зависимости $V_l = f(\lambda)$

Из кривой видно, что в начале процесса опорожнения скорость течения жидкости резко возрастает, достигая максимума при $x = 0,5 \text{ м}$, а при $x > 1,0 \text{ м}$ наблюдается существенное ее уменьшение до нуля при $x = 2,95 \text{ м}$. С помощью построенного графика, используя рекомендуемую методику графического расчета, определено время опорожнения колонны жидкости из трубопровода, которое равно $T_p = 2,7 \text{ с}$.

Если при тех же расчетных данных это время определяется по формуле (10), то $T_p = 3,1 \text{ с}$. Согласно экспериментальным данным, это время составило $T_{\text{экс}} = 2,3 \text{ с}$.

Аналогичные расчеты проведены для случая, когда диаметр отверстия насадка $d_0 = 0,68 \text{ см}$. В этом случае расчетное время опорожнения жидкости будет $T_p = 6,9 \text{ с}$, а расчет по формуле (10) показывает, что это время составляет $T_p = 7,12 \text{ с}$. Согласно экспериментальным данным, оно равно $T_{\text{экс}} = 6 \text{ с}$.

Таким образом, как видно из графика зависимости (16) (рис.2), при определении времени опорожнения колонны жидкости из трубопровода с насадком расчетные данные лучше согласуются с экспериментальными данными.

Заключение

1. Получены более общие аналитические зависимости, определяющие характер изменения скорости течения жидкости в трубопроводе постоянного диаметра с насадком на его конце, позволяющие более точно определить продолжительность опорожнения трубопровода.

2. Сопоставление результатов расчета времени опорожнения жидкости из трубопровода по полученной формуле (16) с соответствующими экспериментальными данными подтверждает корректность этой зависимости и разработанной методики определения времени опорожнения трубопровода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дикаревский В.С., Краснянский И.И.** Напорные водоводы железнодорожного водоснабжения. - М.: Транспорт, 1978.- 279 с.
2. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / **Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз и др.** - М.: Машиностроение, 1981. - 464с.
3. **Ащиянц Э.П.** Гидравлический удар в нагнетательных водоводах.- Ереван: Лимуш, 2010. – 210 с.
4. **Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П.** Гидравлика и аэродинамика.- М.: Стройиздат, 1987.-414 с.
5. **Ащиянц Э.П.** Исследование нестационарного движения жидкости при опорожнении водовода с участками различного уклона // Вестник Национального политехнического университета Армении: Механика, Машиноведение, Машиностроение. – 2019. – N 2.-С.95-104.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егиазарова.
Материал поступил в редакцию 25.01.2021.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ՎԵՐՋՆԱՄԱՍՈՒՄ ԿՑԱՓՈՂԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՀԵՂՈՒԿԻ ՄՅԱՆ ԴԱՏԱՐԿՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋ

Դիտարկվում է հաստատուն տրամագծով ճնշումային խողովակաշարից կցափողի միջոցով հեղուկի դատարկման գործընթացը: Հետազոտությունների արդյունքում ստացված են ավելի ընդհանուր անալիտիկ կախվածություններ, որոնցով որոշվում է հեղուկի սյան արագության փոփոխումը դատարկման ընթացքում, և առաջարկվում է գծագրավերլուծական մեթոդ՝ խողովակաշարից հեղուկի սյան դատարկման ժամանակամիջոցը որոշելու համար: Անալիտիկ բանաձևերով կատարված հաշվարկների արդյունքները համեմատված են համապատասխան փորձարարական արդյունքների հետ:

Առանցքային բառեր. ճնշումային խողովակաշար, կցափող, հիդրավլիկական դիմադրություններ, հեղուկ, դատարկման ժամանակամիջոց:

E.P. ASHCYANTS

DETERMINING THE EMPTYING VELOCITY OF THE LIQUID COLUMN FROM THE PIPELINE IN THE PRESENCE OF A NOZZLE AT ITS END

Issues on emptying the liquid from the pressure pipeline of a constant diameter and with a nozzle at its end are considered. As a result of investigations, more general analytical dependencies for the speed of emptying the liquid from the pipeline are obtained, and a graphical-analytical method for determining the emptying speed of the liquid from the pipeline is recommended. A comparison of the research results according to the obtained formulas with the corresponding experimental data is carried out.

Keywords: pressure pipeline, nozzle, liquid, velocity, hydraulic resistances, emptying time.

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ԱՂԲԱԼՅԱՆ Ս.Գ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Ա.Մ., ՍԻՄՈՆՅԱՆ Վ.Ա.	
ՄՈԼԻԲԴԵՆԻՍԱՅԻՆ ԽՏԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԲՈՎՄԱՆ ԵՎ ՌԵՆԻՈՒՄԻ ՕՔՄԻԴՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ.....	137
ԱԼԱՅԱՆ Ա.Ա., ԴԵՄԻՐՉՅԱՆ Տ.Ա.	
ԻՆՉՊԵՍ Է ԾԱԳԵԼ ԵՐԿԱԹԻ ՄԵՏԱԼՈՒՐԳԻԱՆ	146
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Ա.Գ., Գ.Ռ. ԿԱՆԵՅՅԱՆ, Ա.Ա. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ	
ՀԱԷԿ-ՈՒՄ ՌԻՄԿ-ՏԵՂԵԿԱՅՎԱԾ ՍՏՈՒԳՈՒՄՆԵՐԻ ԻՐԱԿԱՆԱՅՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ.....	158
ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ Լ.Լ.	
ՎԻՐՏՈՒԱԼ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՌԵՍՈՒՐՍՆԵՐԻ ՕՊՏԻՄԱԼ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ԽՆԴՐԻ ԼՈՒԾՈՒՄԸ VOIP ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ	168
ԱՅՎԱԶՅԱՆ Ա.Գ., ԽՈՒՂԱՎԵՐԴՅԱՆ Ս.Խ.	
ԲԶԶԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՑԱՆՅԵՐԻ ԲԱԶԱՅԻՆ ԿԱՅԱՆՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԱԾԱԽՄԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ.....	173
ՄԵԼԻՔՅԱՆ Վ.Շ., ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ Վ.Ս.	
ԴԻՆԱՄԻԿ ՀԻՇՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐՈՒՄ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅԱՆ ԹԱՐՄԱՅՄԱՆ ՇՂԹԱ ՄՆՄԱՆ ԼԱՐՄԱՆ ՄԻԱՑՄԱՆ ԵՎ ԱՆՋԱՏՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ	182
ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ Ա.Խ., ՀՈՎՀԱՆՆԻՍՅԱՆ Վ.Դ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Հ.Տ., ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ Մ.Տ., ԱՎԵՍՏԻՍՅԱՆ Ա.Ա.	
ՋԵՐՄԱՍՏԻՃԱՆԻ ՇԵՂՄԱՆ ՓՈԽՀԱՏՈՒՑՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿԸ ԲԱՐՁՐ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՄԲ ՀԱՂՈՐԴՉ ՀԱԳՈՒՅՑՈՒՄ	189
ԱԲԱԶՅԱՆ Ս.Ս.	
ԻՆՏԵԳՐԱԼ ՄԽԵՄԱՆԵՐԻ ՄՆՈՒՑՄԱՆ ԵՎ ՀՈՂԱՆՑՄԱՆ ՑԱՆՑԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ՄԵԹՈԴ	197
ԲԱԲԱՅԱՆ Ա.Վ., ԱԲԳԱՐՅԱՆ Գ.Ա.	
ԸՆԴՀԱՆՈՒՐ ՆԵՐԴՐՎԱԾ ԹԵՍՏԱՎՈՐՄԱՆ ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅՈՒՆ ՀԻՇՈՂՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ	204
ԽԱՉԱՏՐՅԱՆ Հ.Գ., ՍԻՄՈՆՅԱՆ Ս.Հ., ՎԵՐԼԻՆՄԿԻ Ս.Վ.	
SOLIDWORKS-Ի ԵՎ ANSYS-Ի ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾԱԴԵՖՈՐՄԱՅՎԱԾ ՎԻՃԱԿԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅՈՒՄ	210
ԱՇՉԻՅԱՆՅ Է.Պ.	
ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԻ ՎԵՐՋՆԱՄԱՍՈՒՄ ԿՑԱՓՈՂԻ ԱՌԿԱՅՈՒԹՅԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ՀԵՂՈՒԿԻ ՍՅԱՆ ԴՍԱՐԿՄԱՆ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ՈՐՈՇՄԱՆ ՀԱՐՑԻ ՇՈՒՐՋ.....	221

СОДЕРЖАНИЕ

АГБАЛЯН С.Г., ОГАНЕСЯН А.М., СИМОНЯН В.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБЖИГА МОЛИБДЕНИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ РЕНИЯ	137
АЛАЯН А.А., ДЕМИРЧЯН Т.А.	
КАК ВОЗНИКЛА МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА	146
ХАЧАТРЯН А.Г., КАНЕЦЯН Г.Р., ГЕВОРГЯН А.А.	
РАЗРАБОТКА ПРОЦЕССА ПРОВЕДЕНИЯ РИСК-ИНФОРМИРОВАННЫХ ИНСПЕКЦИЙ НА ААЭС.....	158
АРУТЮНЯН Л.Л.	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ВИРТУАЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ VOIP СИСТЕМ	168
АЙВАЗЯН А.Г., ХУДАВЕРДЯН С.Х.	
ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ	173
МЕЛИКЯН В.Ш., ГЕВОРГЯН В.С.	
ЦЕПЬ ОБНОВЛЕНИЯ ПАМЯТИ В ДИНАМИЧЕСКИХ ЗАПОМИНАЮЩИХ СИСТЕМАХ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ И ОТКЛЮЧЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ПИТАНИЯ.....	182
МХИТАРЯН А.Х., ОГАННИСЯН В.Д., ГРИГОРЯН А.Т., ГРИГОРЯН М.Т., АВЕТИСЯН А.А.	
МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ТЕМПЕРАТУРНОГО ДРЕЙФА В ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ПРИЕМНИКЕ.....	189
АБАЗЯН С.С.	
МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТКИ ПИТАНИЯ И ЗАЗЕМЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ.....	197
БАБАЯН А.В., АБГАРЯН Г.А.	
ОБЩАЯ АРХИТЕКТУРА ВСТРОЕННОГО САМОТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ПАМЯТИ	204
ХАЧАТРЯН Г.Г., СИМОНЯН С.О., ВЕРЛИНСКИЙ С.В.	
ПРИМЕНЕНИЕ SOLIDWORKS И ANSYS В ИССЛЕДОВАНИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ.....	210
АЦИЯНЦ Э.П.	
К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ОПОРОЖНЕНИЯ КОЛОННЫ ЖИДКОСТИ ИЗ ТРУБОПРОВОДА ПРИ НАЛИЧИИ НАСАДКА НА ЕГО КОНЦЕ.....	221

CONTENTS

AGHBALYAN S.G., HOVHANNISYAN A.M., SIMONYAN V.A.	
INVESTIGATING THE PROCESSES OF MOLYBDENITE CONCENTRATE BAKING AND RHENIUM OXIDE GENERATION	137
ALAYAN A.A., DEMIRCHYAN T.A.	
HOW DID THE METALLURGY OF IRON ARISE	146
KHACHATRYAN A.G., KANETSYAN G.R., GEVORGYAN A.A.	
DEVELOPING THE PROCESS OF PERFORMING RISK-INFORMED INSPECTIONS AT THE ANPP	158
HARUTYUNYAN L.L.	
SOLVING THE PROBLEM OF OPTIMAL MANAGEMENT OF VIRTUAL MACHINE RESOURCES FOR VOIP SYSTEMS	168
AYVAZYAN A.G., KHUDAVERDYAN S.KH.	
ASSESSING THE ENERGY CONSUMPTION OF BASE STATIONS OF CELLULAR NETWORKS	173
MELIKYAN V.SH., GEVORGYAN V.S.	
A RESET SIGNAL GENERATION CIRCUIT FOR DYNAMIC MEMORY INTERFACES DURING SUPPLY RAMP-UPS AND RAMP-DOWNS	182
MKHITARYAN A. KH., HOVHANNISYAN V.D., GRIGORYAN H.T., GRIGORYAN M.T. , AVETISYAN A.A.	
THE TEMPERATURE DRIFT IMPACT COMPENSATION METHOD IN A HIGH-SPEED RECEIVER	189
ABAZYAN S.S.	
A METHOD FOR POWER AND GROUND MESH DESIGN FOR INTEGRATED CIRCUITS.....	197
BABAYAN A.V., ABGARYAN G.A.	
GENERIC BIST ARCHITECTURE FOR MEMORIES	204
KHACHATRYAN H.G., SIMONYAN S.H., VERLINSKY S.V.	
APPLICATION OF SOLIDWORKS AND ANSYS IN THE RESEARCH OF THE STRESS-STRAIN STATE OF CONSTRUCTIONS.....	210
ASHCIYANTS E.P.	
DETERMINING THE EMPTYING VELOCITY OF THE LIQUID COLUMN FROM THE PIPELINE IN THE PRESENCE OF A NOZZLE AT ITS END	221

ՀԵՂԻՆԱԿՆԵՐԻ ՑՈՒՑԱԿ

Աբազյան Սուրեն Սասունի	ասպիրանտ, Երևանի պետական համալսարան Էլ. հասցե -su.abazyan@gmail.com
Աբգարյան Գոռ Արշավիրի	մագիստրոս, ԵՊՀ, մասնագիտացված թվային սխեմաների երկրորդ կարգի ճարտարագետ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ, Էլ. հասցե -abgaryan@synopsys.com
Ալայան Արտաշես Աղասու Աղբալյան Սուրեն Գևորգի	տ.գ.թ., դոցենտ, ՀԱՊՀ տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՀԱՊՀ, Էլ. հասցե -metalsur@polytechnic.am
Այվազյան Արմեն Գագիկի	հայցորդ, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե -agagarm@gmail.com
Աշխիանց Էդուարդ Պետրոսի	տ.գ.դ., ա.գ. Ի.Վ. Եղիազարովի անվ. ջրային պրոբլեմների և հիդրոտեխնիկայի ինստիտուտ
Ավետիսյան Աշոտ Ազատի	բակալավր, անալոգային և խառը ազդանշանային շղթաների ինժեներ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ Էլ. հասցե -aavet@synopsys.com
Բաբայան Արմեն Վրեժի	մասնագիտացված թվային սխեմաների երկրորդ կարգի ճարտարագետ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ, Էլ. հասցե -ababaya@synopsys.com
Գրիգորյան Հայկ Տարոնի	բակալավր, Անալոգային և խառը ազդանշանային շղթաների ինժեներ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ, Էլ. հասցե -hgrigo@synopsys.com
Գրիգորյան Մուշեղ Տարոնի	բակալավր, անալոգային և խառը ազդանշանային շղթաների ինժեներ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ, Էլ. հասցե -mushegg@synopsys.com
Գևորգյան Արամ Աշիկի	տ.գ.թ., դոցենտ, ՀԱՊՀ
Գևորգյան Վազգեն Սեմյոնի	մագիստրանտ, ՀԱՊՀ երկրորդ կարգի ինժեներ, «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ, Էլ. հասցե -vgevorg@synopsys.com
Դեմիրչյան Տիգրան Արտակի	մագիստրանտ, ՀԱՊՀ, հսկիչ-ստանդարտավորող «Ռուսալ Արմենալ» ՓԲԸ, Էլ. հասցե -tigrand1997@gmail.com
Խաչատրյան Արամ Գևորգի	ասպիրանտ, ՀԱՊՀ դասախոս– Ռիսկերի գնա- հատման գծով որակավորում անցնող մասնագետ, «Միջուկային և ռադիացիոն անվտանգության գիտատեխնիկական կենտրոն» ՓԲԸ
Խաչատրյան Հրաչյա Գուրգենի	ասպիրանտ, ՀԱՊՀ, ՀՀ ՊՆ

Խուրավերդյան Սուրիկ Խաչիկի	տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե - khsuren@seua.am
Կանեցյան Գուրգեն Ռուբենի	մ.գ.թ., Ռիսկերի գնահատման գծով գլխավոր մաս- նագետ, Միջուկային և ռադիացիոն անվտանգության գիտատեխնիկական կենտրոն» ՓԲԸ
Հարությունյան Լևոն Լորիսի	տ.գ.թ., ծրագրավորման գծով տնօրեն, «ԷփիջիԱրմ» ՍՊԸ Էլ. հասցե - Levon.Harutyunyan@epygiarm.am
Հովհաննիսյան Արմեն Մարտիկի	տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՀԱՊՀ, Էլ. հասցե - armhovah@gmail.com
Հովհաննիսյան Վարդան Դավիթի	Ինժեներ, «Արագած» ՍՊԸ Էլ. հասցե - v.hovah99@gmail.com
Մելիքյան Վազգեն Շավարշի	տ.գ.դ., պրոֆեսոր, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ , «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ ուսումնական դեպարտամենտի տնօրեն Էլ. հասցե - vazgenm@synopsys.com
Մխիթարյան Արթուր Խաչիկի	տ.գ.թ., «Մինոփսիս Արմենիա» ՓԲԸ, անալոգային և խառն ազդանշանային ինտեգրալ սխեմաների մենեջեր, Էլ. հասցե - marthur@synopsys.com
Միմոնյան Վիգեն Արմենի	ասպիրանտ, ՀԱՊՀ, Էլ. հասցե - vigensimonyan2017@gmail.com
Միմոնյան Մարգիս Հովհաննեսի	տ.գ.դ., պրոֆեսոր, Ինֆորմացիոն տեխնոլոգիաների և ավտոմատացման ամբիոնի վարիչ, ՀԱՊՀ Էլ. հասցե - simonyan@seua.am
Վերլինսկի Սերգեյ Վիտալիի	ֆ.-մ.գ.թ., դոցենտ, Մեխանիկայի և մեքենագիտության ամբիոն, ՀԱՊՀ, Էլ. հասցե - sergeyver1@mail.ru

СПИСОК АВТОРОВ

Абазян Сурен Сасунович	аспирант, Ереванский государственный университет, Эл. почта - su.abazyan@gmail.com
Абгарян Гор Аршавирович	магистрант, ЕГУ, инженер цифровых схем второй категории, ЗАО “Синописис Армения”; Эл. почта - abgaryan@synopsys.com
Аветисян Ашот Азатович	бакалавр, инженер-конструктор аналоговых и смешанных сигналов, ЗАО “Синописис Армения”, Эл. почта -aavet@synopsys.com
Агбалин Сурен Геворкович	д.т.н., профессор, НПУА, Эл. почта - metalsur@polytechnic.am
Айвазян Армен Гагикович	соискатель, НПУА, Эл. почта - agagarm@gmail.com
Алаян Арташес Агасиевич	к.т.н., доцент, НПУА
Арутюнян Левон Лорисович	к.т.н., директор по программированию, ООО “ЕpygiArm”, Эл. почта - Levon.Harutyunyan@epygiarm.am
Ащиянц Эдуард Петрович	д.т.н., с.н.с., Институт водных проблем и гиротехники им. И.В. Егизарова
Бабаян Армен Врежович	инженер цифровых схем второй категории, ЗАО “Синописис Армения”, НПУА, учебный департамент “Синописис Армения”, компьютерная инженерия Эл. почта - ababaya@synopsys.com
Верлинский Сергей Витальевич	к.ф.-м.н., доцент, кафедра Механики и машиноведения, НПУА, Эл. почта – sergeyver1@mail.ru
Геворгян Вазген Семенович	магистрант, НПУА; инженер второго уровня, ЗАО “Синописис Армения”, Эл. почта - vgevorg@synopsys.com
Геворгян Арам Ашикович	к.т.н., доцент НПУА
Григорян Аик Таронович	бакалавр, инженер-конструктор аналоговых и смешанных сигналов, ЗАО “Синописис Армения”, Эл. почта -hgriego@synopsys.com
Григорян Мушег Таронович	бакалавр, инженер-конструктор аналоговых и смешанных сигналов, ЗАО “Синописис Армения”, Эл. почта -mushegg@synopsys.com

Демирчян Тигран Артакович	магистр, НПУА; контролер – стандартизатор, ЗАО “Русал Арменал”, Эл. почта - tigrand1997@gmail.com
Канесян Гурген Рубенович	к.п.н., главный специалист по оценке рисков, ЗАО “НТЦ Ядерной и радиационной безопасности”
Меликян Вазген Шаваршович	д.т.н., профессор, член-корреспондент НАН РА, директор учебного департамента ЗАО “Синописис Армения”, Эл. почта - vazgenm@synopsys.com
Мхитарян Артур Хачикович	к.т.н., НПУА, менеджер по проектированию аналоговых интегральных схем, ЗАО “Синописис Армения”, Эл. почта - marthur@synopsys.com
Ованнисян Вардан Давидович	бакалавр НПУА; инженер, ООО “Арагац”, Эл. почта - v.hovh99@gmail.com
Оганесян Армен Мартикович	д.т.н., профессор, НПУА, Эл. почта - armhovh@gmail.com
Симонян Виген Арменович	аспирант, НПУА, Эл. почта - vigensimonyan2017@gmail.com
Симонян Саргис Оганесович	д.т.н., проф., зав. кафедрой Информационных технологий и автоматизации, НПУА, Эл. почта – simonyan@seua.am
Хачатрян Грачья Гургенович Хачатрян Арам Геворгович	аспирант, НПУА, Министерство обороны РА, аспирант, НПУА, специалист, проходящий квалификацию в сфере оценки рисков, ЗАО “НТЦ Ядерной и радиационной безопасности”
Худавердян Сурик Хачикович	д.т.н., проф., НПУА, Эл. почта - khsuren@seua.am

LIST OF THE AUTHORS

Abazyan Suren Sasun	Post - graduate student , Yerevan State University E-mail -su.abazyan@gmail.com
Abgaryan Gor Arshavir	Engineer of the II level, ASIC Digital Design, NPUA, “Synposys Armenia” CJSC SAED, Graduate student of IC Design E-mail -abgaryan@synopsys.com
Aghbalyan Suren Geworg	Dr. of tech. sci., Prof., NPUA, E-mail -metalsur@polytechnic.am
Alayan Artashes Aghas	Cand. of tech sci., Assoc. Prof., NPUA
Ashciyants Eduard Petr	Dr. of tech. sci., Institute of Water Problems and Hydro – Engineering named after I.V. Yeghiazarov
Avetisyan Ashot Azat	Student, Analog-mixed signal engineer, “Synposys Armenia” CJSC E-mail -aavet@synopsys.com
Ayvazyan Armen Gagik	Probationer, NPUA E-mail -agagarm@gmail.com
Babayan Armen Vrej,	Engineer of the II level, ASIC Digital Design, NPUA, “Synposys Armenia” CJSC SAED, Graduate student of IC Design E-mail -ababaya@synopsys.com
Demirchyan Tigran Artak	Graduate student, NPUA, Controller - standardizer, “Rusal - Armenia” CJSC
Gevorgyan Aram Ashik	Cand. of tech. sci., Assoc. Prof., NPUA,
Gevorgyan Vazgen Semyon	Graduate student, “Synopsys Armenia” CJSC, A&MS Circuit Design Engineer of the II level, NPUA, E-mail – vgevorg@synopsys.com
Grigoryan Hayk Taron	Student, Analog-mixed signal engineer “Synposys Armenia” CJSC E-mail -hgrigo@synopsys.com
Grigoryan Mushegh Taron	Student, Analog-mixed signal engineer, “Synposys Armenia” CJSC E-mail -mushegg@synopsys.com
Harutyunyan Levon Loris	Cand. of tech. sci., SW director, EpygiArm LLC, E-mail – Levon.Harutyunyan@epygiarm.am
Hovhannisyan Armen Martik	Dr. of tech. sci., Prof., NPUA, E-mail -armhovh@gmail.com
Hovhannisyan Vardan David	Engineer, Aragats LTD E-mail -v.hovh99@gmail.com

Kanetsyan Gurgun Ruben	Cand. of Ped. sci., CJSC “Nuclear and radiation safety center”, senior specialist on risk assessment
Khachatryan Aram Gevorg	Post - graduate student “Nuclear and radiation safety center” CJSC – trainee on risk assessment, NPUA
Khachatryan Hrachya Gurgun	Post-graduate of NPUA, Ministry of Defense RA
Khudaverdyan Surik Khachik	Dr. of tech. sci., Prof., NPUA, E-mail -khsuren@seua.am
Melikyan Vazgen Shavarsh	Dr. of tech. sci., Prof., Corresponding Member of the RA NAS, Director of the Educational Department of “Synposys Armenia” CJSC, E-mail - vazgenm@synopsys.com
Mkhitaryan Artur Khachik	Cand. of tech. sci., Manager on designing analog integrated circuits, “Synposys Armenia” CJSC, NPUA
Simonyan Sargis Hovhannes	Dr. of tech. sci., Prof. of the Chair Information Technologies and Automation, NPUA E-mail - simonyan@seua.am
Simonyan Vigen Armen	Post-graduate student, NPUA E-mail -vigensimonyan2017@gmail.com
Verlinsky Sergey Vitali	Cand. of Phys-math. sci., Assoc. Prof. of the Chair “Mechanics and Machine Science”, NPUA E-mail – sergeyver1@mail.ru

«Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի և Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի տեղեկագիր. տեխնիկական գիտությունների սերիա» հանդեսում տպագրվում են տեսական և փորձարարական հետազոտությունների արդյունքները տեխնիկական գիտությունների հետևյալ բաժիններից՝ մեքենաշինություն, մետալուրգիա, նյութագիտություն, ընդերքօգտագործման տեխնոլոգիաներ, շինարարական կառուցվածքներ, հիդրավիկա և հիդրոտեխնիկական կառույցներ, էներգետիկա, էլեկտրատեխնիկա, գիտական սարքաշինություն և չափողական տեխնիկա, հաշվողական տեխնիկա և ինֆորմատիկա, ռադիոէլեկտրոնիկա, միկրոէլեկտրոնիկա, լազերային տեխնիկա, ավտոմատացում և կառավարման համակարգեր:

Հանդեսում լուսաբանվում են ակադեմիական և ճյուղային գիտահետազոտական ինստիտուտների, բուհերի, գիտաարտադրական միավորումների և այլ կազմակերպությունների գիտական գործունեության առավել կարևոր արդյունքները:

Հանդեսի հիմնական նպատակն է խթանել գիտատեխնիկական առաջընթացը և նպաստել արտադրության մեջ այդ արդյունքների ներդրմանը:

Հանդեսը նախատեսված է ճարտարագետների, հետազոտողների և գիտնականների լայն շրջանների համար: Լույս է տեսնում երեք ամիսը մեկ անգամ:

В журнале "Известия Национальной академии наук РА и Национального политехнического университета Армении. Серия технических наук" публикуются результаты теоретических и экспериментальных исследований, охватывающих основные разделы технических наук: машиностроение, металлургия, материаловедение, технологии недропользования, строительные конструкции, гидравлика и гидротехнические сооружения, энергетика, электротехника, научное приборостроение и измерительная техника, вычислительная техника и информатика, радиоэлектроника, микроэлектроника, лазерная техника, автоматизация и системы управления.

Журнал является периодическим изданием, освещающим наиболее важные результаты научной деятельности академических и отраслевых научно-исследовательских институтов, вузов, научно-производственных объединений и др.

Основная цель журнала - пропагандировать фундаментальные и прикладные исследования в области технических наук, способствовать внедрению их результатов и ускорению научно-технического прогресса в производстве.

Журнал рассчитан на широкий круг ученых, исследователей и инженеров. Выходит один раз в три месяца.

The journal "Proceedings of the Republic of Armenia National Academy of Sciences and National Polytechnic University of Armenia. Series of Technical Sciences" publishes the results of theoretical and experimental investigations concerning the main branches of technical sciences: mechanical engineering, metallurgy, material science, mining engineering, natura utilization, building constructions, hydraulics and hydrotechnical constructions, power and electrical engineering, scientific instrument making and measuring devices, computer science and informatics, radioelectronics, microelectronics, laser eequipment, automation and control systems.

The journal is a periodical edition that presents the most important results of scientific activities at academic and branch scientific-research institutions, universities, research - industrial companies, etc.

The main task of the journal is the propaganda of fundamental and applied investigations in the field of technical sciences, and the promotion of their introduction and the acceleration of scientific and technological progress in industry.

The journal is intended for a wide range of scientists, researchers and engineers. It is published once in three months.

ՀՈՂՎԱԾՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ԿԱՆՈՆՆԵՐԸ

Նյութը խմբագրություն ներկայացվում է ըստ հետևյալ պահանջների.

1. Երկու օրինակ, նաև էլեկտրոնային տարբերակով, համակարգչային շարվածքը՝ Microsoft Office Word: Հոդվածի ծավալը կարող է լինել մինչև 10 էջ, հաղորդումներինը՝ մինչև 4 էջ: Տեքստը շարադրվում է A4 չափսի թղթի վրա, աշխատանքային դաշտը՝ Top-5սմ, Bottom-5,1սմ, Left-5,75սմ, Right-1,75սմ, Footer-4,6սմ, միջտողային տարածությունը (Line spacing)՝ 1,1, պարբերությունը (First line)՝ 0,75 սմ: Հայերեն լինելու դեպքում նյութը շարադրվում է Sylfaen տառատեսակով, տառաչափը՝ 10, իսկ ռուսերեն կամ անգլերեն լինելու դեպքում՝ Times New Roman տառատեսակով, տառաչափը՝ 11:

2. Թղթի վերևի ձախ անկյունում գրվում է համապիտանի տասնորդական դարականիշը՝ տեքստին համապատասխան լեզվով (ՀՏԴ, ՄԺԿ, UDC), հաջորդ տողի կենտրոնում՝ գլխատառերով հեղինակ(ներ)ի անվան-հայրանվան սկզբնատառերը և ազգանուն(ներ)ը՝ bold, 10 տառաչափով հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում: Հոդվածի վերնագիրը տրվում է հեղինակի ազգանվանը հաջորդող տողի կենտրոնում՝ bold, ամբողջությամբ գլխատառերով՝ 10 տառաչափով՝ հայերեն, անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

3. Նյութը սկսվում է ամփոփումով (անոտացիա) այն լեզվով, որով ներկայացված է: Ամփոփումն ավարտվում է առանցքային բառերով՝ տառաչափը՝ 9 հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, և միայն «Առանցքային բառեր» արտահայտությունը՝ bold, italic: Ամփոփումը պետք է լինի 500 նիշից ոչ ավելի՝ ներառյալ միջակայքերը, առանցքային բառերը կամ բառակապակցությունները՝ 4-8 բառ:

4. Երաշխավորվում է նյութի շարադրման հետևյալ կարգը. «Ներածություն», որը պետք է համառոտ ներառի հարցի վիճակը, թեմայի արդիականությունը և հետազոտության նպատակը, «Խնդրի դրվածքը և մեթոդիկայի հիմնավորումը», «Հետազոտության արդյունքները», «Եզրակացություն», անհրաժեշտության դեպքում՝ նաև այլ բաժիններ՝ համապատասխան վերնագրերով:

5. Տեքստում հղումները գրականությանը նշվում են ուղղանկյուն փակագծերով: Բանաձևերը ներկայացվում են նոր տողից, Equation Editor ծրագրով, italic, տառաչափը՝ 11, անհրաժեշտության դեպքում համարակալվում են տողի վերջում՝ սովորական (կոր) փակագծի մեջ:

6. Նկարներն ու աղյուսակները հաջորդում են տեքստում համապատասխան հղումներին: «Նկ. » և «Աղյուսակ» բառերը, նկարների մակագրությունը և աղյուսակների անվանումները գրվում են Italic 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում:

7. Տեքստին հաջորդում է գրականության ցանկը՝ 9 տառաչափով հայերեն տեքստի դեպքում և 10 տառաչափով՝ անգլերեն և ռուսերեն տեքստերի դեպքում, միայն հեղինակի ազգանունն ու անվան-հայրանվան սկզբնատառերը՝ bold, «Գրականության ցանկ» արտահայտությունը՝ տողի կենտրոնում, գլխատառերով: Ցանկում գրականության յուրաքանչյուր աղբյուր համարակալվում է ըստ տեքստում իր հղման հերթականության: Գրականության աղբյուրները պարբերական հրատարակությունների դեպքում ներկայացվում են հետևյալ կարգով. հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հանդեսի անվանումը կամ ընդունված հապավումը, հրատարակման տարեթիվը, հատորի ու թողարկման համարները, հերթական համարը, նյութի գետեղման էջերը, գրքերի դեպքում՝ հեղինակի ազգանունը, անվան-հայրանվան սկզբնատառերը, վերնագիրը, հրատարակման վայրը, հրատարակչությունը, թվականը, էջերի քանակը:

8. Գրականության ցանկին հաջորդում են ամփոփումները մյուս երկու լեզուներով (եթե տեքստը հայերեն է, ամփոփումները նախ՝ ռուսերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե ռուսերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ անգլերեն, եթե անգլերեն է, նախ՝ հայերեն, ապա՝ ռուսերեն): Ամփոփումները բոլոր երեք լեզուներով իրենց բովանդակությամբ և առանցքային բառերով պետք է լինեն նույնական:

9. Տեքստը ստորագրվում է հեղինակ(ներ)ի կողմից, նշվում է նյութը խմբագրություն հանձնելու ամսաթիվը: Տեքստի խմբագրված և սրբագրված տարբերակը համաձայնեցվում է հեղինակ(ներ)ի հետ:

10. Հեղինակ(ներ)ն առանձին էջով ներկայացնում է (են) ազգանուն, անուն, հայրանունը (լրիվ), աշխատավայրի, սովորելու վայրի լրիվ անվանումը, զբաղեցրած պաշտոնը, գիտական աստիճանը, հեռախոսահամարները (աշխատանքային, տան և բջջային):

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Материал представляется в редакцию в соответствии со следующими правилами:

1. Статья в двух экземплярах и файл статьи в формате Microsoft Office Word. Объем статьи не должен превышать 10 страниц, объем сообщений – до 4-х страниц. Формат страницы – А4. Рабочее поле: Top – 5cm, Bottom – 5,1cm, Left – 5,75cm, Right – 1,75cm, Footer – 4,6cm, межстрочный интервал (Line spacing) – 1,1, красная строка (First line) – 0,75cm. Для статьи, написанной на армянском языке, применяется шрифт Sylfaen (размер шрифта - 10), а на русском и английском – Times New Roman (размер шрифта – 11).

2. В левом верхнем углу первого листа указывается универсальный десятичный классификатор (ՀՏԴ, УДК, UDC); строкой ниже - инициалы (И.О.) и фамилия - заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз., выравнивание по центру; строкой ниже по центру указывается название статьи – заглавными буквами, шрифт Bold, размер 10 – на арм., рус. и англ. яз.

3. Материал текста начинается с аннотации и представляется на том языке, на котором написана статья. Текст аннотации должен состоять не более чем из 500 знаков, включая пробелы. После аннотации пишутся ключевые слова – от 4-х до 8-и слов или словосочетаний. Размер текста аннотации и ключевых слов 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз., словосочетание **“Ключевые слова”** - Bold, italic.

4. Рекомендуется следующий порядок изложения материала статьи: введение, в котором должны быть кратко представлены состояние вопроса, актуальность темы и цель исследования; постановка задачи и обоснование методики; результаты исследования; заключение (эти, а при необходимости, и другие разделы должны иметь соответствующие заголовки).

5. Ссылки на литературу в тексте даются в квадратных скобках. Формулы и математические выражения набираются редактором Microsoft Equation, italic, размер – 11. Формулы набираются с новой строки, выравнивание по центру. При необходимости, их нумеруют. Номер формулы располагается в конце строки, в круглых скобках.

6. Рисунки и таблицы располагаются в тексте по ходу ссылки на них. Слова *“Рис.”*, *“Таблица”*, а также названия рисунков и таблиц пишутся italic, размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз.

7. В конце статьи дается список литературы: размер 9 – на арм.яз., 10 – на рус. и англ. яз. Словосочетание **“СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ”** располагается в центре строки заглавными буквами, Bold. Цитируемая литература нумеруется в порядке ссылки на нее в тексте. Каждый источник представляется в следующем порядке: в случае ссылки на статью из журнала: **фамилия, инициалы И.О.** - Bold, название статьи, название журнала, место издания, год издания, том и номер издания, с какой по какую страницы занимает статья в этом журнале; в случае ссылки на книгу: **фамилия, инициалы И.О.**, название книги, место издания, название издательства, год издания, общее количество страниц.

8. После литературы представляются аннотации вместе с ключевыми словами на двух других языках. Если статья написана на армянском языке, то сначала дается аннотация на русском языке, затем на английском; если написана на русском языке – соответственно на армянском и английском, а если на английском – соответственно на армянском и русском языках. Содержание аннотаций и ключевые слова должны быть на трех языках одинаковыми.

9. Статья подписывается автором (авторами). В конце статьи ставится дата (число, месяц, год) представления статьи. Отредактированный и откорректированный вариант рукописи согласовывается с автором (авторами).

10. На отдельной странице необходимо представить следующие авторские данные: фамилия, имя, отчество; полное наименование места работы, места учебы; занимаемая должность, ученая степень и звание; номера телефонов (служебный, домашний, мобильный).

RULES FOR PREPARATION OF MANUSCRIPTS

The material should be presented to the editorial staff in accordance with the requirements given below.

1. The authors are requested to submit two hard copies, and also the electronic version of the manuscript by Microsoft Office Word. The volume of scientific paper is limited to 10 pages, and to 4 pages for short communications. The text should be printed on A4 sized paper. The text margins should be: Top – 5cm, Bottom – 5.1 cm, Left – 5.75 cm, Right – 1.75 cm, Footer – 4.6 cm, Line-spacing – 1.1 cm, the first line – 0.75 cm. Texts in Armenian should be printed by the Sylfaen, font size 10, and the texts in by Times New Roman, in font size 10 .

2. On the top left corner, the Universal Decimal Classifier is placed in the language of the manuscript (ՀՏԴ, УДК, UDC). The initials and the surname(s) in font size 10, bold for texts in Armenian, English and Russian should be in the centre of the next line. The title should be placed in the centre of the line following the author's surname in font size 10, bold, all in capital letters for texts in Armenian, English and Russian.

3. The text begins with an abstract in the language it is presented. It ends with keywords in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for the ones in English and Russian. Only the word “Keywords” should be bold, italic. The summary should not exceed 500 characters including the spaces, the number of keywords or word combinations - 4-8.

4. The papers should include an introduction briefly introducing the state of the problem area, the importance of the subject and the aim of investigation, as well as sections describing the statement of the problem and selection of the methodology, the results of investigation, conclusion (other sections if necessary) with subtitles, and it should end with the list of references.

5. The references in the text should be given in square brackets. The formulae should be introduced by the Microsoft Equation Editor. They should be printed from a new line in italic, font size 11 in the center of the line, and if necessary numbered at the end of the line in round brackets..

6. Figures and tables should follow their references given in the text. The words “Fig”, “Table”, the figure inscriptions and the table names should be printed in italic, in font size 9 for texts in Armenian, and in font size 10 for texts in English and Russian.

7. The text is followed by the references in font size 9 for texts in Armenian and in font size 10 for texts in English and Russian. Only the author's initials and surname should be bold. The word “References” should be placed in the centre of the line in capital letters. In the list of references, each source should be enumerated according to its reference number in the text. For the periodicals, the references should be introduced in the following style: the author's surname, initials, title, year, numbers of the volume and issue, page numbers, and for books – the authors names, full title, publication place, publisher, year, total number of pages.

8. The references are followed by the abstracts in the other two languages. If the text is in Armenian, the abstracts should be first in Russian and then in English. The text in Russian should be followed first by Armenian and then by English abstracts, while the texts in English should be followed first by Armenian, then by Russian abstracts. The abstracts in all the three languages should be identical in content and keywords.

9. The manuscript should be signed by the author(s) with indication of the submission date. The edited and proofread version of the manuscript should be agreed upon by the author(s).

10. On a separate page, the author(s) should introduce his/her/their full surname(s), name(s), patronymic(s); the full name(s) of employment place, educational institution; the position occupied scientific degree, telephone numbers (office, home, mobile).