ISSN 2181-7383

O'zbekiston
KONCHILIK XABARNOMASI

1

№ 96

ILMIY-TEXNIK VA ISHLAB CHIQARISH JURNALI

Yanvar - Mart 2024

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРНЫЙ ВЕСТНИК
УЗБЕКИСТАНА

O'zbekiston KONCHILIK XABARNOMASI ГОРНЫЙ ВЕСТНИК Узбекистана № 1 (96) Январь-Март 2024

Ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali 1997 yil iyul oyidan chiqa boshlagan. Bir yilda to'rt marta nashr etiladi.

Ta'sischilar:
«Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ, Navoiy davlat konchilik va texnologiyalar universiteti, O'zbekiston geotexnologiya va rangli metallurgiya ilmiy-tadqiqot va qidiruv-loyihalashtirish instituti «O'zGEORANGMETLITI» MChJ

Moliyaviy qo'llab quvvatlovchilar:
«Navoiy KMK» AJ, «Olmaliq KMK» AJ,
«O'zGEORANGMETLITI» MChJ

Jurnal O'zbekiston Matbuot va axborot agentligida 2006 yil 13 dekabrda ro'yxatga olingan. Qayd etish guvohnomasi № 0033. ISSN 2181-7383, 2013 yil 9 iyul kuni qayta ro'yxatga olingan bo'lib qayd etish guvohnomasi № 01-22/37 S.

Tahririyat manzili:
210100, Navoiy shahri, Navoiy ko'chasi, 27 uy
«NKMK» AJ Innovatsion rivojlanish departamenti JaTYEBIM
Tel.: +99879 227-81-59

E-mail: FY.Zairova@ngmk.uz, U.Sharafutdinov@ngmk.uz

Web-sayt: http://www.gorniyvestnik.uz; http://uzjournals.edu.uz/gorvest

Muqova, dizayn, terish bo'yicha mas'ul:
F.Yu. Zairova

Jurnalning chop etilishi va elektron shaklini yangilab boruvchi mas'ul:
U.Z. Sharafutdinov

Chop qilindi:
«SAHHOF» bosmaxonasi
100129, Toshkent shahri, Navoiy ko'chasi, 30 uy
Тел.: +99899 111-94-62

Nashr etishga 05.03.2024 y. imzolandi
A3 formatda. Adadi 100 nusxa

Научно-технический и производственный журнал издаётся с июля 1997 года, выходит четыре раза в год.

Учредители:
АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», Навоийский государственный горно-технологический университет, Узбекский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт геотехнологии и цветной металлургии ООО «O'zGEORANGMETLITI»

При финансовой поддержке:
АО «Навоийский ГМК», АО «Алмалыкский ГМК»,
ООО «O'zGEORANGMETLITI»

Журнал зарегистрирован в Узбекском Агентстве по печати и информации. Регистрационное свидетельство за № 0033 от 13 декабря 2006 г. ISSN 2181-7383 рег. № 01-22/37 S от 09.07.2013 г.

Адрес редакции:
210100, г. Навои, ул. Навои, 27
ИЦВНТ Департамента инновационного развития АО «НГМК»
Тел.: +99879 227-81-59

E-mail: FY.Zairova@ngmk.uz, U.Sharafutdinov@ngmk.uz

Веб-сайт: http://www.gorniyvestnik.uz; http://uzjournals.edu.uz/gorvest

Обложка, дизайн, компьютерная вёрстка:
Заирова Ф.Ю.

Ответственный за публикацию и обновление электронной формы журнала:
Шарафутдинов У.З.

Отпечатано:
Издательство «SAHHOF»
100129, г. Ташкент, ул. Навои, 30
Тел.: +99899 111-94-62

Подписано в печать 05.03.2024 г.
Формат А3. Тираж 100 экз.

ISSN 2181-7383
4 780010 201760 >

MUNDARIJA / ОГЛАВЛЕНИЕ

На обложке: Epiroc

GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA / MINING JOURNAL OF UZBEKISTAN

Scientific, technical and industrial journal

The journal has been published since July 1997
comes out once every three months

Founders: Joint-stock company «Navoi Mining and Metallurgical Combine», Navoi State Mining and Technology University, Uzbek Research and Design Institute of Geotechnology and Non-Ferrous Metallurgy LLC «UzGEORANGMETLITI».

Chief Editor: **Sharafutdinov U.Z.**
Deputy Chief Editor: **Alikulov Sh.Sh.**
Technical and art editor: **Zairova F.Yu.**

The journal is registered in the Uzbek Agency for Press and Information. Registration certificate number 0033 from December 13, 2006 ISSN 2181-7383 reg. No. 01-22 / 37 S dated July 09, 2013.

Editorial address: 210100, Navoi, st. Navoi, 27, Innovation Center for the Introduction of New Technologies of the Department of Innovative Development of JSC «NMMC»
Tel.: +99879 227-81-59
E-mail: FY.Zairova@ngmk.uz, U.Sharafutdinov@ngmk.uz
Web site: http://www.gorniyvestnik.uz; http://uzjournals.edu.uz/gorvest
Indexing: Ulrich's Periodicals Directory
Printed: Publishing house «SAHHOF» 100129, Tashkent, st. Navoi, 30
Tel.: +99899 111-94-62

CONTENTS

GEOTECHNOLOGY

SCIENTIFIC LABORATORY RESEARCH

УДК 622.234.42 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.001

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО УРАНА ДВУХВАЛЕНТНЫМ ЖЕЛЕЗОМ



Эшонова Г.А.,
инженер-технолог
Рудоуправления «Зафарабад»
ГП «Навоийуран»

Шарафутдинов У.З.,
заместитель начальника
ИЦВНТ Департамента инновационного развития АО «НГМК»,
д.т.н., доцент

Раджаббоев И.М.,
заместитель декана
заочного отделения НГГТУ,
PhD, доцент

Ma'lumki, uch valentli temir sulfat kislota eritmalarida uranni oksidlovchisi hisoblanadi. Ushbu jarayonning kinetikasini qat'iy fizik-kimyoviy o'rganish, shuningdek, minerallar va uch valentli temir birikmalari ishtirokida sintetik va tabiiy uran oksidlarining erishini yarim miqdoriy o'rganish bo'yicha ko'plab ishlar nashr etilgan. Mavjud ma'lumotlarning ko'p qismi, Fe (III) eritmada muhim konsentratsiyalarda (pH ≤ 2) bo'lishi mumkin bo'lgan pH mintaqasiga tegishli va davomiyligi bir necha soatdan oshmagan tajribalarda olingan. Ikki valentli temir olti valentli uran ionlari uchun qayta tiklash vosita bo'lishi mumkinligi ko'rsatilgan.

Tayanch iboralar: *uran, uchvalentli temir, siderit, gyotit, kislorod, jarayon kinetikasi, cho'ktirish, tiklash.*

Как известно, трехвалентное железо является окислителем урана в сернокислых растворах. Опубликовано значительное число работ, посвященных строгому физико-химическому исследованию кинетики этого процесса, а также полуколичественному изучению процесса растворения синтетических и природных окислов урана в присутствии минералов и соединений трехвалентного железа. В большинстве своем, имеющиеся данные относятся к области pH, в которой Fe (III) может в значительных концентрациях находиться в растворе (pH≤2) и получены в опытах, продолжительность которых не превышала нескольких часов. Показано, что двухвалентное железо может являться восстановителем для ионов шестивалентного урана.

Ключевые слова: *уран, двухвалентное железо, сидерит, гётит, кислород, кинетика процесса, осаждение, восстановление.*

Увеличение добычи урана на действующих предприятиях ГП «Навоийуран» сдерживается высокой степенью восстановленности урана в рудах.

Это способствует снижению степени извлечения урана из руд, повышению капитальных и эксплуатационных затрат на единицу выпущенной продукции.

Многие известные на данный момент месторождения урана в Узбекистане по этой же причине нерентабельны при их вскрытии традиционными способами, несмотря на значительные запасы урана. Поэтому в настоящее время остро стоит вопрос о разработке новых подходов для интенсификации процесса выщелачивания урана при переработке трудновскрываемого сырья.

Исходя из критерия самопроизвольного протекания реакции, можно заключить, что процесс в зависимости от реального исходного состояния можно направить в любую сторону.

Реальные процессы подземного выщелачивания в термодинамическом отношении являются открытыми, в них широко распространены неравновесные и необратимые реакции, которые только в большей или меньшей степени могут приближаться к равновесным.

В слабокислой среде, где растворимость окислов и гидроокислов железа становится ничтожной, *Fe (III)* не может служить окислителем четырехвалентного урана.

Результаты термодинамических расчетов показали, что в этих условиях, наоборот, выгодно восстановление шестивалентного урана двухвалентным железом.

Было рассчитано [1] взаимодействие растворов серной кислоты, содержащих UO_2SO_4 (начальная концентрация $1\cdot10^{-4}$ *моль/л*) с сидеритом, $FeCO_3$. Исходные растворы содержали растворенный кислород в количестве, соответствующем равновесию с атмосферой. В результате реакции, происходит значительное увеличение *pH* растворов (*рис. 1*) и практически полное осаждение из них урана в виде UO_2, (равновесная концентрация урана в растворе всегда меньше 10^{-6} *моль/л*).

Окисление железа сидерита ураном, а также кислородом, присутствовавшим в исходных растворах, приводит к образованию гётита, $\alpha\text{-}Fe^{3+}O(OH)$, количество которого в интервале $C_0(H_2SO_4)$ = 0,01 + 0,3 *моль/л* остается постоянным и равно $1{,}36\cdot10^{-3}$ *моль/л*.

Из этого количества $1{,}16\cdot10^{-3}$ *моля* образуется за счёт окисления сидерита по реакции:

$$4\,FeCO_{3\,(к)} + O_{2\,(р\text{-}р)} + 6\,H_2O_{(ж)} = 4\,FeO(OH)_{(к)} + 4\,H_2CO_{3\,(р\text{-}р)} \quad (1)$$

а $2\cdot10^{-4}$ *моля* – за счёт окисления двухвалентного железа ураном по реакции:

$$UO_2SO_{4\,(р\text{-}р)} + 2Fe^{2+}_{(р\text{-}р)} + 4\,H_2O_{(ж)} = UO_{2\,(к)} + 2\,FeO(OH)_{(к)} + 2\,H^{+}_{(р\text{-}р)} + SO_4^{2-}{}_{(р\text{-}р)} \quad (2)$$

Концентрация угольной кислоты, образующейся в реакции (1), практически точно соответствует начальной концентрации серной кислоты, значительно превышая, таким образом, концентрацию H_2CO_3 в растворах, равновесных с атмосферой (~$1\cdot10^{-5}$ *моль/л*). По этой причине в открытой системе происходило бы удаление CO_2, которое вызвало бы дальнейшее увеличение pH раствора. Для удержания же всей углекислоты в растворе в закрытой системе, то есть в рассмотренном случае, необходимо, чтобы система находилась под давлением не ниже 8,5 *атм* при начальной концентрации H_2SO_4 равной 30 *г/л*, и 2,8 *атм* при концентрации 10 *г/л*. При меньших значениях давления произойдёт выделение CO_2 в самостоятельную газовую фазу [2]. Для более точного определения условий, при которых начинается восстановление урана двухвалентным железом, процесс взаимодействия с сидеритом раствора, содержащего 0,1 *моль/л* H_2SO_4 и 1-10^{-4} *моль/л* UO_2SO_4 был рассчитан по «степени протекания реакций».

По оси абсцисс на *рис. 2*, где показаны основные результаты расчёта, отложены мольные количества сидерита, ν, прореагировавшего с 1 *л* раствора. Уже при минимальном значении ν, показанном на графике (ν = 0,05), весь кислород, первоначально находившийся в растворе, оказывается израсходованным на окисление железа сидерита.

В интервале *v* = 0,07+ 0,08 (*pH* около 2) начинается осаждение *Fe (III)* в виде гетита. Содержание в растворе двухвалентного железа равномерно возрастает по мере растворения сидерита [3].

Значительный интерес представляет резкий скачок *pH* и *Eh* раствора, который имеет место при ν = 0,1 *моль*, то есть после того, как практически полностью израсходована серная кислота.

В интервале ν = 0,1000 + 0,1023 *pH* раствора возрастает от 3,24 до 4,22, а *Eh* понижается от 0,291 до 0,117 *мВ*. Столь резкое изменение параметров системы проводит практически к полному осаждению в указанном, очень узком интервале ν, урана.

При ν = 0,1005 моль (*pH* = 3,43; *Eh*= 0,256) весь уран еще находится в растворе, при ν = 0,1007 (*pH* = 3,52; *Eh* = 0,240) из раствора в небольшом количестве ($6\cdot10^{-6}$ *моль*) должен выпадать U_4O_9 (на *рис. 2* не показан). Однако уже при ν = 0,1009 (*pH* = 3,58; *Eh* = 0,230) окись преобразуется UO_2 в количестве $6,6\cdot10^{-5}$ *моль*. Содержание урана в растворе при этом понижается до $3,4\cdot10^{-5}$ *моль/л*. Наконец, при ν = 0,1023 (*pH*=4,22: *Eh* = 0,117) практически весь уран находится в осадке в виде UO_2. Здесь система достигла полного равновесия и взаимодействие раствора с сидеритом прекратилось. Фактически, большая часть урана осаждается раньше, уже при ν = 0,1012 (*pH* = 3,69) в растворе остается менее $1\cdot10^{-5}$ *моль/л* урана.

Таким образом, в рассмотренном случае осаждение большей части урана происходит в узких интервалах *pH* (3,4-3,7) и *Eh* (0,250-0,210). Эти интервалы могут, по-видимому, несколько меняться в зависимости от начальной концентрации в растворе урана и, особенно, серной кислоты. Очевидно, однако, что уже в pH = 3,84 двухвалентное железо становится восстановителем шестивалентного урана.

Практически полное осаждение урана в виде UO_2 (равновесные концентрации урана в растворе всегда менее 10^{-10} *моль/л*) должно происходить и при взаимодействии с сидеритом урансодержащих растворов $NaHCO_3$.

Об этом свидетельствуют расчётные данные, относящиеся к растворам, первоначально равновесным с атмосферой, то есть содержащими растворимый кислород, концентрация $NaHCO_3$ в пределах $3\cdot10^{-3} \div 1\cdot10^{-1}$ *моль/л* (0,25 ÷ 6,4 *г/л*), а урана в пределах $1\cdot10^{-7} \div 1\cdot10^{-3}$ *моль/л* (0,024 ÷ 238 *мг/л*).

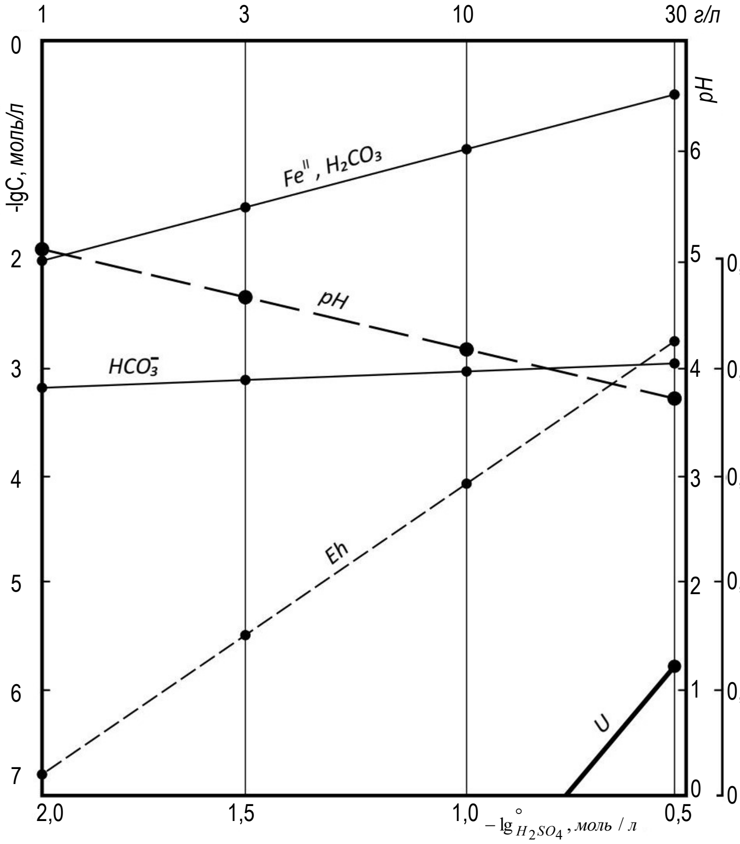


Рис. 1. Зависимость равновесных pH, Eh и концентраций компонентов в сернокислых растворах от исходной концентрации серной кислоты в присутствии сидерита. Начальная концентрация урана в растворах – $1\cdot10^{-4}$ моль/л

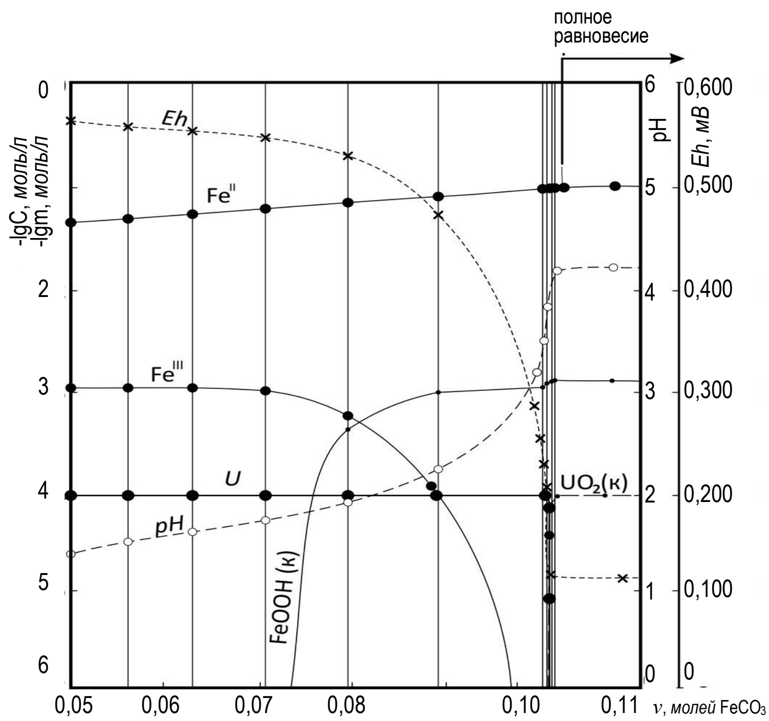


Рис. 2. Зависимость концентраций компонентов в растворе и количества образующихся твердых фаз от количества прореагировавшего сидерита (ν). В исходном растворе 0,1 моль/л H_2SO_4 и $1\cdot10^{-4}$ моль/л UO_2SO_4

В тех случаях, когда равновесные значения *pH* карбонатного раствора меньше 9, двухвалентное железо окисляется с образованием гётита *FeO(OH)*, при *pH* больше 9 вместо гётита образуется магнетит, Fe_3O_4. Последнее вызывает значительный всплеск кривых, характеризующих равновесную концентрацию двухвалентного железа, а также *pH* и *Eh* раствора.

Библиографический список:

1. Ражаббоев И.М., Шарафутдинов У.З., Остонов О.И., Нурмуротова Ш.О. Исследования влияния хлорид-ионов в процессе сорбции и десорбции урана // Universum: технические науки. – №3. – Москва, 2021.– С. 64-67.
2. Шарафутдинов У.З., Ражаббоев И.М., Дониев Ф.Ф., Остонова Ф.И. Уранни ер остида танлаб эритишда қўлланиладиган қатронларга паст ҳароратни таъсирини тадқиқ қилиш // Ўзбекистон кончилик хабарномаси. – Навоий, 2021. – № 2 (85). 108-110 б.
3. Музафаров А.М., Кулматов Р.А., Ражаббоев И.М., Ёкубов О.М. Способ дезактивации загрязненных почв участков подземного выщелачивания урана // Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 3-1. – Москва: «ГОРНАЯ КНИГА», 2021. – С. 119-126.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 1 (96) pp. 4-6

REDUCTION OF HEXAVALENT URANIUM BY FERROUS IONS

[1]***Eshonova G.A.,*** *Process engineer.*
[2]***Rajabboev I.M.,*** *Deputy Dean of the correspondence department, PhD, Associate Professor.*
[3]***Sharafutdinov U.Z.,*** *Deputy Head of Innovation Center for the Introduction of New Technologies of the Department of Innovative Development, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.*

[1]***«Zafarabad» Mining Administration «Navoiuran» SE, Navoi, Uzbekistan.***
[2]***Navoi State Mining and Technology University. Navoi, Uzbekistan.***
[3]***«Navoi Mining and Metallurgical Company» JSC, Navoi, Uzbekistan.***

Trivalent iron is known to be an oxidising agent of uranium in sulphuric acid solutions. A considerable number of studies devoted to a rigorous physicochemical investigation of the kinetics of this process, as well as a semi-quantitative study of the dissolution of synthetic and natural uranium oxides in the presence of minerals and trivalent iron compounds, have been published. For the most part, the available data refer to the pH range, in which Fe (III) can be in significant concentrations in solution (pH≤2) and were obtained in experiments, the duration of which did not exceed several hours. It is shown that ferrous ion can be a reducing agent for hexavalent uranium ions.
Keywords*: uranium, ferrous ion, siderite, goethite, oxygen, process kinetics, precipitation, reduction.*

Bibliographic list:
1. Razhabboev I.M., Sharafutdinov U.Z., Ostonov O.I., Nurmurotova Sh.O. Research on the influence of chloride ions in the process of sorption and desorption of uranium // Universum: technical sciences. – No. 3. – Moscow, 2021, pp. 64-67.
2. Sharafutdinov U.Z., Razhabboev I.M., Doniev F.F., Study of the effect of low temperature on resins used in selective underground uranium smelting // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2021. – No. 2 (85), pp. 108-110.
3. Muzafarov A.M., Kulmatov R.A., Razhabboev I.M., Yokubov O.M. Method for decontamination of contaminated soils in underground uranium leaching areas // Mining Information and Analytical Bulletin. – No. 3-1. – Moscow: "MINING BOOK", 2021, pp. 119-126.

УДК 622.235:622.831 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.002

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГОРНЫХ ПОРОД ВЗРЫВОМ НА ПРЕДЕЛЬНОМ КОНТУРЕ КАРЬЕРА




Заиров Ш.Ш.,
начальник сектора научных исследований, инноваций и подготовки научно-педагогических кадров АФ НИТУ «МИСИС», д.т.н., профессор

Фатхиддинов А.У.,
доцент кафедры «Общепрофессиональные и экономические дисциплины» Алмалыкского филиала ТГТУ, PhD

Мехмонов М.Р.,
доцент кафедры «Горное дело» НГГТУ, PhD

Гаибназаров Б.А.,
заместитель декана по делам молодежи Горного факультета Алмалыкского филиала ТГТУ, PhD

Ishda portlash ta'sirida yuzaga kelgan massivning qoldiq kuchlanish holati o'rganildi, bu massivning qoldiq kuchlanish-deformatsiya holatini va maydalash zonasidan tashqaridagi fizik-texnik xususiyatlarining o'zgarishini ta'minlaydi. Burg'ulash va portlatish ishlarining parametrlari, vayronagarchilikning asosiy xarakteristikalari, ularga ta'sir qiluvchi geologik va tog'-kon omillari ko'rsatilgan, tog' jinslari massivini portlash yo'li bilan vayron qilinishining fizik tasviri o'rganiladi.

Tayanch iboralar: *tog' jinslarini portlatish, karyer chegara konturi, kuchlanish to'lqinlari, burg'ulash va portlatish ishlaridagi muammolar, qoldiq kuchlanishlar, massa deformatsiyasi, portlatilgan blokdan masofa, Guk qonuni, kuchlanish-deformatsiya holati.*

В работе исследовано остаточное напряженное состояние массива, вызванное действием взрыва, которое обеспечивает изменение остаточного напряженно-деформированного состояния и физико-технических свойств массива за пределами зоны дробления. Представлены параметры буровзрывных работ, основные характеристики разрушений, влияющие на них геологические и горнотехнические факторы, а также изучена физическая картина взрывного разрушения массива горных пород.

Ключевые слова: *взрывание горных пород, предельный контур карьера, волны напряжений, проблемы при ведении буровзрывных работ, остаточные напряжения, деформация массива, расстояние от взрываемого блока, закон Гука, напряженно-деформированное состояние.*

Действие взрыва скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ) на предельном контуре карьера может быть охарактеризовано рядом силовых и кинематических параметров: амплитудой и длительностью волн напряжений, скоростью смещения среды за волной напряжений, импульсом и энергией волн напряжений в среде, параметрами ударно-воздушной волны.

Величины импульса и энергии, передаваемые при взрыве заряда ВВ горному массиву на предельном контуре карьера, более полно характеризуют действие взрыва, т.к. учитывают не только силовые и кинематические параметры, но и время воздействия взрыва, т.е. являются интегральными параметрами.

Интенсификация технологических процессов на карьерах обусловила появление целого комплекса проблем при ведении буровзрывных работ (БВР) в приконтурной зоне карьера.

Особую важность эти проблемы приобретают на глубоких горизонтах, где из-за усложнения геологических и горнотехнических условий усиливаются негативные эффекты массовых взрывов.

На *рис. 1* приведены параметры БВР, основные характеристики разрушений, а также влияющие на них геологические и горнотехнические факторы [1].

После проведения массового взрыва в горном массиве возникают внутренние (остаточные) напряжения, которые взаимно уравновешиваются внутри массива без участия внешних нагрузок.

Остаточные напряжения оказывают существенное влияние на процессы деформации и разрушения, а также на прочность и деформационные характеристики горных пород [2].

Согласно исследованиям [3, 4] остаточные радиальные и азимутальные напряжения в основном находятся в пределах зоны дробления (*рис. 2*).

Анализ выполненных исследований [5-9] указывает на наличие остаточных деформаций массива на расстоянии до 70 *м* от места производства массового взрыва и зависит от прочностных свойств массива, энергии взрыва и т.д. Величина деформаций массива после проведения серий массовых взрывов составляет [5]: на расстоянии 10 *м* – 0,1-0,35 *м*, на расстоянии 50-70 *м* – 6-10 *мм*.

На *рис. 3* приведена зависимость деформаций трещиноватого массива с расстоянием от взрываемого блока [3].

Согласно закону Гука [10], напряжения σ, возникающие в деформированном теле, прямо пропорциональны относительной деформации ε, т.е. остаточные деформации пропорциональны напряжениям:

$$\varepsilon = k\sigma, \tag{1}$$

где k – коэффициент упругости.

Таким образом, можно предположить, что в массиве имеется изменённое остаточное напряженное состояние массива, вызванное действием взрыва, которое обеспечивает изменение остаточного напряженно-деформированного состояния и физико-

Рис. 1. Параметры БВР, основные характеристики разрушений, а также влияющие на них геологические и горнотехнические факторы

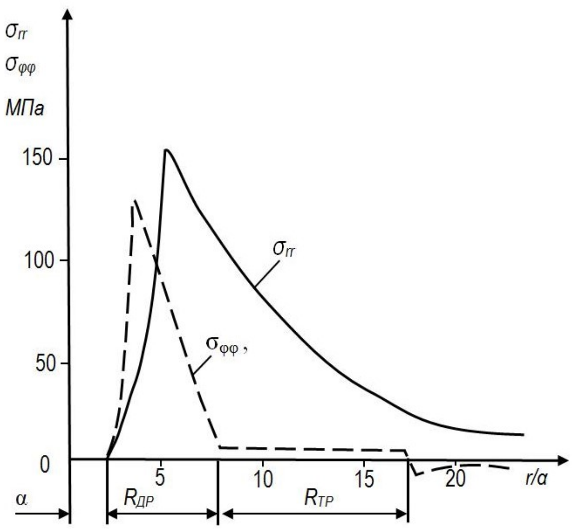


Рис. 2. Распределение остаточных радиальных (σ_{rr}) и азимутальных ($\sigma_{\varphi\varphi}$) напряжений в горной породе после взрыва с расстоянием (r/a): *a – радиус заряда; $R_{др}$ – радиус зоны дробления; $R_{тр}$ – радиус зоны радиальных трещин*

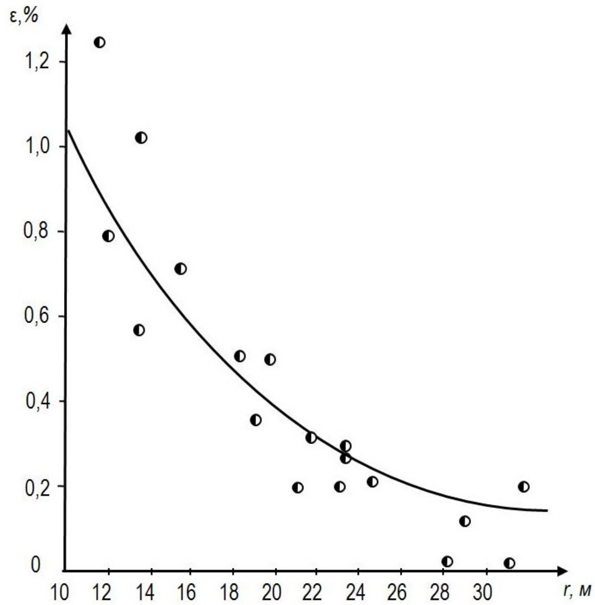


Рис. 3. Зависимость деформаций трещиноватого массива (ε) с расстоянием (r) от взрываемого блока

технических свойств массива за пределами зоны дробления. Наряженно-деформированное состояние и физические свойства горного массива определяют его удароопасность, устойчивость, буримость и взрываемость.

Исследованиями [5-9] установлено, что работа, затраченная на пластическую деформацию, переходит в горную породу не полностью, а лишь на 80-90%. Остальные 10-20% как раз и остаются в горной породе в виде энергии остаточных напряжений. Горные породы, в которых действуют остаточные напряжения, можно рассматривать как находящиеся под воздействием длительной нагрузки.

В результате ее действия с течением времени возможна пластическая деформация и, следовательно, растрескивание горных пород.

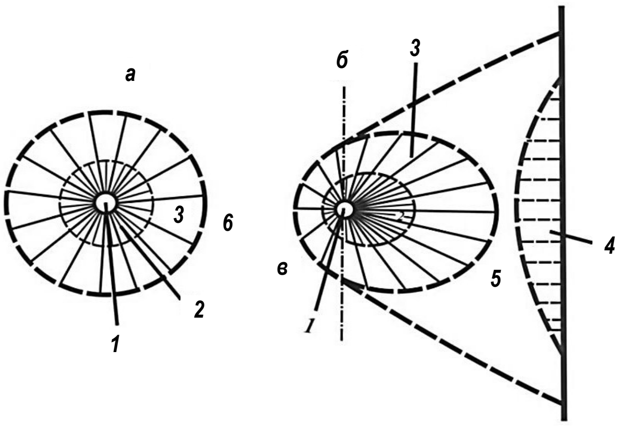


Рис 4. Разрушение массива пород при взрыве в безграничной среде (а) и вблизи свободной поверхности (б): *1 – скважина; 2 – зона раздавливания; 3 – зона радикальных трещин; 4 – зона трещин, развиваемых от свободной поверхности; 5 – зона совокупного разрушения; 6 – неразрушенная зона*

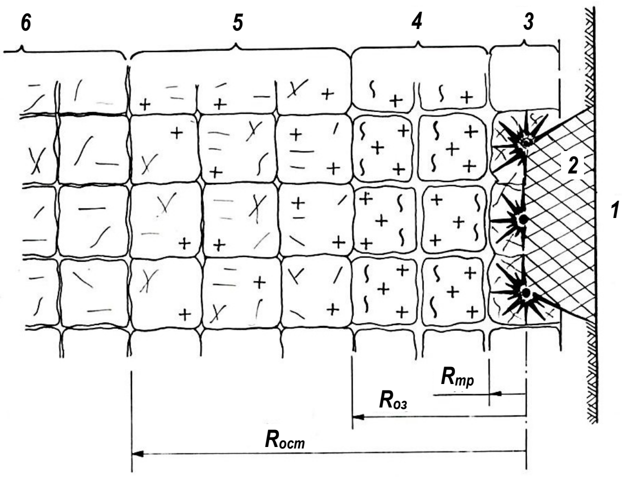


Рис. 5. Зоны деформирования напряженного трещиноватого массива взрывом: *1 – выработанное пространство; 2, 3, 4 и 5 – соответственно, зоны выброса, трещинообразования (дробления отдельностей), разгрузки (заколов), остаточных деформаций (напряжений); 6 – зона естественного состояния массива; $R_{тр}$, $R_{оз}$, $R_{ост}$ – радиусы зон трещинообразования, заколов и остаточных напряжений*

Авторами [11-13] выявлено «явление скачкообразного освобождения остаточных напряжений в горных породах, заключающееся в том, что при статическом сжатии горной породы с остаточными напряжениями, наряду с плавным продольным сжатием и поперечным растяжением, происходит скачкообразное и знакопеременное изменение деформаций, обусловленное нарушением внешней нагрузкой равновесия имеющихся остаточных напряжений и их взаимодействием с напряжениями, образующимися от действия внешних сил».

Классическая физическая картина взрывного разрушения массива горных пород приведена на *рис. 4* [14, 15].

В работе [3] анализ сетки расположения скважинных зарядов ВВ, замеры расстояния от зарядов ВВ до границы зоны заколов, а также реперные замеры, показали, что в трещиноватых массивах горных пород формируются 3 зоны деформаций (*рис. 5*):

– зона дробления, в которой происходит динамическое соударение и дробление отдельностей на части

$$R_{тр} \leq (10 \div 15)d_з \quad (2)$$

– зона упругопластических деформаций (зона заколов), в которой происходят деформации на берегах трещин и упругие деформации в отдельностях без их разрушения, упругая составляющая динамических деформаций обеспечивает движение отдельностей к зарядной полости с образованием заколов

$$15d_з \leq R_з \leq 50d_з \quad (3)$$

– зона остаточных напряжений, в которой происходит закрытие трещин и упругие остаточные деформации в отдельностях массива

$$50d_з \leq R_{ост} \leq 150d_з \quad (4)$$

Размеры зон трещинообразования, заколов и остаточных напряжений зависят от диаметра зарядов, типа и удельного расхода ВВ, сетки расположения скважин, конструкции заряда, последовательности взрывания, интервалов замедления, степени трещиноватости массива и прочности пород.

Таким образом, остаточные напряжения неоднородные и структурно связанные до уровня кристаллической решетки, вследствие чего при известных методах разгрузки, требующих образование новой поверхности путем бурения скважины, остаточные напряжения, из-за их внутренней структурной связанности, разгружаются не полностью.

В связи с этим рекомендуется определять остаточные напряжения методами разгрузки или рентгенографии в кернах пород во всех направлениях и затем рассчитать действующие в породном массиве напряжения.

Определяя остаточное напряженное состояние массива можно обеспечить прогноз и предотвращение оползневых явлений путем разгрузки опасных напряжений в этих участках маломощными взрывами.

Библиографический список:

1. Норов Ю.Д., Бибик И.П., Заиров Ш.Ш. Управление эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы // Известия вузов. Горный журнал. – Екатеринбург, 2016. – № 1. – С. 58-64.

2. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.Д., Акматалиева М.С. Определение остаточных и действующих напряжений поляризационно-акустическим методом // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – Новосибирск, 2018. – № 4. – С. 134-139.

3. Тюпин В.Н. Взрывные и геомеханические процессы в трещиноватых напряженных горных массивах. – Монография. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2017. − 192 с.

4. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. – М.: Недра, 1986. – 301 с.

5. Ильин А.И., Гальперин А.М., Стрельцов В.И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. – М.: Недра, 1985. – 248 с.

6. Насиров У.Ф., Умаров Ф.Я., Заиров Ш.Ш., Шарипов Л.О. Ведение взрывных работ на карьерах Кызылкумского региона // Монография: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 193 с. ISSN 978-620-6-84628-4.

7. Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Райимов С.С., Шарипов Л.О. Исследование сейсмического воздействия массового взрыва и разработка способа ведения взрывных работ в приконтурной зоне карьера // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – № 4. – С. 4-7.

8. Умаров Ф.Я., Заиров Ш.Ш., Райимов С.С., Шарипов Л.О. Разработка математической модели сейсмического действия взрыва и способа заоткоски уступов на предельном контуре карьера // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – № 4. – С. 49-53.

9. Умаров Ф.Я., Заиров Ш.Ш., Райимов С.С., Шарипов Л.О. Исследование влияния взрывных работ в приконтурной зоне карьера на состояние откосов уступов // Материалы IV-ой Международной конференции на тему: «Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижения, проблемы и перспективы». – Навои, 16-17 ноября 2023 г. – С. 7-8.

10. Черных О.Л. Закон Гука и механика деформируемых твердых тел // Science Time. – Казань, 2019. – С. 38-47.
11. Заявка на открытие № А-109 от 29 апреля 1998 г. (Ассоц. авторов научн. открытий).
12. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Проявление остаточных напряжений в деформации горных пород при их нагружении // Физика и механика разрушения горных пород. – Фрунзе: Илим, 1987. – С. 37-41.
13. Айтматов И.Т., Тажибаев К.Т. Результаты определения остаточных напряжений в гранитах Восточно-Коунрадского месторождения // Напряженное состояние горных пород и их разрушение. – Фрунзе: Илим, 1986. – С. 52-61.
14. Покровский Г.И., Федоров И.С. Действие удара взрыва в деформируемых средах. – М., 1957. – 276 с.
15. Ракишев Б.Р. Энергоемкость механического разрушения горных пород. – Алматы: Баспагер, 1998. – 210 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 1 (96) pp. 7-10

STUDY OF THE RESIDUAL STRESS STATE OF THE MASSIF DURING ROCK DESTRUCTION BY EXPLOSION ON THE LIMITING CONTOUR OF THE QUARRY

[1]***Zairov Sh.Sh***., *Head of the Sector of Scientific Research, Innovation and Training of Scientific and Pedagogical Personnel, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: sher-z@mail.ru.*
[2]***Fatkhiddinov A.U***., *Associate Professor of the Department of «General Professional and Economic Disciplines», Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences.*
[3]***Mekhmonov M.R.,*** *Associate Professor of the Department of «Mining», Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences.*
[2]***Gaibnazarov B.A.,*** *Deputy Dean for Youth Affairs of the Mining Faculty, Doctor of Philosophy (PhD) in Technical Sciences.*

[1]***Almalyk Branch of the National University of Science and Technology «MISiS». Almalyk, Uzbekistan.***
[2]***Almalyk branch of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov. Almalyk, Uzbekistan.***
[3]***Navoi State Mining and Technology University. Navoi, Uzbekistan.***

Residual stress-strain state of the massif caused by the action of explosion, which provides changes in the residual stress-strain state and physical and technical properties of the massif outside the crushing zone, is investigated in the paper. The parameters of drilling and blasting operations, main characteristics of destruction, geological and mining factors influencing them are presented, and the physical picture of explosive destruction of rock massif is studied.
Keywords: *rock blasting, limiting contour of a quarry, stress waves, problems in drilling and blasting operations, residual stresses, massif deformation, distance from the blasted block, Hooke's law, stress-strain state.*

Bibliographic list:

1. Norov Yu.D., Bibik I.P., Zairov Sh.Sh. Managing the effective parameters of drilling and blasting operations based on the quality criterion of the blasted rock mass // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. – Ekaterinburg, 2016. – No. 1, pp. 58-64.
2. Tazhibaev K.T., Tazhibaev D.D., Akmatalieva M.S. Determination of residual and effective stresses using the polarization-acoustic method // International Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk. – Novosibirsk, 2018. – No. 4, pp. 134-139.
3. Tyupin V.N. Explosive and geomechanical processes in fractured, stressed rock masses. – Monograph. – Belgorod: Publishing House "Belgorod" National Research University "BelSU", 2017. – 192 p.
4. Rodionov V.N., Sizov I.A., Tsvetkov V.M. Fundamentals of geomechanics. – M.: Nedra, 1986. – 301 p.
5. Ilyin A.I., Galperin A.M., Streltsov V.I. Management of long-term stability of slopes in quarries. – M.: Nedra, 1985. – 248 p.
6. Nasirov U.F., Umarov F.Ya., Zairov Sh.Sh., Sharipov L.O. Conducting blasting operations in quarries of the Kyzylkum region // Monograph: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 193 p. ISSN 978-620-6-84628-4.
7. Nasirov U.F., Zairov Sh.Sh., Raimov S.S., Sharipov L.O. Study of the seismic impact of a massive explosion and development of a method for conducting blasting operations in the perimeter zone of the quarry // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2023. – No. 4, pp. 4-7.
8. Umarov F.Ya., Zairov Sh.Sh., Raimov S.S., Sharipov L.O. Development of a mathematical model of the seismic action of an explosion and a method for sloping benches on the limiting contour of a quarry // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2023. – No. 4, pp. 49-53.
9. Umarov F.Ya., Zairov Sh.Sh., Raimov S.S., Sharipov L.O. Study of the influence of blasting operations in the boundary zone of the quarry on the condition of the slopes of the benches // Materials of the IV International Conference on the topic: “Comprehensive innovative development of the Zarafshan region: achievements, problems and prospects.” – Navoi, November 16-17, 2023, pp. 7-8.
10. Chernykh O.L. Hooke's law and mechanics of deformable solids // Science Time. – Kazan, 2019, pp. 38-47.
11. Application for discovery No. A-109 dated April 29, 1998 (Association of authors of scientific discoveries).
12. Aitmatov I.T., Tazhibaev K.T. Manifestation of residual stresses in the deformation of rocks during loading // Physics and mechanics of rock destruction. – Frunze: Ilim, 1987, pp. 37-41.
13. Aitmatov I.T., Tazhibaev K.T. Results of determining residual stresses in granites of the East Kounrad deposit // Stressed state of rocks and their destruction. – Frunze: Ilim, 1986, pp. 52-61.
14. Pokrovsky G.I., Fedorov I.S. Action of explosion impact in deformable media. – M., 1957. – 276 p.
15. Rakishev B.R. Energy intensity of mechanical destruction of rocks. – Almaty: Baspager, 1998. – 210 p.

УДК 622.235:622.271 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.003

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОТЫ УСТУПА НА КАЧЕСТВО И КОЛИЧЕСТВО ДОБЫВАЕМОЙ РУДЫ ПРИ ОТРАБОТКЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Жабборов О.И.,
ГИП по горным работам
ЦПБ АО «НГМК»

Kichik konlar uchun pog‘onaning optimal/ratsional balandligini aniqlash bo‘yicha ilmiy-tadqiqot ishlari olib borildi va oltin rudasini qazib olishning to‘liqligini oshirish bo‘yicha tavsiyalar berildi. Rudaning yo‘qolishi va suyultirilishi ko‘rsatkichlarining, shuningdek, rudadagi oltin miqdorining, pog‘ona balandligiga qarab, turli qalinlikdagi ruda tanalari uchun o‘zgarishi aniqlangan.

Tayanch iboralar: *pog‘ona, pog‘ona balandligi, ruda yo‘qotishlari, suyultirish, ruda tanasining qalinligi, ruda zahiralari, rudadagi oltin miqdori, qazib olishning to‘liqligi.*

Проведены исследования по определению оптимальной/рациональной высоты уступа для мелкомасштабных месторождений, даны рекомендации по повышению полноты извлечения золотосодержащих руд. Установлены изменения показателей потерь и разубоживания руд, а также содержания золота в руде в зависимости от высоты уступа, для различных мощностей рудных тел.

Ключевые слова*: уступ, подуступ, высота уступа, потери руды, разубоживание, мощность рудного тела, запасы руды, содержание золота в руде, полнота извлечения.*

Традиционные способы разработки золоторудных месторождений с высотой уступа 5-15 *м* в зависимости от мощности рудного тела наиболее часто применяются в горной практике, при этом достигаются экономически обоснованные значения потерь и разубоживания, а также содержания золота в добытой руде. При этом обеспечивается достаточно высокая производительность выемочно-погрузочного оборудования с ёмкостью ковша 5-20 $м^3$.

Ситуация в корне меняется при разработке мелкомасштабных месторождений с маломощными рудными телами.

При отработке маломощных рудных тел содержание металла в руде, добытой традиционной высоте уступа 5-15 *м* может быть настолько низким, что переработка руды окажется не рентабельной, и она будет вывезена в отвал забалансовых руд или пустых пород.

В таких случаях необходимо рассматривать возможность выемки руд и пород с внесением соответствующих изменений в параметры системы разработки, а точнее в высоту уступа и соответственно применяемого выемочно-погрузочного оборудования [1].

Высокие потери приводят к увеличению доли погашаемых основных средств в затратах на добычу полезных ископаемых, а разубоживание руды снижает ее ценность, отрицательно влияя на показатели извлечения металлов при обогащении и в конечном счёте на себестоимость продукции.

Одним из важнейших путей повышения эффективности использования недр при разработке мелкомасштабных месторождений с маломощными рудными телами является снижение экономически неоправданных потерь и разубоживания руды при их добыче [2].

В настоящее время практически отсутствуют методические положения и рекомендации по выбору высоты уступа и выемочно-погрузочного оборудования при разработке маломощных рудных тел мелкомасштабных месторождений.

На многих мелкомасштабных месторождениях с примерно одинаковыми горно-геологическими и горнотехническими условиями потери отличаются в 2-3 раза и, наоборот, на месторождениях с неодинаковыми горно-геологическими условиями и различной ценностью руд они практически одни и те же. Одна из причин такого положения заключается в применении одинаковых параметров системы разработки и высоты уступа без учёта конкретных условий залегания рудных тел, их строения и соотношения ценности добываемого полезного ископаемого к затратам на добычу и переработку руды. На наш взгляд при отработке маломощных рудных тел оптимальные показатели потерь и разубоживания руды должны быть достигнуты за счёт управляемого уменьшения высоты добычного уступа в зависимости от мощности отрабатываемого рудного тела [3].

Для определения оптимальной высоты добычного уступа предлагается использовать новую графоаналитическую модель. Принципиальная схема определения потерь и разубоживания руды в приконтактных зонах приведена на *рис. 1.*

Разработанная модель позволяет одновременно определять значения потерь и разубоживания в приконтактных зонах, как для уступа, так и для подуступа. Основой выполнения всех приводимых расчётных данных является методика определения показателей потерь и разубоживания для условий мелкомасштабных золоторудных месторождений, разработанная А.Б. Тухташевым, О.И. Жабборовым.

В расчётах параметры потери и разубоживания определяются в зависимости от влияющих факторов в виде функции:

$$K_п\,(K_р) = f\,(Э,\ h_у,\ m,\ \alpha,\ \beta,\ \Delta) \qquad (1)$$

где Э – паспортные характеристики экскаватора;

$h_у$ – высота уступа, *м*;

m – средняя мощность рудного тела, *м*;

α – угол падения рудных тел, *град*;

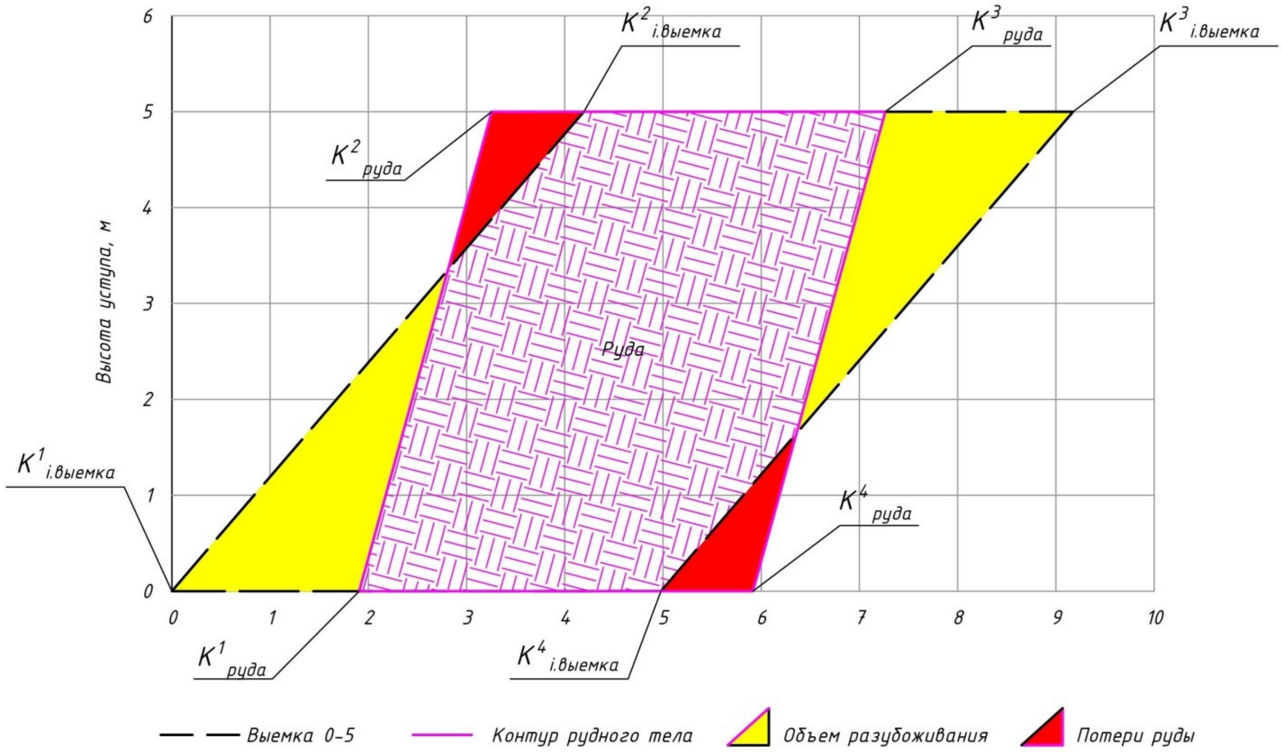


Рис. 1. Принципиальная схема определения потерь и разубоживания руды

Таблица 1

Расчётные показатели потерь и разубоживание руды при изменении мощности рудного тела и высоты уступа в приконтурной зоне ($m_{р.т.}$ = 2 ÷ 6 *м*)

Наименование	Высота уступа, *м*						
	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Потери при $m_{р.т.}$ = 2 *м*, %	6,2	7,8	9,2	10,8	12,4	14,0	15,4
Разубоживание при $m_{р.т.}$ = 2 *м*, %	23,3	27,8	32,2	35,9	39,4	42,6	45,8
Потери при $m_{р.т.}$ = 3 *м*, %	4,1	5,2	6,1	7,2	8,3	9,4	10,2
Разубоживание при $m_{р.т.}$ = 3 *м*, %	16,5	19,9	23,4	26,4	29,3	32,0	34,7
Потери при $m_{р.т.}$ = 4 *м*, %	3,1	3,9	4,6	5,4	6,2	7,0	7,7
Разубоживание при $m_{р.т.}$ = 4 *м*, %	12,8	15,6	18,4	20,9	23,3	25,6	27,9
Потери при $m_{р.т.}$ = 5 *м*, %	2,5	3,1	3,7	4,3	5,0	5,6	6,1
Разубоживание при $m_{р.т.}$ = 5 м, %	10,5	12,8	15,2	17,3	19,3	21,3	23,4
Потери при $m_{р.т.}$ = 6 *м*, %	2,1	2,6	3,1	3,6	4,1	4,7	5,1
Разубоживание при $m_{р.т.}$ = 6 *м*, %	8,8	10,8	12,9	14,7	16,5	18,3	20,1

β – угол откоса экскаваторного забоя, *град*;

Δ – мощность прихвата, *м*.

В настоящей работе исследованы значения потерь и разубоживания руды на основе вышеуказанной методики для маломощных рудных тел мощностью 2 *м* и 4 *м* без изменения балансовых запасов руды и металла. При этом высота уступа изменяется в диапазоне: 5 *м*, 4 *м*, 3 *м*, 2,5 *м* и 2 *м* [4].

Для упрощения задачи в расчётах условно принимаются следующие исходные параметры:

– плотность руды, ρ = 2,6 *т/м³*;

– угол падения рудного тела, α = 85°;

– высота уступа $h_у$ = 5 *м* (а также 4,5 *м*, 4,0 *м*, 3,5 *м*, 3,0 *м*, 2,5 *м* и 2,0 *м*);

– угол падения откоса экскаваторного забоя (условная), β = 55°;

– мощность рудного тела, $m_{р.т.}$ = 2-6 *м*;

– запасы руды, *Б* = 2 500 тыс. *т*;

– запасы металла, $M_{геол.}$ = 4 000 *кг*;

– среднее содержание металла в руде, *С* = 1,6 *г/т*.

По вышеприведенным исходным параметрам с применением предлагаемой модели, выполнен расчёт для каждой рассматриваемой высоты уступа и получены графоаналитические данные при мощности рудного тела 2 *м* и 4 *м* (*рис. 2*). Выполнив расчёты по разработанной методике, получаем соответствующие значения потерь, разубоживания и эксплуатационные параметры руды для условно принятых исходных параметров, которые приведены в *табл. 1.* На основе полученных расчётных данных построена зависимость изменения показателей потерь и разубоживания руды при мощности рудного тела $m_{р.т.}$ = 2-6 *м* (*рис. 3 и 4*).

Как видно из *табл. 1* и *2*, а также *рис. 3* и *4* с уменьшением высоты добычного уступа достигаются следующие положительные результаты:

1. При мощности рудного тела 2 *м,* при уменьшении высоты уступа с 5 *м* до 2 *м* достигается уменьшение значений потерь и разубоживания руды примерно в 2 раза.

2. При отработке рудного тела мощностью m = 2 *м,* высотой добычного уступа $h_у$ = 5,0 *м* получаем:

– эксплуатационный металл, *Мэ* = 3 384,0 *кг*, со средним содержанием – 0,87 *г/т*;

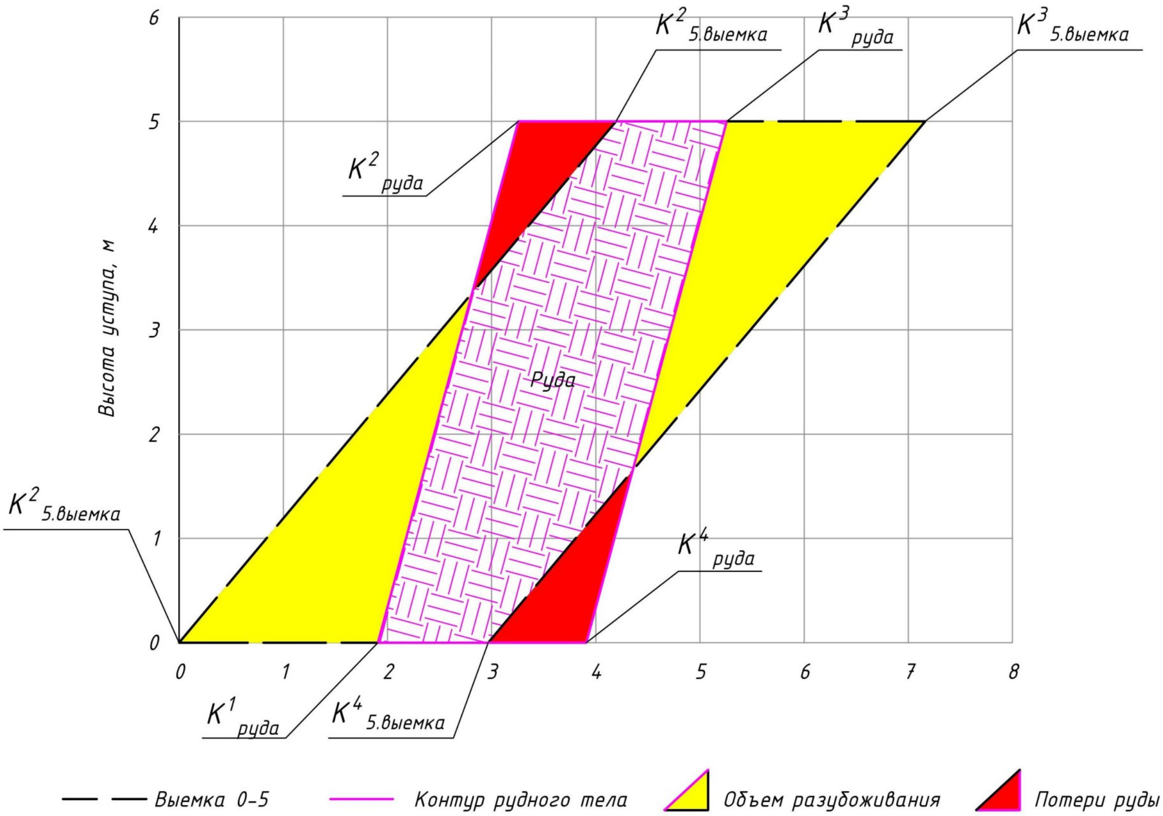
а при высоте уступа $h_у$ = 2,0 *м* получаем:

– эксплуатационный металл – *Мэ* = 3 752,0 *кг*, со средним содержанием – 1,23 *г/т*.

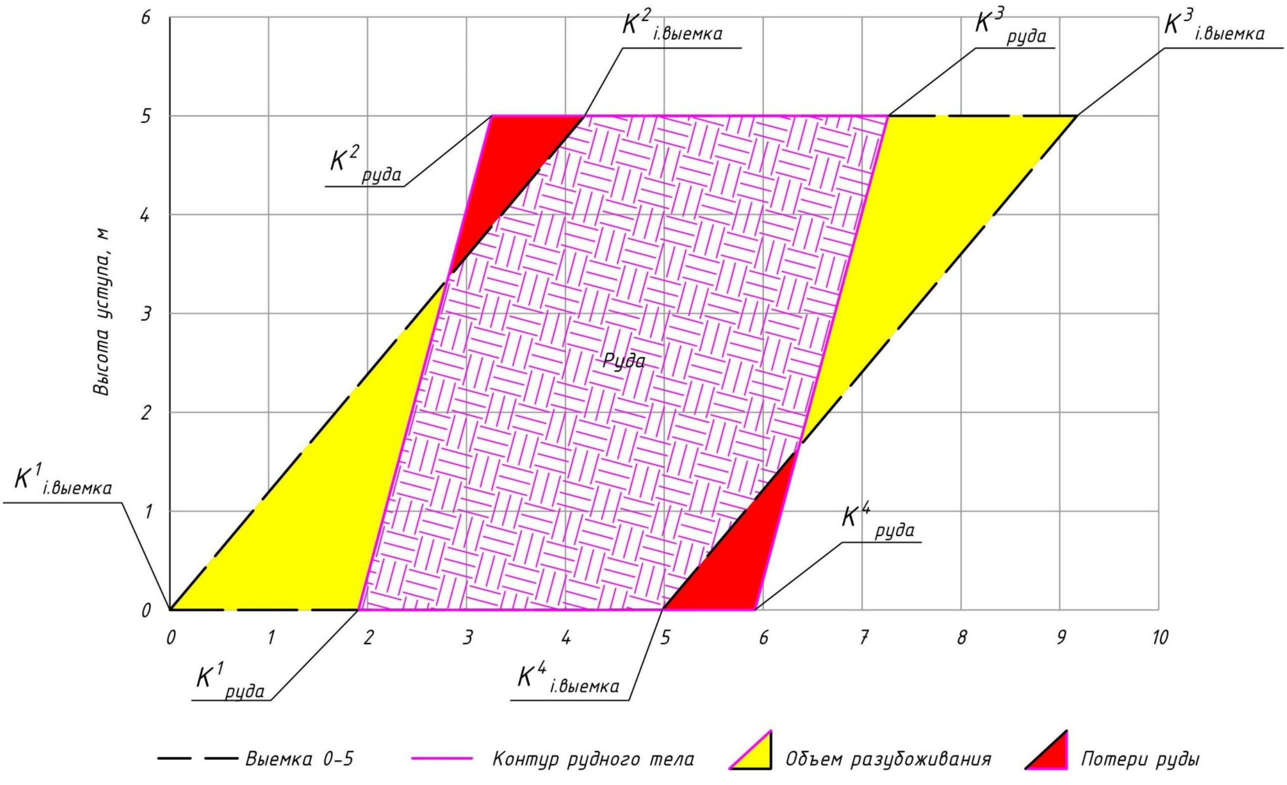
При этом объём переработки уменьшается на 845 тыс. *т* руды, увеличивается количество добываемого металла на 368 *кг*, за счёт увеличения среднего содержания металла в руде на 0,36 *г/т.*

3. При отработке рудного тела мощностью m = 4 *м* высотой добычного уступа $h_у$ = 5,0 *м* получаем:

– эксплуатационный металл – *Мэ* = 3 692,0 *кг*, со средним содержанием – 1,15 *г/т*;



а)



б)

Рис. 2. Схематическое сравнение площадей потерь и разубоживание руды при высоте добычного уступа 5 м при мощности рудного тела – 2 м (а) и 4 м (б)

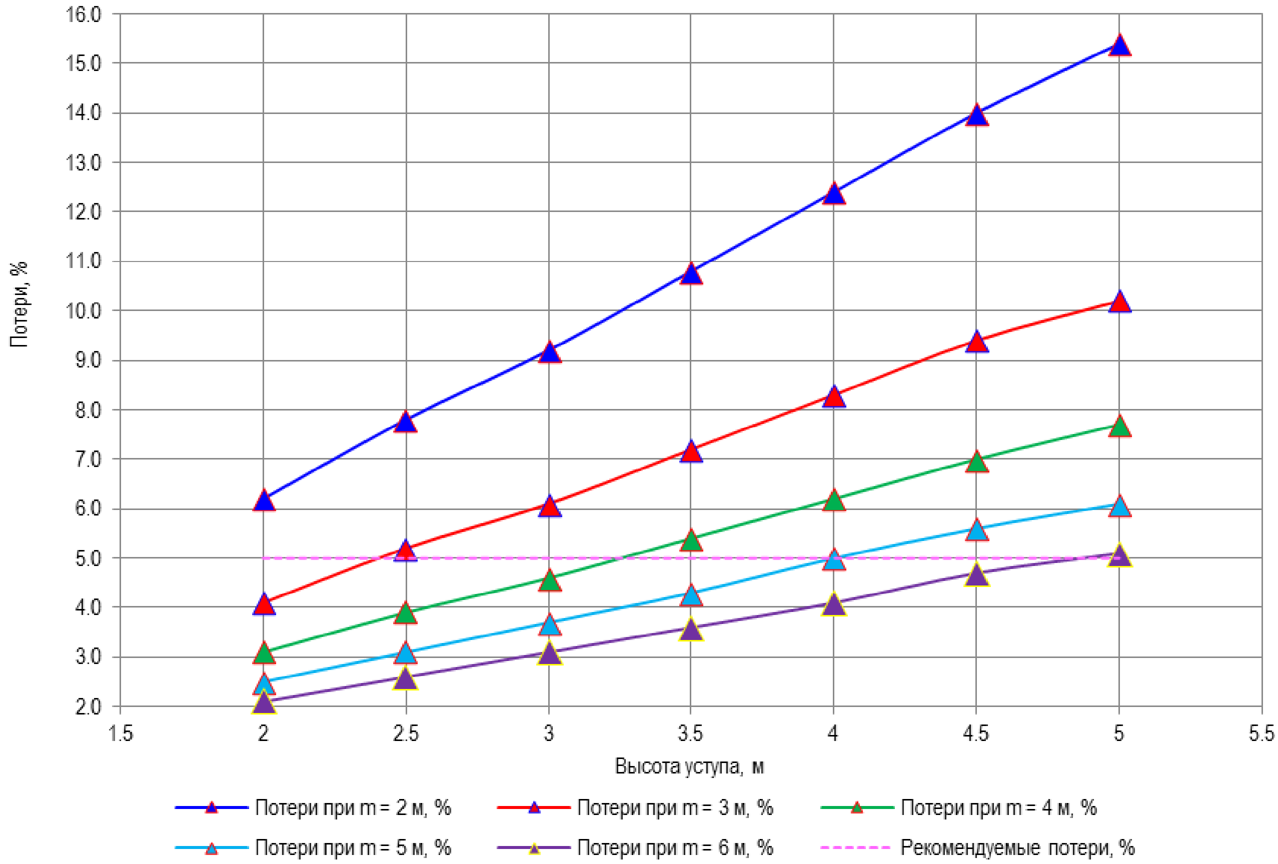


Рис. 3. Изменение значения потери руды в зависимости от высоты уступа при мощности рудного тела m = 2-6 м

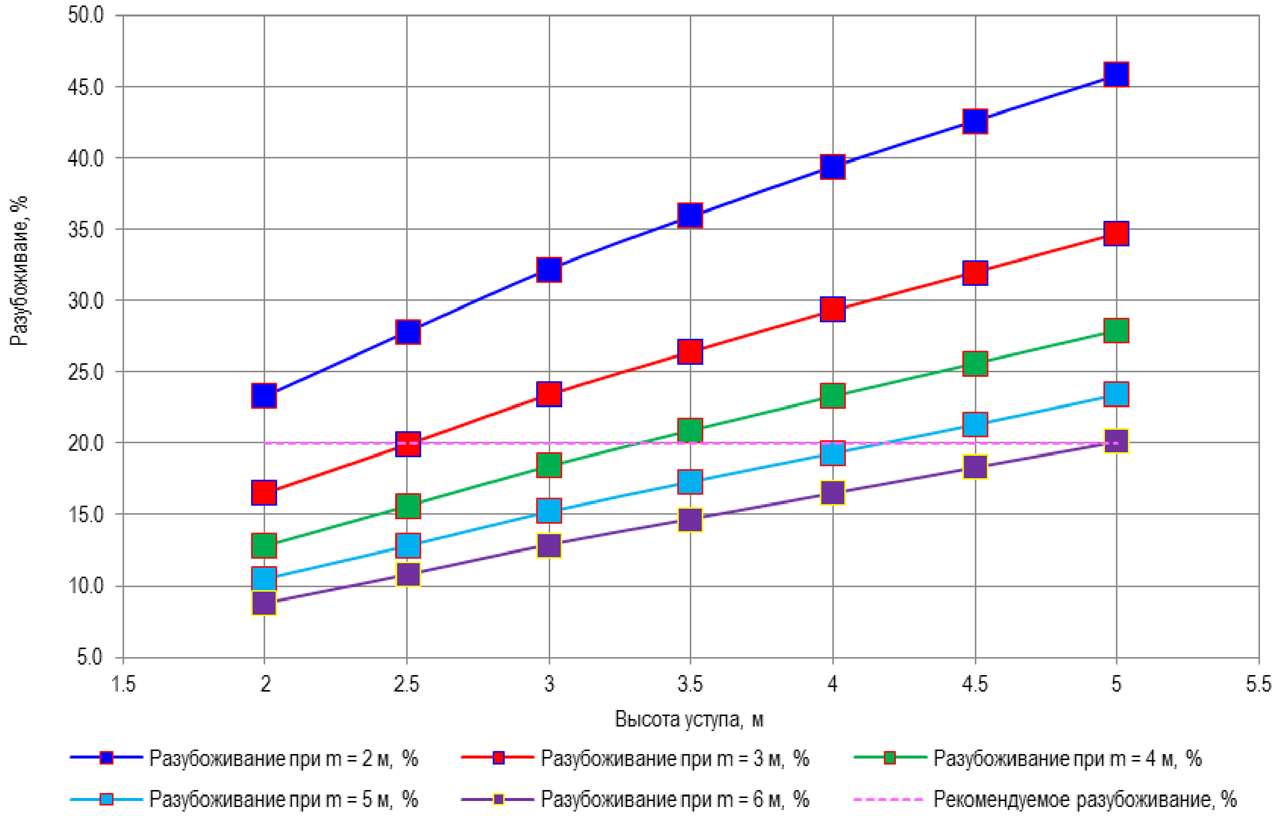


Рис. 4. Изменение значения разубоживания руды в зависимости от высоты уступа при мощности рудного тела m = 2-6 м

а при высоте уступа $h_у$ = 3,0 *м* получаем:

– эксплуатационный металл – *Мэ* = 3 816,0 *кг*, со средним содержанием – 1,31 *г/т*.

При этом объём переработки уменьшается на 278 тыс. *т* руды, увеличивается количество добываемого металла на 124 *кг*, за счёт увеличения среднего содержания металла в руде на 0,16 *г/т*.

Уменьшение высоты уступа имеет не только положительные показатели, но и некоторые недостатки:

1. Временное снижение производительности выемочно-погрузочного оборудования, задействованного на добычном уступе.

2. Уменьшение высоты уступа до 2,5-3,0 *м* и ниже требует применения специального выемочно-погрузочного оборудования, либо изменения технологических схем отработки рудных блоков.

На стадии разработки предпроектных и проектных работ по отработке маломощных рудных тел мелкомасштабных месторождений для определения высоты проектного уступа предлагается использовать формулу:

$$H_у = m_{р.т.} \cdot K_{hm}$$

где K_{hm} – эмпирический коэффициент учитывающий мощность рудного тела.

Данная формула получена по результатам обработки *табл. 3.*

Вышеприведенный показатель, коэффициент учитывающий мощность рудного тела K_{hm} рекомендуется использовать при выборе оптимальной высоты добычного уступа на стадии разработки предпроектной документации в процессе проектирования объектов открытой разработки маломощных рудных тел мелкомасштабных золоторудных месторождений.

Таблица 2

Расчетные показатели потерь и разубоживание руды при мощности рудного тела $m_{р.т.}$ = 2 *м* и $m_{р.т.}$ = 4 *м* при изменении высоты уступа

Высота уступа, *м*	Вовлекаемые геологические запасы			Потери	Разубоживание	Эксплуатационные запасы		
	Руда, тыс. *т*	Сред. сод., г/т	Металл, *кг*	П, %	Р, %	Руда, тыс. *т*	Сред. сод., *г/т*	Металл, *кг*
При мощности рудного тела $m_{р.т.}$ = 2 м								
2	2500	1,6	4000	6,2	23,3	3 057,37	1,23	3 752,0
2,5	2500	1,6	4000	7,8	27,8	3 192,52	1,16	3 688,0
3	2500	1,6	4000	9,2	32,2	3 348,08	1,08	3 632,0
3,5	2500	1,6	4000	10,8	35,9	3 478,94	1,03	3 568,0
4	2500	1,6	4000	12,4	39,4	3 613,86	0,97	3 504,0
4,5	2500	1,6	4000	14	42,6	3 745,64	0,92	3 440,0
5	2500	1,6	4000	15,4	45,8	3 902,21	0,87	3 384,0
При мощности рудного тела $m_{р.т.}$ = 4 *м*								
2	2500	1,6	4000	3,1	12,8	2 778,10	1,40	3 876,0
2,5	2500	1,6	4000	3,9	15,6	2 846,56	1,35	3 844,0
3	2500	1,6	4000	4,6	18,4	2 922,79	1,31	3 816,0
3,5	2500	1,6	4000	5,4	20,9	2 989,89	1,27	3 784,0
4	2500	1,6	4000	6,2	23,3	3 057,37	1,23	3 752,0
4,5	2500	1,6	4000	7	25,6	3 125,00	1,19	3 720,0
5	2500	1,6	4000	7,7	27,9	3 200,42	1,15	3 692,0

Таблица 3

Полученные результаты проведенных исследований по определению оптимальной высоты проектного уступа

№ п/п	Мощность рудного тела, $m_{р.т.}$ (*м*)	Эмпирический коэффициент учитывающий мощность рудного тела, K_{hm}	Высота уступа, $H_у$ (*м*)	Потери, %	Разубоживание, %
1.	2	1	2	6,2	23,3
2.	3	0,83	2,5	5,2	19,9
3.	4	0,75	3	4,6	18,4
4.	5	0,7	3,5	4,3	17,3
5.	6	0,66	4	4,1	16,5

На основании проделанных исследований сделаны следующие выводы:

1. Выбор рациональной высоты уступа для отработки мелкомасштабных золоторудных месторождений имеет актуальную научную и практичную значимость для горной промышленности и требует дальнейшего детального изучения.

2. Для снижения показателей потерь и разубоживания на стадиях предпроектных и проектных работ для каждого мелкомасштабного месторождения необходимо выбирать оптимальную высоту добычного уступа в зависимости от мощности рудного тела и содержания металла в руде, а также рассматривать варианты селективной выемки рудных тел малой мощности с внесением соответствующих изменений в высоту уступа, а также рассматривать различные варианты уровня полноты извлечения запасов руды, с внесением соответствующих изменений в высоту уступа.

3. Выемочно-погрузочное оборудование необходимо выбирать в зависимости от высоты уступа, соответственно элементы и параметры системы разработки должны быть определены в зависимости от параметров горно-транспортного оборудования.

4. Для отработки рудных тел мощностью 2 *м* высота добычного уступа должна быть 2 *м*, при мощности рудных тел 4 *м* соответственно 3 *м*.

5. Из *табл. 2* следует, что при высоте уступа 2 *м* и содержании золота в геологических запасах 1,6 *г/т* содержание в добытой руде составляет 1,23 *г/т*, при этом руда становится более рентабельной для дальнейшей переработки на гидрометаллургических заводах АО «НГМК» или на участке кучного выщелачивания чем при высоте уступа 5 *м*, что во многих ранее отработанных участках были применены.

Библиографический список:

1. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. Том 1. Издательство академии горных наук. – Москва, 2001. – С. 494-500.

2. Шестаков В.А. Проектирование горных предприятий. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва: МГГУ, 2003. – С. 541-544.

3. Байков Б.Н. Снижение потерь и разубоживание руд на карьерах цветной металлургии. – Москва: «Недра», 1977. – С. 12-15.

4. Тухташев А.Б., Жабборов О.И. Методика определения показателей потерь и разубоживания для условий мелкомасштабных золоторудных месторождений. – Навои, 2020. – С. 2-22

УДК 622.235.6 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.004

SKVAJINALARNI HAVO BILAN TOZALAB BURG‘ILAGANDA HARORAT REJIMLARINI TADQIQOTI


Abduazizov N.A.,
NDKTU o‘quv ishlari
bo‘yicha prorektorб professor, Dsc

Xatamova D.N.,
NDKTU «Konchilik ishi»
kafedrasi dotsenti, PhD

Ishda siqilgan havodan tozalovchi agent sifatida foydalanish afzaliklari, skvajinani havo yordamida tozalab burg‘ilaganda harorat rejimi to‘g‘risida asosiy ma’lumotlar, skvajinaning issiqlik balansi tadqiqoti tahlili keltirilgan. Dolotadan chiquvchi siqilgan havoning haroratini o‘zgarishi analitik usulda tadqiq qilingan, burg‘ilash quvurining issiqlik balansini differensial tenglamasi keltirilgan.

Tayanch iboralar: *skvajina, tozaluvchi agent, siqilgan havo, issiqlik balansi, harorat rejimi, skvajina zaboyi, doloto, jins parchalovchi asbob, namlik, issiqlik o‘tkazuvchanlik, issiqlik miqdori, burg‘ilash quvuri, halqasimon kanal.*

В работе приведены преимущества применения сжатого воздуха в качестве очистного агента, основные сведения о температурном режиме скважины при продувке воздухом и проведен анализ исследований по изучению теплового баланса скважины. Аналитическим способом исследовано изменение температуры сжатого воздуха по истечению из долота, описано дифференциальное уравнение теплового баланса бурильной колонны.

Ключевые слова: *скважина, очистной агент, сжатый воздух, тепловой баланс, температурный режим, забой скважины, долото, породоразрушающий инструмент, влажность, теплопроводность, количество тепла, бурильная колонна, кольцевой канал.*

Tog‘ jinsini parchalovchi asboblarning harorat rejimlarini tadqiqoti shuni ko‘rsatdiki olmos tishli asboblarning harorati 600ºC gacha yetganda uning tishlarini yemirilishi (silliqlanishi), 800ºC va undan oshganda esa yorilishi, uzilib tushishi yuzaga keladi. Qattiq qotishmali tog‘ jinsini parchalovchi asboblarda esa harorat 450ºC ga yetganda matritsasining deformatsiyasi, tishlarining yemirilishi va tushib qolishi kuzatiladi [1].

Tog‘ jinsini parchalovchi asbobni sovutishning noqulay sharoitlari, skvajinani siqilgan havo yordamida burg‘ilash jarayonida namoyon bo‘ladi, bunga sabab esa, havoning massaviy sarfining, zichligining va solishtirma issiqlik sig‘imining kamligidir.

Shunday qilib, tog‘ jinsini parchalovchi asbobning ishlash jarayonida haroratini oshib ketishi, uning tishlarini abrazivlik xususiyatini va mikroqattiqligini kamayishiga olib keladi, bu esa o‘z navbatida tog‘ jinsini parchalovchi asbobning chidamliligini kamaytirib, burg‘ilash jarayoni samaradorligiga salbiy ta’sir ko‘rsatadi.

Tog‘ jinsini parchalovchi asbobning haroratini oshishi quyidagi sabablarga ko‘ra yuzaga keladi: aylanishlar soni va o‘qiy bosimni ortishi, skvajina tubini shlamlanib qolishi, yuvuvchi suyuqlikning sirkulyatsiyasini to‘xtashi yoki miqdorini kamayishi, tog‘ jinsining abrazivligiga tog‘ jinsini parchalovchi asbob matritsasining nomuvofiqligi, siqilgan havo yoki gaz-suyuqlik aralashmalari ko‘rinishidagi kichik issiqlik o‘tkazuvchan va past issiqlik sig‘imiga ega bo‘lgan yuvuvchi suyuqliklarni qo‘llash.

Skvajinaning harorat rejimi – halqasimon kanal va burg‘ilash quvurining ichki kanalida tozalovchi agentning haroratini taqsimoti. Harorat rejiming ko‘rsatkichlari ko‘plab omillarga bog‘liq [2]. Tog‘ jinslarining harorati doimiy emas, burg‘ilash jarayonida skvajinaning chuqurlashgani sayin u ortadi. Harakatlanuvchi tozalovchi agentning issiqlik almashinuvi tufayli tog‘ massividagi issiqlik balansi buziladi. Jins parchalovchi asbob tozalovchi agent qabul qiluvchi issiqlik ajratadi, shu sabab u zaboyda issiqlik manbai hisoblanadi va chiquvchi hamda kiruvchi oqimlarning issiqlik almashinuvini murakkablashtiradi. Halqasimon kanalda va burg‘lash quvurlarida ishqalanish qarshiligini engish uchun sarflangan oqim energiyasi ham issiqlik shaklida tarqalib, skvajina haroratiga ta'sir ko‘rsatadi [3].

Burg‘ilash quvurlarining skvajina devorlari bilan ishqalanishi ham mustaqil issiqlik manbaidir. Tozalash agenti sifatida siqilgan havo qo‘llanilganda, issiqlik almashinuvi jarayonlari bilan bir qatorda, og‘irlik o‘tkazish jarayonlari ham sodir bo‘ladi, bu ham haroratga ta'sir ko‘rsatadi. Tozalash agentining harorati oqim tezligiga, boshlang‘ich haroratiga, yuvuvchi muhitining tezligiga va turbulentligiga, tog‘ jinsining xususiyatlariga, burg‘ilash uskunasining konstruktiv xususiyatlariga, shuningdek burg‘ilash rejimlariga bog‘liq. Ushbu omillar skvajinaning turli chuqurliklarida turlicha ta'sir qiladi va vaqt o‘tishi bilan o‘zgaradi [2].

Magurdumov A.M. tadqiqotiga ko‘ra [4], tozalovchi havoning 30 ⁰C gacha bo‘lgan qiymati optimal harorat hisoblanib, ushbu qiymatning oshishi bilan havo massasi oqimining pasayishi tufayli skvajina zaboyini burg‘ilangan tog‘ jinsidan tozalash pasayadi.

Gorshkov L.K. tomonidan skvajinadagi aylanma muhitning issiqlik balansini o‘rganilganda, zaboyda havo oqimining kengayishi va uning quvurlar orasidagı maydonda namlanishi hisobga olinmagan [1].

Tozalovchi siqilgan havoning haroratini o‘zgarishini tadqiq qilsak. Skvajinang *dh* chuqurligida siqilgan havoning issiqlik balansini quydagicha qabul qilamiz:

burg‘ilash quvuri uchun

$$dQ_{q.m.} = dQ_{t.j.} + dQ_{ish} + dQ_{q} \quad (1)$$

quvur orasidagi maydon uchun

$$dQ_{q.m.} = dQ_{t.j.} + dQ_{ish} + dQ_{q} + dQ_{b} \quad (2)$$

bunda $dQ_{t.g.}$ – tog‘ jinsini sovutishda ajralgan issiqlik, *Dj*;

dQ_{ish} – burg‘ilash kolonnasidan chiquvchi issiqlik, *Dj*;

dQ_{q} – siqilgan havoni tortish maydonida mexanik ishi natijasida chiquvchi issiqlik, *Dj*;

dQ_{b} – namlikni bug‘lanishiga sarflangan issiqlik, *Dj.*

Tog‘ jinsini sovutishda chiqarilgan issiqlik miqdori $dQ_{t.g}$ quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ_{t.j} = dhq_t \quad (3)$$

bunda dh – skvajinaning joriy chuqurligi, m;

q_t – solishtirma issiqlik oqimi, Dj/m.

Burg‘ilash kolonna devorlaridan ıshqalanısh natıjasıda ajralib chiquvchi issiqlik miqdori dQ_{ish} quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ_{ish} = \pi kdhdt \quad (4)$$

bunda k – burg‘ilash kolonnasini issiqlik uzatish koeffitsiyenti.

Siqilgan havoni tortish maydonida mexanik ishi natijasida chiquvchi issiqlik miqdori dQ_q quyidagicha ifodalanadi:

$$dQ_q = \frac{GH}{427}dh \quad (5)$$

(1) va (2) formulalar tozalovchi havoga va uning tarkibidagi issiqlikni $d\mu$ o‘zgartirishga yo‘naltirilgan issiqlikning umumiy miqdorini ifodalaydi, demak,

$$dQ_q = Gd\mu_{b.k.} \quad (6)$$

$$dQ_{q.m.} = Gd\mu_{q.m.} \quad (7)$$

bunda $\mu_{б.к.}$ va $\mu_{q.m.}$ – mos ravishda burg‘ilash kolonnasi va quvur orasidagi maydonda tozalovchi havo tarkibidagi issiqlik, *kKal/daq*.

Kompressordan chiquvchi siqilgan havo nam va quruq fazadan iborat, shu sababdan issiqikning bir qismi namlikni bug‘lanishiga, qolgan qismi esa tozalovchi havo tarkibida issiqlikni oshiruvchi quruq fazani isitishga sarflanadi.

Burg‘ilash kolonnasida bug‘lar kondensatsiyasi mavjud bo‘lmaganligi sababli, havo oqimi tarkibidagi issiqlik o‘zgarishini politrop jarayonida ko‘rib chiqiladi va quyidagicha ifodalanadi:

$$\mu_{b.k.} = dt_{h.}c_h, \quad (8)$$

bunda t_h – havo oqimining harorati, *ºC*;

C_h – havoning issiqlik sig‘imi, *mVt/m·ºC*.

Quvur orasidagi maydonda havo oqimi tarkibida issiqlik quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\mu_{q.m.} = dt_{h.}c_h + q_n d\sigma \quad (9)$$

bunda q_n – bug‘lanishning solishtirma issiqligi, *D*j;

$d\sigma$ – havo oqimida namlikning o‘zgarishi, *kg*

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{\Delta\sigma}{H}h$$

bolsa, demak:

$$d\sigma = \frac{\Delta\sigma}{H}dh = \frac{\sigma_s - \sigma_{b.k.}}{H}dh \quad (10)$$

bunda σ_s *va* $\sigma_{b.k.}$ – mos ravishda burg‘ilanuvchi skvajina va burg‘ilash kolonnasidan chiquvchi tozalash havosining namligi.

(12) formula havoning nisbiy namligining ortishi qonuniyatini ifodalaydi, demak:

$$\omega = \omega_0 + \frac{\Delta\omega}{H}dh \quad (11)$$

bunda ω_0 – havo oqiminig nisbiy boshlangich namligi, %;

$\Delta\omega$ – joriy chuqurlikda havo oqiminig nisbiy namligini o‘zgarishi, %.

Sherban A.N. kiritgan ifodadan foydalanamiz:

$$\sigma \approx \sigma_n \omega ,$$

bunda σ_n – tuyuntirilgan havo oqimining namligi.

Shunda

$$\sigma_n = 622\frac{P_b}{P - P_b} \quad (12)$$

bunda P_b – tuyuntirilgan bug‘ning bosimi, *MPa*; P – havo oqimining bosimi, *MPa*.

Nesternko A.V. formulasiga asosan,

$$\lg P_b = 0.622 + \frac{7.5t_н}{238 + t_н} \quad (13)$$

Havo oqiminig issiqlik almashinuvini analitik o‘rganish va tenglamalar tizimining chegaraviy shartlarini aniqlash uchun oqimning termodinamik parametrlarini ko‘rib chiqamiz. Adiabatik siqishda havo oqiminning harorati:

$$T_1 = T_0 \cdot \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (14)$$

$$\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \varepsilon_1$$

deb belgilab, (14) ifodaga quyamiz, shunda:

$$T_1 = T_0 \cdot \varepsilon_1$$

yoki

$$t_1 = (t_0 + 273)\cdot\varepsilon_1 - 273 \quad (15)$$

bunda t_0 – kompressorga kiruvchi havoning harorati, ºC.

Skvajinaning joriy chuqurligi uchun zaboydagi tozalovchi havoning issiqlik balansi tenglamasi quyidagi shaklga ega bo‘ladi:

$$Gc_h(t - t_h) + Gq_n[\omega_2(nt_h + m) - \omega_1(nt + m)] = S_{zab}k_{\tau zab}(t_j - \frac{t + t_h}{2}), \quad (16)$$

bunda t – dolotodan chiqqan havo oqiminig harorati, ${}^0C$; t_h – havo oqimining boshlang‘ich harorati, ${}^0C$; c_h – havo oqimining issiqlik sig‘imi, *mVt/m·ºC*;

m – empirik koeffitsiyent, siqilgan havoning bosimi p = 5 ÷ 6 *MPa* va harorati t = 0 ÷ 60ºC bo‘lgan holda m = 0,6 ÷ 0,4;

n – empirik koeffitsiyent, siqilgan havoning bosimi p = 5 ÷ 6 *MPa* va harorati t = 0 ÷ 60ºC bo‘lgan holda n = (-0,06) ÷ (-0,09);

$k_{\tau zab}$ – skvajina zaboyida issiqlikni nostatsionar almashinuvi koeffitsiyenti;

S_{zab} – skvajina zaboyi yuzasi, m^2; t_j – skvajina zaboyida tog‘ jinsi harorati, ºC.

(16) tenglamada

$$Gc_h(t - t_h) + Gq_n[\omega_2(nt_h + m) - \omega_1(nt + m)]$$

oqimning quruq fazasini isitishga sarflangan issiqlikni, namlikni bug‘lanishiga sarflangan issiqlikni ifodalaydi.

$$S_{zab}k_{\tau zab}(t_j - \frac{t + t_h}{2})$$

Qabul qilingan adiabat jarayonida, tozalovchi havoning dolotodan oqib chiqish tezligini tarkibidagi issiqlikni o‘zgarishi orqali ifodalash mumkin, ya'ni

$$v_h = 44.7\sqrt{\mu - \mu_h} \quad (17)$$

bunda μ – jins parchalovchi uskunaga kirishda tazolovchi havo tarkibida issiqlik, *kKal/daq*;

μ_h – jins parchalovchi uskunadan oqib chiqishda tazolovchi havo tarkibida issiqlik, *kKal/daq*.

Ishqalanish natijasida mexanik energiyaning bir qismi havo oqimining haroratini oshiruvchi issiqlikka aylanadi. (17) ifodasini μ_h ga nisbatan ishlasak,

$$\mu_p = v_h - (\frac{v_h}{44.7})^2 \quad (18)$$

yoki

$$t = t_в - \frac{v_h^2}{44.7^2 c_h} \quad (19)$$

Shunday qilib, (19) formula siqilgan havo yordamida skvajinalarni burg‘ilaganda jins parchalovchi asbobdan oqib chiquvchi havo haroratini ifodalaydi. Ammo ushbu formula barcha omillarni hisobga olmaydi. Kudryashov B.B. tomonidan ilk bora burg‘ilash kolonnasi va quvur orasidagi maydonning issiqlik balansini ifodalovchi differensial tenglamalar tizimi ishlab chiqilgan [2]. Uning tadqiqotlariga ko‘ra, burg‘ilash kolonnasiga kiruvchi oqim harorati quyidagi formula orqali aniqlanadi [2]:

$$t_1 = m_1 e^{r_1 h} + n_1 e^{r_2 h} + T_0 - \sigma(\frac{Gc}{k\pi} - h) \qquad (20)$$

bunda

$$m_1 = -\frac{Ar_2 e^{r_2 h} + B}{E}$$

$$n_1 = -\frac{Ar_1 e^{r_1 h} + B}{E}$$

Burg'ilash kolonnasidan chiquvchi oqim harorati quyidagi formula orqali aniqlanadi [4]:

$$t_2 = m_2 e^{r_1 h} + n_2 e^{r_2 h} + T_0 + \sigma h \qquad (21)$$

bunda

$$m_2 = -\frac{Ar_1 e^{r_2 h} + B\frac{r_1}{r_2}}{E}$$

$$n_2 = -\frac{Ar_2 e^{r1h} + B\frac{r_2}{r_1}}{E}$$

$$A = t_{1H} - T_0 + \frac{Gc}{k\pi}\sigma$$

$$B = \sigma - \frac{k\pi}{Gc}\Delta t_{zab}$$

$$E = r_1 e^{r_1 H} - r_2 e^{r_2 H}$$

bunda

$$r_1, r_2 = \frac{\pi}{Gc}\left(\frac{k_\tau D^2}{2} \pm \sqrt{\frac{k_\tau D^2}{2} \pm k_\tau kD)}\right)$$

bunda T_0 – kon massivining harorati, ℃;

σ – geometrik gradiyent, ℃*/m*;

D, H, h – mos ravishda, skvajinaning diametri, umumiy va joriy chuqurligi, *m*;

c – tozalovchi agentning solishtirma issiqlik sig'imi, *Dj/*(*m*·℃);

G – tozalovchi agentning sarfi, *kg/s*;

Δt_3 – tozalovchi agentning haroratini o'zgarishi, ℃;

k – issiqlik uzatish koeffitsiyenti, *Vt/*(*m*·℃);

k – issiqlik almashinuvini jadallashtirilishini hisobga oluvchi koeffitsiyenti, *Vt/(m²·℃).*

Yuqorida keltirilgan ifodalar jins parchalovchi asbob tanasining haroratiga skvajina tubidagi quvvat, siqilgan havo harorati, burg'ilash uskunasining konstruktiv ko'ndalang o'lchamlari, koronkaning materiali va tog' jinsining xususiyati, harorat o'tkazuvchanlik koeffitsiyentlari, havo harakat rejimi va sarfi kabi omillarning ta'sirini kuzatish imkonini beradi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Горшков Л.К., Гореликов В.Г. Температурные режимы алмазного бурения. – М: Недра, 1992. – 173 с.
2. Кудряшов Б.Б., Кирсанов А.И. Бурение разведочных скважин с применением воздуха. – М: Недра, 1990. – 263 с.
3. Магурдумов А.М. Разведочное бурение с продувкой забоя воздухом. – М: «Недра», 1970. – 208 с.
4. Буткин В.Д., Демченко И.И. Буровые машины и инструменты: учеб.пособие. – Красноярск, СФК, 2012. – 121 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 1 (96) pp. 16-18

RESEARCH OF TEMPERATURE REGIMES WHEN DRILLING WELLS WITH AIR CLEANING

Abduazizov N.A., *Vice-rector for Educational Affairs, Professor, Dsc.*
Khatamova D.N., *Associate Professor at Mining Engineering Department, PhD.*

Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan.

Advantages of compressed air application as a cleaning agent, basic information on well temperature regime during air blowout and analysis of studies on well thermal balance are given in the paper. The change of compressed air temperature at the flow from the drill bit is investigated analytically, the differential equation of drill stem thermal balance is described.

Keywords*: well, cleaning agent, compressed air, thermal balance, temperature regime, bottom hole, drill bit, rock breaking tool, moisture, thermal conductivity, heat quantity, drill stem, annular channel.*

Bibliographic list:

1. Gorshkov L.K., Gorelikov V.G. Temperature regimes of diamond drilling. – M: Nedra, 1992. – 173 p.
2. Kudryashov B.B., Kirsanov A.I. Drilling exploration wells using air. – M: Nedra, 1990. – 263 p.
3. Magurdumov A.M. Exploration drilling with bottomhole air blowing. – M: "Nedra", 1970. – 208 p.
4. Butkin V.D., Demchenko I.I. Drilling machines and tools: textbook. – Krasnoyarsk, SFK, 2012. – 121 p.

УДК: 622.553.2
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.005

РАЗРАБОТКА ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ЯРУСОВ ШТАБЕЛЯ № 1




Тухташев А.Б.,
заведующий кафедрой
«Горное дело» НГГТУ,
д.т.н., доцент

Жабборов О.И.,
ГИП по горным работам
ЦПБ АО «НГМК»

Абдурашидов Ш.М.,
докторант кафедры
«Горное дело» НГГТУ

Абруев С.Ш.,
студент кафедры
«Горное дело» НГГТУ

Maqolada 7-gidrometallurgiya zavodi xomashyo kompleksi 1-uyumi rudalarini mavjud va taklif etilayotgan texnologik sxemalar bilan qazib olish usullari ko'rib chiqildi. Grafik chizmalar bilan uyumni qazib olish ishlari ko'rsatib berildi. 7-GMZ zavodi xomashyo kompleksi 1-uyumi rudalarini qazib olishda dastlab pog'ona o'lchamlari o'zgartirish va qiya magistral konveyerlar vositasida yordamida zavodga ruda yetkazib berish ekspluatatsiya harajatlarining sezilarli kamayishiga olib kelishi haqida xulosa qilindi.

Tayanch iboralar: *uyumni qazib olish, texnologik sxema, qiya magistral konveyer, pog'ona o'lchamlari, texnogen xosila, buldozerning unumdorligi.*

В статье рассмотрены способы отработки руды штабеля № 1 сырьевого комплекса Гидрометаллургического завода № 7 существующими и предлагаемыми технологическими схемами. Показана отработка штабеля графическими схемами. Сформулирован вывод о том, что отработка штабеля № 1 сырьевого комплекса ГМЗ-7 должна разрабатываться начиная с изменения параметров ярусов штабеля № 1 и расположением наклонных магистральных конвейеров, что может привести к снижению эксплуатационных затрат отработки и транспортирования руд.

Ключевые слова: *разработка штабеля, технологическая схема, наклонный магистральный конвейер, параметры ярусов, техногенные образования, производительность бульдозера.*

Современный мир имеет колоссальные объёмы отходов горного и обогатительного производства в виде минерального сырья с низким содержанием полезного компонента.

К таким отходам можно отнести отходы, складированные в отвалах, штабелях и хвостохранилищах, что в свою очередь даёт предпосылки назвать их полноценными техногенными месторождениями.

Количество и объёмы таких техногенных образований из года в год значительно растёт. Разработка техногенных образований позволяет решить три глобальные цели:

– во-первых, отработка недорогим способом сырья с низким содержанием полезного компонента;

– во-вторых, использование накопленных техногенных образований будет способствовать снижению отрицательного воздействия на окружающую среду;

– в-третьих, освобождение местности для следующих отходов из кучного выщелачивания.

Данная проблема технологии разработки техногенных образований минерального сырья с низким содержанием полезного компонента экономически дорогостоящая [5-8].

Одной из причин неблагоприятной экологической обстановки в Руднике ЦКВЗ расположенном в Тамдынском районе Навоийской области, юго-западнее карьера Мурунтау и других регионах Республики Узбекистан являются потенциально опасные лежалые отвалы, отходы переработки гидрометаллургических заводов и штабелей предприятий.

Большинство отвалов карьера, отходы гидрометаллургических заводов и техногенные образования кучного выщелачивания транспортировались на этих предприятиях в практически сухом состоянии, отходы накапливались десятки и более лет, и со временем техногенные образования в отвалах крупная, а в штабелях пахучая тонкодисперсная масса.

В настоящее время такие отвалы, представленные отходами цианирования, складированные на поверхности сухие насыпи, оказывающие негативное воздействие на окружающую среду.

Расположение техногенных образований кучного выщелачивания в Руднике ЦКВЗ расположенном в Тамдынском районе Навоийской области, обуславливает необходимость поиска новых решений по разработке подобных экологически опасных и золотосодержащих объектов.

Основные параметры штабеля № 1 рудника ЦКВЗ (на состояние начала 2020 г.):

– максимальная длина по верху – 2280 *м* (6 слой) и 152 *м* (7 слой);

– максимальная ширина по верху – 576 *м* (6 слой) и 523 *м* (7 слой);

– максимальная длина по подошве – 2700 *м*;

– максимальная ширина по подошве – 950 *м*.

В соответствии с инвестиционным проектом ТЭО «Строительство комплекса по переработке техногенных отходов ЦКВЗ» эксплуатируется завод ГМЗ-7, мощностью 15,0 млн *т/год*, отрабатывающий многоярусный штабель № 1 (*рис. 1*) [3] техногенных запасов (отходов кучного выщелачивания) сырья с общим объемом 215 млн *т*. Несколько лет назад благодаря сплочённой работе руководства и инженерно-технических работников комбината произведен успешный запуск перерабатывающего заво-

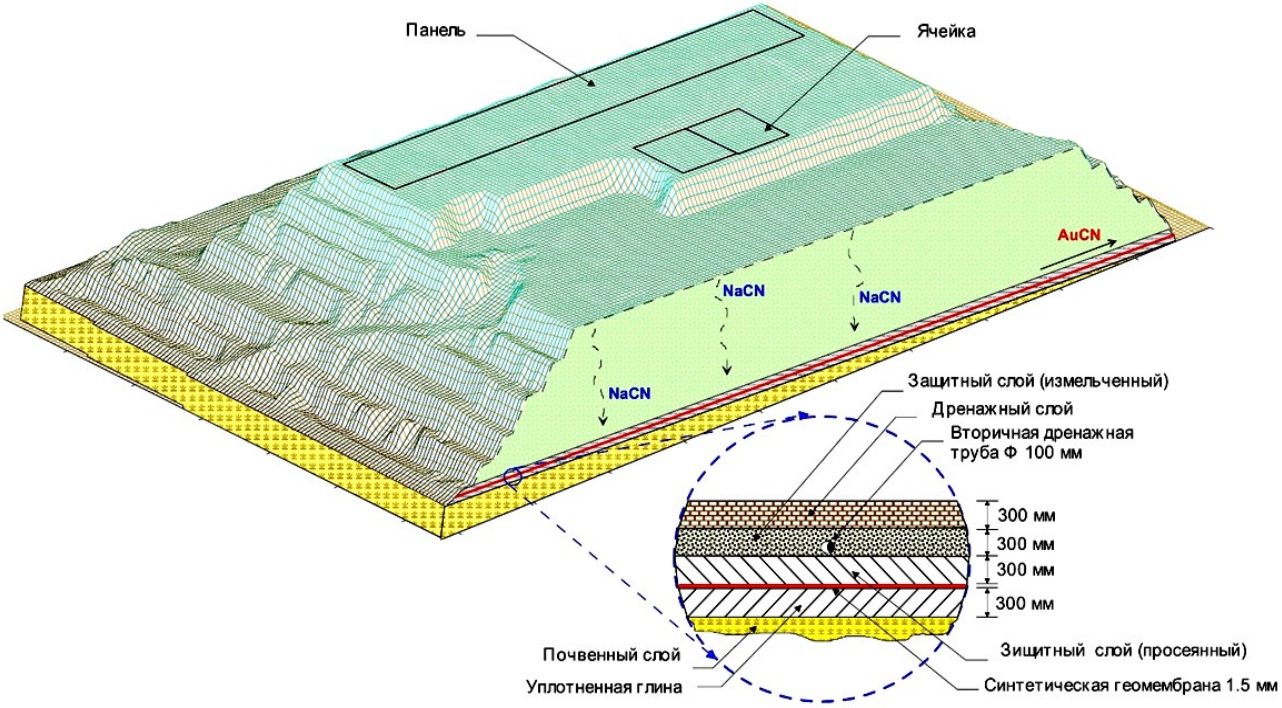


Рис. 1. Конструкция рудного штабеля

да, и завод получил название «Гидрометаллургический завод № 7» (ГМЗ-7).

Комплекс технологических процессов обеспечения завода ГМЗ-7 рудой называется «Сырьевым комплексом», который согласно проекту ТЭО состоит из работы бульдозера, фронтального погрузчика, питателя-ленточно модульного (ПЛМ-2000) и конвейеров.

Работа системы (базисная) состоит из следующих процессов:

1. Бульдозер перемещает руду на рабочий горизонт сверху вниз по откосу штабеля № 1, чем достигается шихтовка руды по высоте слоя.

2. Фронтальный погрузчик доставляет перемещенную бульдозером руду к приемному бункеру ленточного самоходного питателя ПЛМ-2000 установленного на нулевом горизонте;

3. Руда из ленточного самоходного питателя ПЛМ-2000 самоходными модулями (перегружателями-кузнечиками) перегружается на магистральный конвейер;

4. Магистральный конвейер длиной 1100 *м* транспортирует руду до следующего конвейера, который транспортирует руду на территорию завода.

Специалистами кафедры «Горное дело» НГГТУ проведены исследования по определению оптимальной технологии разработки штабеля. При этом изучены несколько вариантов:

– традиционная технология – согласно *рис. 2* [1, 2];

– применение гусеничного карьерного экскаватора с перегрузом на поточную технологию;

– разделение всего штабеля по высоте на 2 яруса отработки обеспечивая усреднение, сохраняя достигнутый уровень качества руды, подаваемый заводу.

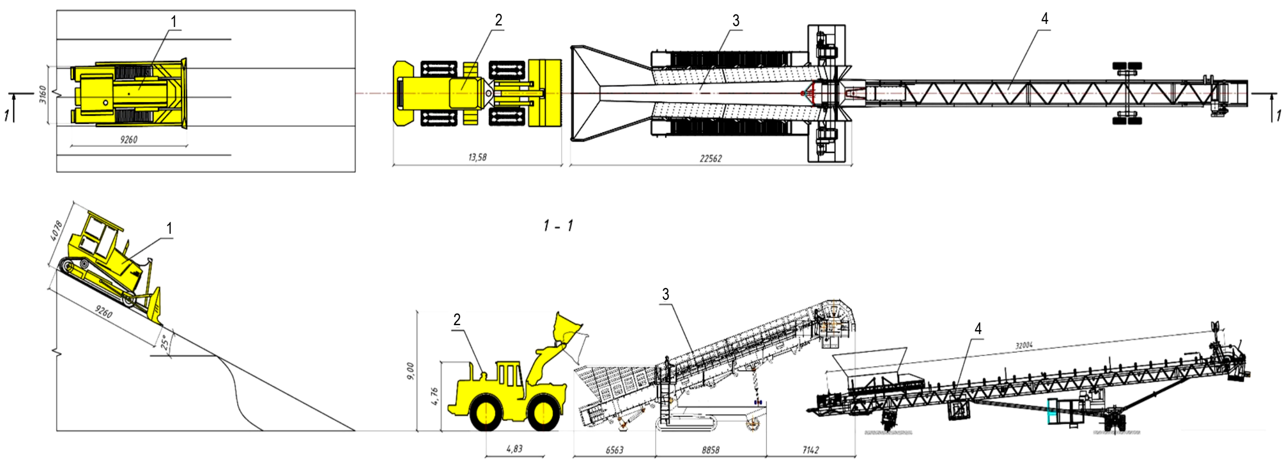


Рис. 2. Схема загрузки сырья фронтальными погрузчиками с помощью ленточного питателя на самоходные перегружатели: 1 – бульдозер; 2 – фронтальный погрузчик; 3 – ленточный питатель; 4 – самоходный перегружатель

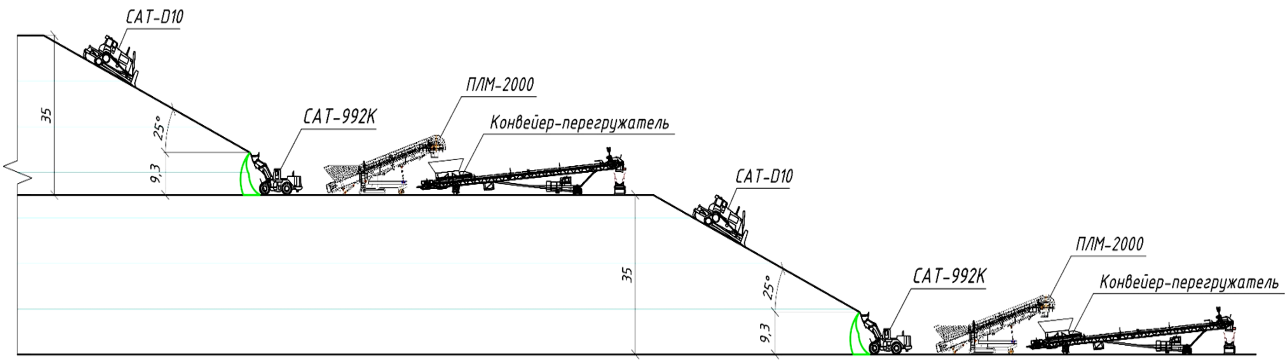


Рис 3. Предлагаемая технологическая схема для отработки штабеля № 1: *CAT-D10 – бульдозер; CAT-922K – погрузчик; ПЛМ-2000 – самоходный ленточный питатель; α ≤ – угол откоса разделенного штабеля после бульдозерного усреднения руды; H = 70 – высота штабеля; H = 35 – высота одной половины разделенного штабеля; H < 9,3 высота капания погрузчика*

Для выполнения сравнения вариантов отработки (традиционный и предлагаемый) выполним расчеты:

Определение производительности бульдозера.

Производительность бульдозера зависит в основном от мощности трактора, размеров лемеха, дальности транспортирования и свойств разрабатываемых пород (*табл. 1*).

Продолжительность рабочего цикла бульдозера определяется по формуле [4]:

$$T_{ц.р.} = \frac{l_н}{V_н} + \frac{L_г}{V_{д.г.}} + \frac{L_п}{V_{д.п.}} + t_в \text{, с}$$

где $l_н$ – расстояние набора породы, 10 *м*;

$V_н$ – средняя скорость движения бульдозера при наборе, 1 *м/с*;

$L_г$ – расстояние перемещения породы с грузом, *м*;

$V_{д.г.}$ – средняя скорость движения бульдозера с грузом, 1,5 *м/с*;

$L_п$ – расстояние обратного хода без груза породы, *м*;

$V_{д.п.}$ – средняя скорость движения бульдозера без груза, 2,5 *м/с*;

$t_в$ – время переключения скоростей и опускания лемеха, 8 *с*.

Сменная эксплуатационная производительность бульдозера определяется по формуле:

$$Q_{б.см.} = \frac{3600 \cdot V_п \cdot K_q}{T_{ц.р.} \cdot K_{р.п.}} \cdot T_{см} \cdot K_{и.б.}\text{, м}^3\text{/смену}$$

где $V_п$ – объём породы, перемещаемой бульдозером за цикл, $м^3$;

K_q – коэффициент изменения производительности бульдозера, учитывающий уклон и дальность перемещения породы, 0,6;

$T_{см}$ – продолжительность смены, 12 *ч*;

$K_{и.б.}$ – коэффициент использования бульдозера во времени, 0,8;

$K_{р.п.}$ – коэффициент рыхления породы, 1,2.

Суточная эксплуатационная производительность бульдозера определяется по формуле:

$$Q_{б.ст.} = Q_{б.см.} \cdot n_{см.}\text{, м}^3\text{/сут}$$

где $n_{см}$ – количество смен в сутки, 2.

Годовая эксплуатационная производительность бульдозера определяется по формуле:

$$Q_{б.г.} = Q_{б.см.} \cdot n_{г.}\text{, м}^3\text{/год}$$

где $n_г$ – календарные дни в году, 365.

Для предлагаемой технологической схемы (*рис. 3*) необходимо создать рабочую площадку на верхней части штабеля № 1 для выемочно-погрузочных работ. После этого расположить наклонные магистральные конвейеры на нижних трёх ярусах и можно начать одновременную отработку штабеля № 1 разделённого на 2 равные части.

Основными преимуществами предлагаемой технологической схемы отработки являются:

Таблица 1

Расчёты по производительности бульдозера

Наименование	Условное обозначение и единицы измерения	Традиционный вариант		Предлагаемый вариант	
Расстояние набора породы	$l_н$, *м*	10	10	10	10
Средняя скорость движения бульдозера при наборе	$V_н$, *с*	1		1	
Расстояние перемещения породы с грузом	$L_г$, *м*	134	89,33333	51	34
Средняя скорость движения бульдозера с грузом	$V_{д.г.}$, *м/с*	1,5		1,5	
Расстояние обратного хода без груза породы	$L_п$, *м*	144	57,6	61	24,4
Средняя скорость движения бульдозера без груза	$V_{д.п.}$, *м/с*	2,5		2,5	
Время переключения скоростей и опускания лемеха	$t_в$, *с*	8		8	
Продолжительность рабочего цикла	$T_{ц.р.}$, *с*		164,9333		76,4
Перевод секунды на час		3600		3600	
Объём породы, перемещаемых бульдозером за цикл	$V_п$, $м^3$	22		22	
Коэффициент изменения производительности бульдозера, учитывающий уклон и дальность перемещения породы	K_q	0,7		0,7	
Продолжительность смены	$T_{см}$, *ч*	12		12	
Коэффициент использования бульдозера во времени	$K_{и.б.}$	0,85		0,85	
Коэффициент рыхления породы	$K_{р.п.}$	1,1		1,1	
Сменная эксплуатационная производительность бульдозера	$Q_{б.см.}$, $м^3$/смену		3 116,896		6 728,796
Суточная эксплуатационная производительность бульдозера	$Q_{б.ст.}$, $м^3$/сутки		6 233,791		13 457,59
Годовая эксплуатационная производительность бульдозера	$Q_{б.г.}$, $м^3$/год		2 275 334		4 912 021

– уменьшение себестоимости транспортирования руды до завода ГМЗ-7 за счёт сокращения расстояний бульдозерной шихтовки и от высоты копания верхнего фронтального погрузчика;

– сокращение количества бульдозеров за счёт увеличения их производительности;

– уменьшение выхода, пыли бульдозерной шихтовки за счёет сокращения количество бульдозеров;

– управление качеством руды за счёт разделения штабеля на две части.

Наряду с преимуществами предлагаемая технологическая схема отработки имеет возможные недостатки:

– установление наклонного магистрального конвейера.

– разделение существующих мощностей на двух горизонтах, частично усложнив управление комплексами.

Для повторного формирования нового штабеля можно использовать новый установленный наклонный магистральный конвейер.

Можно увидеть из выполненных сравнительных расчётов, что предлагаемая технологическая схема имеет следующие положительные стороны:

– протяжённость перемещения груды бульдозером сокращается на 83 *м* или на 57,6%;

– продолжительность рабочего цикла бульдозера умещается 88,5 *с* или на 53,6%;

– сменная производительность бульдозера увеличивается на 3 611,9 $м^3$;

– суточная производительность бульдозера увеличивается на 7 223,8 $м^3$;

– годовая эксплуатационная производительность бульдозера увеличивается на 2 636 687 $м^3$ или на 53,6% можно сказать до 4,9 млн *т* руды.

При этом в комплекс необходимо добавить отдельный передаточный конвейер длиной до 500 *м*, что является отдельным звеном технологической цепочки.

Данные технологические схемы, как с помощью бульдозеров погрузчика, так и с применением погрузчика не являются законченными вариантами и требуют дальнейших исследований с учётом вопроса управления качеством поставляемого техногенного сырья, безопасности ведения отработки рудного штабеля, экономической целесообразности не только исследуемых технологических схем, но и всей цепочки в целом.

Библиографический список:

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – Москва.: Недра, 1978. – 544с.

2. Правила безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом. СТХ 09-69-09. ООО «Grafo print» Ташкент 2010. – 246 с.

3. Санакулов К.С. Концептуальные основы проблем переработки техногенного сырья. Горный вестник Узбекистана. – № 2. Навои, 2019 г. – С. 42-56.

4. Ялтанец И.М., Щадов М.И. Практикум по открытым горным работам. Издание 2-е. – Москва.: Недра, 2003. – С. 44-45

5. Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А., Гапонова И.В. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов // Горный журнал. – Москва: «Издательский дом «Руда и Металлы», 2017. – № 12. – С. 46-51.

6. Юркевич Н.В., Бортникова С.Б., Оленченко В.В. Оценка современного состояния хвостохранилища золоторудного производства: ценные и токсичные компоненты // Интерэкспо Гео-Сибирь. Новосибирск – 2017. – С. 113-117.

7. Трубецкой К.Н., Захаров В.Н., Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В. Эффективные технологии использования техногенных георесурсов - основа экологической безопасности освоения недр // Горный журнал. – № 5. – Москва: «Издательский дом «Руда и Металлы», 2016. – С. 34-40.

8. Саданов Ш.Н., Залевская К.Н., Кирков А.Е., Гавриленко В.В. Стратегия вовлечения в эксплуатацию техногенных золотосодержащих образований в свете экологически сбалансированного развития горнопромышленного региона // В сборнике: Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие. Челябинск – 2022. – С. 52-53.;

9. Рабочий проект 302 – 111 - «Модернизация участка по транспортировке руды с ПВ-1 рудника "ЦКВЗ" на ГМЗ-7 с применением роторного экскаватора», разработанный ЦПБ АО «НГМК». Навои – 2022 г. – 44 с.

УДК 669.74 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.006

TUZLARNING HOSIL BO‘LISH SHAROITLARI, TARKIBI VA XALQ XO‘JALIGIDA QO‘LLANILISH ISTIQBOLLARI (MARKAZIY QIZILQUM MISOLIDA)




Sharipov Sh.F.,
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Navoiy bo‘limi bo‘lim boshlig‘i., PhD., k.i.h.

Fatxullayeva Z.M.,
O`zbekiston Milliy universiteti «Geodinamika va tektonika» kafedrasi mudiri

Umaraliyev A.U.,
O‘zbekiston Respublikasi Iqtisodiyot va moliya vazirligi Tog‘-kon va metallurgiya sanoatini rivojlantirish, moddiy balanslarini shakllantirish bo‘limi bosh mutahassisi

Jumanazarov Sh.Sh.,
Islom Karimov nomidagi TDTU tayanch doktoranti

Maqolada Markaziy Qizilqumdagi zamonaviy tuz ko‘llari haqida umumiy ma’lumot berib o’tilgan, bundan tashqari tuzli jinslarning hosil bo‘lish sharoitlari, tuz to‘planish jarayonlari to’g’risidagi ma’lumotlar yoritib o’tilgan. Oldingi olib borilgan ilmiy-tadqiqot ishlari tarixi tasvirlangan shuningdek, Lavlakan ko’li va Saylakuduk konlari tuzlarining kimyoviy tarkibini tahlil qilish natijalari keltirilgan. Tuzquduq ko‘li uchastkasining kosmik tarkibiy sxemalari keltirilgan. Tuzlarni xalq xo‘jaligida qo‘llanilish istiqbollari batafsil yoritib o‘tilgan.

Tayanch iboralar: *mineral tuzlar, kosmik tarkibiy sxemalar, mineral, karbonat, tuzli yotqiziqlar, kimyoviy tarkib, evoparitlar, moddiy tarkibi, mutloq balandlik.*

В материале приведена общая информация о соленосных озерах Центральных Кызылкумов, кроме того, представлены данные об условиях образования соляных пород, процессах соленакопления. Дана история предшествующей научно-исследовательской работы, а также представлены результаты анализа химического состава солей озера Павлакан и месторождения Сайлакудук. Приведены космические структурные схемы участка озера Тузкудук. Подробно рассмотрены перспективы применения солей в народном хозяйстве.

Ключевые слова: *минеральные соли, космические структурные схемы, минеральные, карбонатные, солевые отложения, химический состав, эвапариты, вещественный состав, абсолютная высота.*

Qizilqum hududining past tekisliklaridagi mavsumiy yog‘ingarchilik va yer osti suvlari bilan to‘lib, yoz oylarida bo‘g‘lanishning ko‘p bo‘lishi natijasida qurib qoladigan ko‘llardagi tuzlarning kimyoviy va moddiy tarkibini o‘rganish, ularni yuzaga kelish sabablarini hamda ushbu tuzlardan xalq xo‘jaligida foydalanish istiqbollarini ilmiy asoslash, shuningdek rivojlantirish uchun istiqbolli bo‘lgan maydonlarni bashoratlash hozirgi kunda eng dolzab hamda muhim vazifalardan biri hisoblanadi.

Tuzli jinslarning hosil bo‘lish sharoitlari, tuz to‘planish jarayonlari to‘rtlamchi davrning qurg‘oqchil iqlim sharoitlari to‘g‘risidagi so‘nggi tadqiqotlar o‘tgan asrning 80-yillarida ustoz-olimlarimiz I.V. Rubanov va D.P. Eshniyozovlar tomonidan amalga oshirilgan. Shu bilan birga, Markaziy Qizilqumning ko‘pgina ko‘llarida hozirgi kunda mavjud va yangi hosil bo‘lgan tuzlar har bir hududda o‘zaro farq qiladigan turlicha tarkibga ega hisoblanadi va ularni kompleks o‘rganish bugungi kunda katta ahamiyat kasb etadi.

Kontinental galogenezga oid tadqiqotlar 1957 yilda Geologiya va geofizika instituti olimlari tomonidan olib borilgan. Orol dengizining tub cho‘kindilarini o‘rganish natijasida (yangi mavzu bo‘yicha) suvda eruvchan tuzlarning (mirabilit va b.) to‘planishi aniqlangan (Rubanov, 1974). Orol dengizi faqat nomi bilan dengiz bo‘lganligi sababli uning cho‘kindilarini ko‘l-kontinental deb atash to‘g‘riroq bo‘ladi. Chunki, ushbu cho‘kindilar tarkibida tuzli ko‘l xavzalarida hosil bo‘ladigan tuzlarning mavjudligi aniqlangan.

Olib borilgan ilmiy-tadqiqot natijalarga qaramay, tuzlarning yangi to‘planish joylari va minerallashgan zonalarning litologik-geokimyoviy tarkibining o‘ziga hos xususiyatlari bilan bog‘liq bo‘lgan bir qator hal etilmagan muammolar mavjud.

Markaziy Qizilqumning tuz ko‘llari va tuz konlari haqidagi birinchi ma’lumotlar 19-asr oxirida G.B. Leonov (1896, 1897), N.I. Barbot-de-Marni (1874-yil), I.I. Gerasimov va P.K. Chixachevlar (1931-yil) tomonidan kiritilgan. Biroz vaqt o‘tgach, 1934-1935 yillarda Qizilqumda N.I. Plotnikov va A.M. Bugrova gidrogeologik tadqiqotlar olib borganlar. 1936 yilda A.S. Adelung, S.A. Kushnar, P.K. Chixachev va B.I.Markelovlarning 1:50000 masshtabdagi geologik tasvirga tushirish ishlarining ko‘lami Kuldjuktau va Aznektau tog‘larining paleozoy tepaliklari hamda Qizilqumning g‘arbiy qismi va Kenimex rayonini qamrab olgan [1].

Kimyoviy yo‘l bilan to‘yingan tuzli eritmalardan tuz kristallarining cho‘kishi tufayli hosil bo‘lgan tuzli yotqiziqlar evaporitlar deb ataladi. Qatlamli tuzilishga ega bo‘lgan evaporitlar sho‘r ko‘llarda yoki to‘siqlar bilan chegaralangan dengizlarning sayoz chekkalarida hosil bo‘ladi. Evaporitlarning hosil bo‘lishidagi muhim shart-bug‘lanishdir. Bunday sharoit quruq va issiq iqlimli o‘lkalarda kuzatiladi. Kuchli bug‘lanish natijasida suvda erigan tuzlarning konsentratsiyasi tobora oshib boradi va to‘yinish darajasiga yetganidan so‘ng cho‘kmaga o‘ta boshlaydi.

Ochiq dengiz suvlarida erigan tuzlarning miqdori to‘yinish darajasidan ancha past va shuning uchun ham ularda tuzli yotqiziqlar hosil bo‘lmaydi.

Issiq va quruq o‘lkalarda dengizning asosiy havzasidan to‘siqlar bilan ajralgan qismida (laguna, qo‘ltiq, marsh) kuchli bug‘lanish natijasida erigan tuzlarning konsentratsiyasi keskin oshib ketishi mumkin. Bunda eritmadan tuzlarning kristallanib cho‘kmaga o‘tishi kuzatiladi.

Odatda dengiz suvi bug‘langanda birinchi navbatda undan karbonatlar, keyinchalik bug‘lanish davomida tuzlarning konsentratsiyasi

4 marta oshganda sulfatlar, 12 marta oshganda bishofit cho‘kmaga o‘tadi. Bu turli tuzlarning suvda eruvchanligi va bevosita to‘yinish darajasi bilan bog‘liqdir.

Sho‘r suvlardan tuzlarning cho‘kmaga o‘tishi N.M.Straxov bo‘yicha uch bosqichda amalga oshadi:

1. Karbonatli bosqichda havza suvining sho‘rligi 3,5 dan 14% gacha bo‘lganda oldin ohaktoshlar va keyinchalik dolomitlar cho‘kmaga o‘tadi. Dolomitlarning ohaktoshlardan keyinroq cho‘kmaga o‘tishi ularning suvdagi erish darajasining yuqoriligi va magniy miqdorining kalsiyga nisbatan kamligi bilan belgilanadi;

2. Sulfatli bosqichda havzaning sho‘rligi 14 dan 28% gacha bo‘lganda gips va angidrit cho‘kmaga o‘tadi;

3. Xloridli bosqichda havzaning sho‘rligi 28% dan oshganda oldin osh tuzi va keyinchalik kaliy-magniy tuzlari cho‘kmaga o‘ta boshlaydi [1].

Dengiz suvida eng ko‘p miqdorda osh tuzi erigan bo‘ladi. Uning miqdori erigan tuzlarning 86% ini tashkil etadi. Shunga qaramasdan u karbonatlardan va sulfatlardan keyin cho‘kmaga o‘tadi.

Hozirgi mavjud ko‘llarning ko‘pchiligida asosan dengiz suvida ikkinchi darajali yoki qo‘shimcha tarzida uchraydigan tuzlar va radikallar bo‘ladi. Ishqoriy ko‘llarda natriy karbonati, boshqalarida esa natriy va magniy sulfatlari yoki magniy xlorid miqdori ko‘p bo‘ladi. Demak, aksariyat sho‘r ko‘llarda erigan tuzlarning tarkibi dengiz suvinikidan ancha farq qiladi.

O‘zbekistonning g‘arbiy qismidagi kontinental galogen formatsiya asosan to‘rtlamchi davr yotqiziqlarida mavjud va hozirgi zamon sho‘r ko‘llarda cho‘kmaga o‘tmoqda. Bu yerda osh tuzi Borsakelmas, Koraumbet va Qamisbuloq konlarida, mirabilit Tumryuq konida, epsomit Qo‘shqanotov konida mavjud.

Hozirgi davrda kontinental galogenez jarayonlari Respublikamizning tekislik va past tog‘li cho‘l hududlarida sodir bo‘lmoqda. Havoning quruqligi va yuqori harorati namlikning intensiv bug‘lanishiga olib kelyapdi. Bu esa, o‘z navbatida, yer ustidagi tuproq cho‘kindilarining umumiy sho‘rlanishiga olib keladi. Tuzlar yer usti va yer osti suvlari to‘plangan oqavasiz botiqliklarda to‘planadi. Bu hodisa yer osti suvlarining kapilyar ko‘tarilishi natijasida sho‘rlanish sodir bo‘ladigan tekisliklarda hamda suv bilan tuz kirmaydigandek tuyuladigan suv havzalarini ajratuvchi tizmalarda ham kuzatiladi. Shunday qilib, Markaziy Qizilqumning ayrim suv havzalaridagi tizmalarda qalinligi 10-15 *sm*ga yetadigan, asosan ustunsimon shakldagi gips qatlamlarining yer yuzasiga yaqin yotqiziqlarini kuzatish mumkin.

Kontentental tuz konlarini tadqiq etishda O‘zbekistondagi tuz yotqiziqlarining qatlamlilik darajasini aniqladik. Soha bo‘yicha taniqli olimlar tomonidan hamda geologiya bo‘yicha maxsus va ilmiy adabiyotlarda tuzlarning to‘planish va yotqiziqlarga oid ma’lumotlarni qiyoslab, ularni shakllanish tezligi Fiveg bo‘yicha bir yilda o‘rtacha 5-8 *sm* ekanligini xisobga olib, Markaziy Qizilqum konlarida tuz to‘planishlarining qalinlashish tezligi xisoblash mumkin.

Respublikamizdagi tuz ko‘llarida tuz to‘planishi asosan aralash turda bo‘lib, ayrim hollarda yopiq havzalarda chuqur plast qatlamli va ochiq havzalarda relikt-daryolar ustunlik qiladi, degan xulosaga keldik. Ushbu xulosamizni O‘zbekistonning eng muhim tuzli xavzalaridagi suv va to‘yingan sho‘r suvlarning xlor-brom (267 dan 44725 gacha, okean uchun esa 293 ga teng), kaliy (0,58 dan 28,0 gacha) va metamorfizatsiya (0,01 dan 29,5 gacha) koeffitsiyentlarining keskin o‘zgarishi tasdiqlaydi [2].

Lavlyakan guruhidagi ko‘llarining kimyoviy tarkibi o‘rganilganda, ushbu ko‘llar yaqin joylashganligiga qaramay, ayrim ko‘llardagi tuzlarning tarkibi va ayniqsa kuz mavsumidagi kristallararo to‘yingan sho‘rlari bir-biridan farq qilishi aniqlandi (*1-jadval*). Lavlakan ko‘llari guruxi asosan astraxanitlardan iborat. Lavlakan guruhining yer osti suvlari va to‘yingan sho‘r suvlari tarkibini o‘rganish maqsadida o‘tkazgan kimyoviy tahlilimiz natijalari kristallararo to‘yingan sho‘r suv hamma joyda xlor-magniyli tarkibga ega ekanligini ko‘rsatdi. Lavlakan-3 ko‘lida esa magniy xlorid taxminan 100% ni tashkil etishi aniqlandi.

O‘tkazgan kimyoviy tahlillarimiz natijasida Tuzquduq ko‘lining to‘yingan sho‘r suvlarida brom miqdori yuqori darajada – 852 *mg/l* ekanligi ma’lum bo‘ldi.

Saylaquduq ko‘lining kimyoviy tarkibini o‘rganish natijalari *2-jadvalda* keltirilgan. Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, tuz konlari orasida natriy sulfatning ancha toza turlari mavjud bo‘lib, natriy xloridning juda kam miqdordagi aralashmasi ham o‘rin olgan. Loyli mirabilit tarkibida 5% dan ortiq magniy karbonat va taxminan 14% – qumli-gilli moddalar aniqlandi. Dastlabki hisob-kitoblarimizga ko‘ra, ko‘lda mirabilit zahirasi 0,5 *million tonnadan* ortiq bo‘lish mumkin [3]. Natijalarning ob’ektivligi va xulosalarning asoslanganligini mustahkamlash maqsadida Yerni sun’iy yo‘ldosh orqali zondlash jarayonida tushirilgan tasvirlarini tematik qayta ishlash metodidan foydalandik.

Sun’iy yo‘ldoshdan tushirilgan tasvirlarini tematik qayta ishlash quyidagi turlarni o‘z ichiga oladi. Asosiy komponentlar tahlili – bu ko‘p spektrli korrelyatsiya ma’lumotlarini tahlil qilish metodidir (Shovengerdt, 2010). Spektral diapazonning oshib ketish natijalari jinslar tarkibining xilma-xilligi haqida yangi ma’lumotlarni beradi. Ma’lumotlarni ishlash metodlari yordamida olinadigan natijalarga asoslanib, jinslarning tarkibi va ularning yoshiga mos keladigan spektral fototon aniqlanadi (ustun bo‘lgan sinish materialining tarkibi muayyan bir qatlamda tarqalish maydonining rangini belgilaydi) [3-4].

Radiometrik spektral tahlil (RST) metodi bilan olingan ma’lumotlarni qayta ishlash natijasi aniq fototonning ikkita xususiyatini ko‘rsatdi: birinchi fototon – pushti rangdan jigarranggacha, ko‘lni o‘rab turgan barcha turdagi jinslarga mos keladi; ikkinchisi – oqdan och ko‘k ranggacha bo‘lib, sho‘rlangan tuproqlarga va tuz to‘planish joylariga to‘g‘ri keladi. Tuzquduq tuz ko‘lining chiziqli blok 3D ko‘rinishi *1-rasmda* berilgan.

Hydrothermal composition metodini qo‘llash orqali sho‘rlanish va tuproq degradatsiyasining darajasi bilan bog‘liq bo‘lishi mumkin bo‘lgan bir nechta rang anomaliyalarini aniqladik. Ta’kidlash joizki, bitta ishlov berish metodini qo‘llash orqali o‘rganilayotgan hudud to‘g‘risida to‘liq ma’lumot mazmunini olib bo‘lmaydi. Shundan kelib chiqib, har bir uchastka to‘g‘risida maksimal darajada ma’lumot olish uchun turli metodlar qo‘llanildi. Tuproqning sho‘rlanishi degradatsiyaning asosiy belgilaridan biri bo‘lib, o‘simlik qoplamining mig-

1-jadval

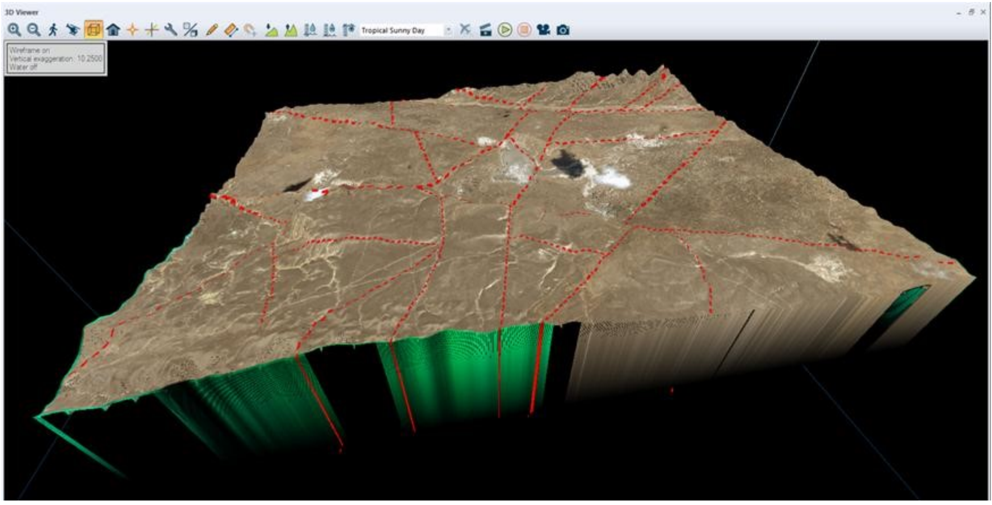
Lavlyakan gurhidagi ko‘llar tuzlarining kimyoviy tarkibi

Chuqurlik, *sm*	Ionlar miqdori, *g/%*						Erimaydigan qoldiq	Suv	Miqdor
	Ca	Mg	N_3	NCO_3+CO_3	SO_4	Cl			
Galit (Lavlakan-1 ko‘li)									
5	0,50	1,19	34,48	–	8,31	51,41	0,20	4,04	100,13
Astraxanit (Lavlakan-3 ko‘li)									
1,40 *m*	1,61	6,69	13,67	–	50,21	6,38	1,60	18,88	99,04
5	–	–	38,65	0,61	2,47	57,43	0,36	–	99,54
5	–	0,49	38,10	0,61	3,29	57,45	–	–	99,94

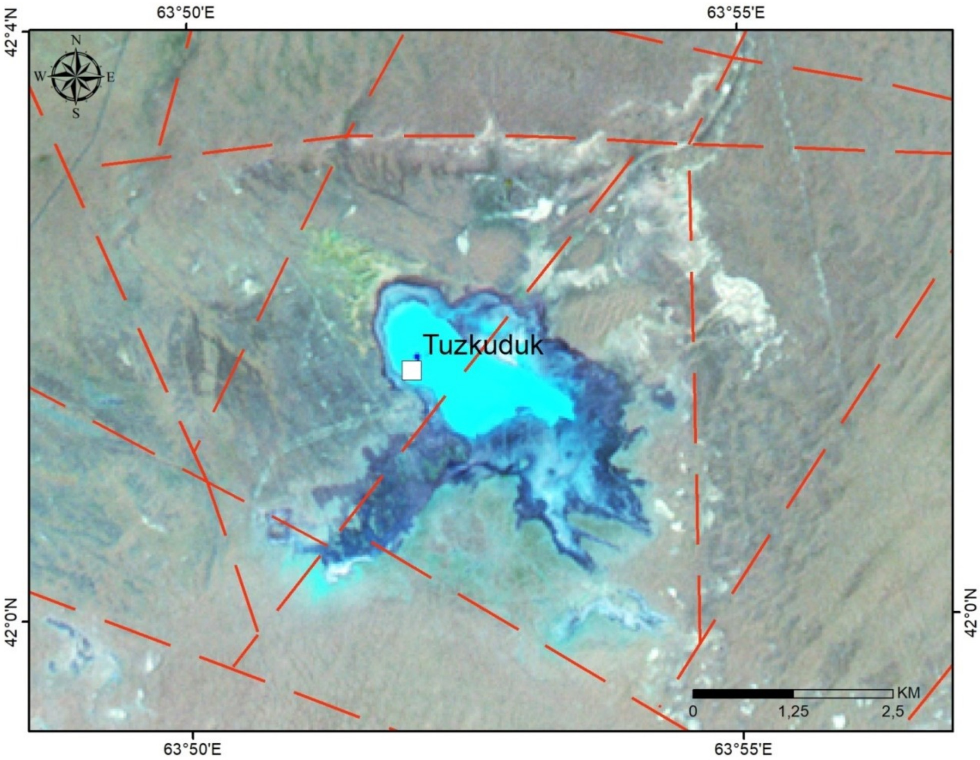
2-jadval

Saylaquduq konidagi eriydigan tuzlarning kimyoviy tarkibi

№	Namuna olingan joy	Namuna nomi	Erima-gan qoldiq	H_2O	Cl		SO_4		Na		K		Ca		Mg		Miqdor, %
					g/%	*g/ekv*	*g/%*	*g/ekv*	*g/%*	*g/ekv*	*g/%*	*g/ekv*	*g/%*	*g/ekv*	*g/%*	*g/ekv*	
1	Saylau-quduq koni	Galit	2,78	47,82	0,42	11,99	33,08	688,15	15,22	662,16	izlari		0,60	29,99	0,09	7,99	100,01



1-rasm. Tuzquduq tuz ko'lining chiziqli blok 3D ko'rinishi



2-rasm. Tuzquduq ko'li uchastkasining kosmik tarkibiy sxemasi (1:50 000 masshtabda)

ratsiyasiga ta'sir ko'rsatadi. O'simlik qoplamini masofadan turib zondlash metodlari vositasida doimiy monitoring qilish orqali sho'rlangan maydonlarning tarqalishini bashorat qilish va oldini olish mumkin.

Tuproq qoplamini o'rganishning masofaviy zondlash usullari tuproqning kelib chiqishi va unda sodir bo'lgan ikkilamchi o'zgarishlar darajasi har xil bo'lganligi sababli, turli spektral zonalarning elektromagnit to'lqinlarini turlicha aks ettirishi, yutishi va chiqarishiga asoslanadi.

Markaziy Qizilqumdagi tuproqlarning tabiiy sho'rlanishini turli davrlarda sun'iy yo'ldoshdan olingan kosmik tasvirlar yordamida o'rgandik [4]. Sho'rlangan tuproqlarni ajratib olish uchun biz uchastkalarning sho'rlanish darajasini ular bilan bog'liq holda olingan spektral xarakteristikalar bo'yicha aniqlash imkonini beruvchi etalonlardan foydalandik.

Etalon sifatidagi namuna asosida Markaziy Qizilqumning sho'rlangan maydonlarini aniqladik. Shundan so'ng, ajratilgan maydonlar ko'rsatkich-larining statistik tahlilni o'tkazdik. Tahlil natijasida 1988-2014 yillardagi Markaziy Qizilqum hududining iklim uzgarishini manitoring olib borildi va sho'rlanish zonasini ko'rsatuvchi jadval tuzildi. Ushbu jadval bizga tuproqning sho'rlanish dinamikasini kuzatish imkonini berdi. Masalan, 2000 yilda Markaziy Qizilqumda tabiiy-iqlim o'zgarishlari tufayli sho'rlanish darajasi yuqori, ya'ni 10% ga yaqin bo'lgan.

Sho'rlanish tuproq degradatsiyasining asosiy belgilaridan biri bo'lib, o'simlik qoplamining migratsiyasiga salbiy ta'sir qiladi. Masofadan zondlash usuli bilan sun'iy yo'ldoshdan olingan kosmik tasvirlarni o'rganish va tahlil qilish orqali o'simlik qoplami va tuproq sho'rlanishining doimiy monitoringini tashkil etish hududlarda sho'rlanishning tarqalish ehtimolini yetarli darajada aniqlik bilan bashorat qilish hamda yuzaga kelishi mumkin bo'lgan salbiy oqibatlarni profilaktika qilish va oldini olish imkonini beradi. Markaziy Qizilqumni strukturaviy xususi-yatlarining tahlili strukturalar-ning subkengliklarda – markaz va sharqda hamda g'arb-shimoli-g'arbiy tomonlari esa g'arbda yoyil-ganligini ko'rsatdi [5].

Umuman olganda, bu tuzilmalar so'nggi paleozoyning murakkab burmali to'qnashuv strukturasini hosil qilgan bo'lib, turli tiklik va cho'kish yo'nalishidagi surish tekisliklari bilan ajratilgan tektonik plitalar (qopqoqlar) to'plamidan iborat. Ular turli xildagi tik va cho'kish yo'nalishidagi surish tekisliklari bilan ajratilgan va ko'pincha, turli plitalarda mustaqil stratigrafik bo'limlarga ega bo'ladilar.

Xulosa qilib aytish mumkinki, Markaziy Qizilqum hududida sho'r botqoqlar va sho'r ko'llar egallagan keng maydonlar mavjud bo'lib, ularda asosan natriy xlorid sho'rlanishi bor ekanligi aniqlangan. Sulfat-natriy va sulfat-natriy-magniyli sho'rlanish nisbatan kam rivojlanganligi ko'rsatildi bundan tashqari, sho'r ko'llardan olingan suvlarni kimyoviy tahlil qilish natijasida quyidagilar aniqlandi:

Tuz-Quduq ko'lining to'yingan sho'r suvlarida eng ko'p brom miqdori (852 *mg/l*); Lavlakan ko'l guruhida brom miqdori qayd etilgan bo'lib, Lavlakan-1 ko'lida – 612,4 *mg/l*; yod hech qaysi ko'lda sezilarli konsentratsiyalarni hosil qilmaganligi isbotlandi. Tuzlarning xalq xo'jaligida shuningdek kimyo sanoatida, qurilishda va meditsinada keng qo'llaniladi. Osh tuzi xalq xo'jaligining 1500 dan ortiq sohalarida qo'llaniladi. Uning asosiy qismi (60-65%) oziq-ovqat maqsadlarida va qolgan qismining deyarli barchasi kimyo sanoatida ishlatiladi.

Oziq-ovqatda foydalaniladigan osh tuzi tarkibida NaCl miqdori 96,5% dan kam bo'lmasligi, Ca-0,8%, Mg-0,25 va erimaydigan qoldiq 1-1,0% dan ortiq bo'lmasligi lozim. Kaliyli tuzlar mineral o'g'it sifatida qo'llaniladi. Kaliy, fosfor va azot kabi, qishloq xo'jalik ekinlari hosildorligining garovi hisoblanadi. Natriy sulfatlari esa asosan shisha sanoatida foydalaniladi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Рубанов И.В. Современные солевые отложения Центральных Кызылкумов. – Ташкент: Изд-во: «Фан», УзССР, 1961 г. – 71 с.

2. Рубанов И.В. Неоген-антропогеновые сульфатоносные образования. В кн. Послепалеозойские отложения Узбекистана. – Ташкент: Изд-во: «Фан», УзССР, 1973 г. – С. 33-38.

3. Рубанов И.В. и др. Хлормагниевые растворы (бишофит) Лявляканских озер Кызылкумов – лечебное полезное ископаемое. Узбекский геологический журнал. – № 5. – Ташкент: Изд-во: «Фан», УзССР, 1991 г. – С. 23-28.

4. Шарипов Ш.Ф., Мирзаев А.У. Минеральные соли в современных озерах Центральных Кызылкумов. Горный вестник Узбекистана. – № 4 (87). – Навои, 2021 г. – С. 46-49.

5. Шарипов Ш.Ф., Мирзаев А.У. Минеральные соли современных озер Тузкудук и Сайлякудук в Центральных Кызылкумах // Горный вестник Узбекистана. – № 1 (90). – Навои, 2022 г. – С. 53-57.

UDK 669.74

DOI:10.54073/GV.2024.1.96.007

«OLMALIQ KMK» AJ DA RUX KEKLARINI QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH

Yakubov M.M.,
«MISiS» Fan va texnologiya Universiteti Olmaliq filiali «Metallurgiya» kafedrasi professori t.f.d.

Xoliqulov D.B.,
TDTU Olmaliq filiali direktorining ilmiy ishlar va innovatsiyalar bo'yicha o'rinbosari, t.f.d., professor

Xaydaraliyev X.R.,
TDTU Olmaliq filiali «Metallurgiya» kafedrasi doktoranti

Yoqubov O.M.,
«MISiS» Fan va texnologiya universiteti Olmaliq shahridagi filiali «Metallurgiya» kafedrasi assistenti

Chiqindisiz texnologiyani joriy etish va yuqori sifatli rux ishlab chiqarish rux kontsentratlarini gidrometallurgik usulda qayta ishlash orqali amalga oshirilishi mumkin, bunda kuyindi sulfat kislotasi bilan tanlab eritiladi, bunda rux sulfat eritmasi (tozalashdan keyin u elektrolizga o'tkaziladi) va qattiq qoldiq, qayta ishlanishi qiyin bo'lgan mahsulot – kek hosil bo'ladi, shu tarzda rux keklari «Olmaliq KMK» AJda ham ishlanadi. Rux keklarini qayta ishlashning asosiy usuli pirometallurgik jarayon – Vels pechida ishlov berish, 1100-1200ºC haroratda qimmat koksni qaytaruvchi vosita ishtirokida, uni yo'qotish uchun gidrometallurgik usulda qayta ishlash bo'yicha tadqiqotlar olib borilmoqda. Rux kuyundilarini yuqori haroratda sulfat kislota bilan tanlab eritish sulfat kislota bilan 4 soat davomida, konsentratsiyasi 190 g/l, harorat 90ºC, eritmaga ruxning ajratib olinishi 98,5% ni tashkil etgan holda o'zini samarali ekanligini isbotladi.

Taynch iboralar: *rux, kek, jarayon, tanlab eritish, konsentrat, kuyindi, ekstraksiya, eritma, klinker, qattiq va suyuq holat, koks.*

Внедрение безотвальной технологии и получение цинка высших марок, возможно при использовании гидрометаллургического способа переработки цинковых концентратов, в котором огарок подвергают сернокислотному выщелачиванию, при этом образуется сульфат цинка (после очистки он передается на электролиз) и твердый остаток трудно перерабатываемый оборотный продукт-кек, таким способом работают и на АО «Алмалыкский ГМК». Основным методом переработки цинковых кеков является пирометаллургический процесс – вельцевание, при температуре -1200ºС в присутствии восстановителя дорогостоящего кокса, чтобы его исключить ведутся исследования по переработке гидрометаллургическим способом. Высокотемпературное сернокислотное выщелачивание цинковых кеков хорошо зарекомендовало себя при выщелачивании серной кислотой в течение 4 часов, концентрации 190 г/л, температуре 90ºС, извлечение цинка в раствор при этом составляет 98,5%.

Ключевые слова: *цинк, кек, процесс, выщелачивание, концентрат, огарок, извлечение, раствор, клинкер, твёрдое и жидкое состояние, кокс.*

Hozirgi kunda rux saqlovchi xomashyoni kompleks qayta ishlashga katta e'tibor qaratilmoqda, shuning uchun rux ishlab chiqarishda rux konsentratlarini gidrometallurgik qayta ishlash usuli "Olmaliq KMK" AJ da ham qo'llaniladi. Ushbu usuldagi asosiy jarayonlardan biri rux kuyindilarini tanlab eritish jarayoni hisoblanadi. Bu jarayon rux va ba'zi bir qimmatbaho metallar eritmaga maksimal ajralishi, eritmaning unsur elementlar bilan minimal ifloslanishi bilan sodir bo'ladi, bunda eritmaga o'tmagan qattiq qoldiq (rux keki) keyingi ajratish operatsiyalari, ya'ni qo'shimchalardan tozalash va elektroliz jarayonlari uchun zararli hisoblanadi. (rux keklari dastlabki xomashyoga nisbatan 20-23% miqdorida hosil bo'ladi). Shu sababli rux keklari eritmadan filtrlash orqali ajratib olinib keying qayta ishlash jarayoniga yuboriladi.

Rux kontsentratlarini gidrometallurgiya usulida qayta ishlashning navbatdagi bir xil darajada muhim bosqich rux konsentratlarini tanlab eritish jarayonida olingan rux kekini (qattiq qoldiq) qayta ishlashdir [1, 2].

Hozirgi vaqtda rux konsentratlarini tanlab eritish jarayonining qattiq qoldiqlarini qayta ishlashning asosiy usuli pirometallurgik usul bo'lib, «Olmaliq KMK» AJda ham Velslash jarayoni qo'llaniladi. Velslash jarayoni rux ajratib olish darajasining yuqori ko'rsatkichlariga (90% dan ortiq) erishish imkonini beradi, lekin bu juda qimmat koks manbasini yuqori sarfi orqali amalga oshadi.

Koks sarfi kek massasiga nisbatan 50% ga yetadi. Bu jarayon yakunida rux tarkibli uchirmalar (vels oksidi) pechning gazoxod qismida tutib qolinadi va ko'p tubli pechlarda kuydirilib tanlab eritish bo'limiga yuboriladi, shuningdek, bu jarayondan mis tarkibli texnogen chiqindi klinker olinadi [2].

Rux ishlab chiqarishning texnogen chiqindilari, asosan, shaxtali pechlarda eritish orqali qayta ishlanadi. Klinkerni shaxtali pechlarda qayta ishlash uchun briketlash va granulalash changlanish va pech devorlarida turli xil eritma qatlamlari hosil bo'lishini oldini oladi va texnologik jarayon borishini yaxshilaydi. Biroq, shaxtali eritish jarayoni qimmat yoqilg'i – koksni iste'mol qilishni talab qiladi. Klinker sanoat pechlarida qayta ishlanadi, u faqatgina nodir (oltin, kumush) metallarni olish maqsadida konsentrat va flyuslar bilan aralashtiriladi va yallig' qaytaruvchi pechga yuklanadi [3, 4].

Klinker mis shteynlarini konverterlash jarayonining birinchi davrida konvertor shlaklaridan misni tiklash va mis ajratib olish darajasini oshirish maqsadida konvertorga yuklanadi.

Ma'lum bo'lishicha, klinker bilan qayta tiklash jarayonida magnetit konsentratsiyasi 50% ga kamaydi, mis konsentratsiyasi dastlabki tarkibidan 55% ga sezilarli darajada kamaydi. Bu jarayonida yallig' qaytaruvchi pechda konvertor shlaki tarkibidandan misni tiklanish miqdori 83% ga oshdi. Zavodning ikkinchi «Olmaliq KMK» AJda Vanyukov pechida konvertor shlaklarini texnogen xomashyo – klinkerdan foydalanish orqali qayta ishlash texnologiyasi ishlab chiqilgan va joriy qilingan [5, 6]. Rux keklarini qayta ishlashning gidrometallurgik usullari rux, mis va temirni eritmaga oʻtkazish bilan yuqori konsentratsiyali sulfat kislotasi bilan rux va mis ferritlarini eritishga va keyinchalik temirni gematit (gematit jarayoni), getit (getit jarayoni) va yarozit (yarozit jarayoni) shaklida choʻktirishga asoslangan.

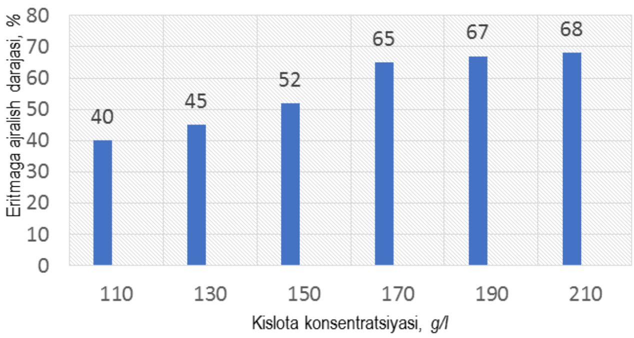
Rux keklarini gidrometallurgiya usulida qayta ishlash boʻyicha ilmiy ishlarni koʻrib chiqadigan boʻlsak, hozirgi kunda asosan ikki bosqichli texnologiya qoʻllaniladi. (birinchi bosqich – Vels oksidlarini neytral tanlab eritish, ikkinchisi – neytral tanlab eritishdan keyin qattiq qoldiqni kislotali tanlab eritish) [1, 2].

Rux kuyindisidan va rux kekidan (kislotali tanlab eritish bosqichidan olingan) metallarni kation almashuvchi tanlab eritish amalga oshirilgan ishlar istiqbolli usul boʻlib, bunda H-shaklidagi KU-2-8 ion almashinuvchisi reagent sifatida ishlatilishi mumkin.

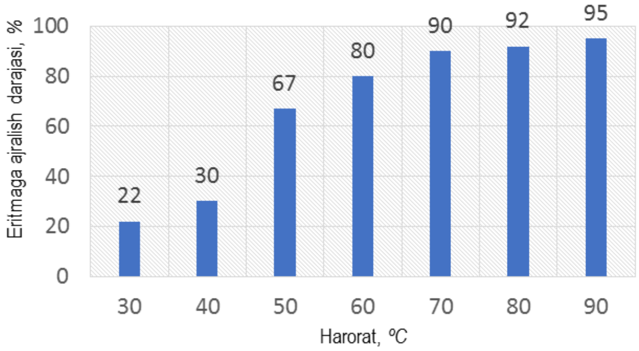
Erituvchilar sifatida chuqur evtektik eritmalar yordamida temirga boy matritsadan ruxni ajratib olish darajasi oʻrganildi. Levulin kislotasi-xolin xloridini tanlab eritish natijasida sulfat kislotadan foydalangan holda an'anaviy «neytral tanlab eritish» bilan solishtirganda solishtirish mumkin boʻlgan selektivlik va bir oz yuqori rux olish mumkin edi [7, 8].

Ushbu ishlarda rux va bir qator rangli metallarni ajratib olish uchun moʻljallangan rux keklarini termik bugʻlash yoʻli bilan samarali qayta ishlash, xomashyodan kompleks foydalanishni oshirish asosi sifatida koʻrib chiqiladi. Ish shuni koʻrsatdiki, velslash jarayoni ruxni yuqori ajratib olish darajasiga erishishga imkon beradi, ammo uning quyidagi kamchiliklari bor: xlor, ftor va qaytaruvchi moddalarning koʻpayishi eritmalarning aralashmalar bilan ifloslanishiga olib keladi.

Vels oksidlarini dastlabki koʻp tubli pechda qayta ishlashdan keyin ikkilamchi oksidlarni tanlab eritish rux ishlab chiqarishning texnologik siklida tiklovchi, xlor va ftor miqdorini kamaytirish muammosini samarali hal qilish imkonini beradi. Kuyindilarni tanlab eritish boʻyicha tajribalar natijalari shuni koʻrsatdiki, koʻpchilik neytrallashtiruvchi moddalar sulfat kislotada darhol eriydi, buning natijasida turli elementlar, ayniqsa rux va temir eritmaga chiqariladi va sulfat kislota sarflanadi.



1-rasm. 50ºC haroratda ruxni eritmaga ajralish darajasining kislota konsentratsiyasiga bogʻliqlik grafigi



2-rasm. 190 g/l kislota konsentratsiyasida ruxni eritmaga ajralish darajasining haroratga bogʻliqlik grafigi

Tekshiruv tadqiqotlari asosida biologik jarozit induksiya davrini qisqartirishi va jarosit choʻkishi paytida harorat chegarasini kamaytirishi mumkinligini aniqladi.

Maqolada rux keklarini termal bugʻlash samaradorligini avtomatik boshqarish masalalari, tavsiya etilgan boshqaruv sxemasidan foydalangan holda aylanma quvurli pechlarning tipik ish sxemalari koʻrib chiqiladi. Texnologik rejimlar parametrlaridagi ogʻishlarning termik bugʻ bilan ishlov berish samaradorligiga taʻsiri tahlili oʻtkazildi va ularni optimallashtirish algoritmi taqdim etildi [9-13].

Velslash jarayonida quyidagi kamchiliklari uchraydi: xlor, ftor va qaytaruvchi moddalar miqdorining oshishi eritmalarning aralashmalar bilan ifloslanishiga olib keladi [14]. Rux kekini gidrometallurgik usulda qayta ishlanb olingan eritmalardan metallarni ionli flotatsiya va ozonlash yoʻli bilan olish mumkin [15-16].

Koʻrib chiqilgan adabiyotlarni tahlil qilish va mavjud korxonalarning rux ishlab chiqarishda hosil boʻladigan rux keklaridan metallarni olish muammosi boʻyicha amaliyotini tahlil qilish quyidagi xulosaga kelishimizga imkon beradi: bu texnologik sxemalarning barchasi ancha murakkab, koʻp bosqichli, qimmat va eng muhimi, minerallar va ionlarning kuchli birikmalari tufayli metallarning toʻliq olinishiga erishilmaydi.

Adabiyotlarni tahlil qilish natijasida rux keklaridan metallarni ajratib olishning samarali texnologiyasini yaratish zarurati koʻrsatilgan, ulardan biri yuqori haroratda tanlab eritishdir.

Tadqiqot obyekti. Tadqiqotlar olib borish uchun «Olmaliq KMK» AJ Rux zavodidan rux kekidan namunalar olindi, kimyoviy tarkibi, *%*: Zn_{um} 21,42; Pb 6,48; Fe 15,21; SiO_2 9,39; Al_2O_3 1,42: Cu 2,32; CaO 2,67 Cd 0,21.

Metall ajratib olish uchun ruxdan tashqari, mis, qoʻrgʻoshin, kadmiy, temir va boshqalar sanoat ahamiyatiga ega.

Rux kekini yuqori haroratda tanlab eritish metodi. Yuqori haroratli tanlab eritish uchun jarayonini tadqiq qilish uchun LR 1000 basic markali maxsus tajriba qurilmasidan foydalanildi.

Tajribalar quyidagicha amalga oshirildi: rux keki < 0,1 *mm* ga qadar maydalandi.

Sulfat kislota eritmasi tanlab eritish qurilmasiga quyildi, qizdirildi, maydalangan rux keki namunasi yuklandi va maʻlum vaqt jarayon davom ettirildi.

Harorat mikroprotsessorli avtomatik boshqaruvchi orqali tartibga solingan. Tahlil qilish uchun pulpa namunalari koʻk lentali qogʻoz filtri orqali filtrlandi va filtrat temir, rux, mis va boshqa komponentlar uchun tahlil qilindi. Tajriba tugagandan soʻng, fazalar filtrlash yoʻli bilan ajratildi, kek issiq suv (50*ºC*) bilan dekantatsiya orqali uch marta yuvildi, massa doimiy boʻlgunga qadar quritildi va atom-adsorbsiya, IK-Fure, rentgenofazali tahlillar metallarning midori va holati uxhun amalga oshirildi.

Olingan natijalar va ularning muhokamasi. «Olmaliq KMK» AJda rux ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishda gidrometallurgiya usulida ruxli keklarni qayta ishlash boʻyicha tadqiqotlar olib borildi.

Ushbu ishda rux keklarini gidrometallurgik usulda qayta ishlash boʻyicha ilmiy izlanishlar, rux keklarini qayta ishlashning qimmat usuli velslash – jarayonini (koʻp miqdorda tannarxi qimmat koksdan foydalanish) bartaraf etish uchun quyidagi tarzda amalga oshirildi.

Turli konsentratsiya va haroratdagi sulfat kislota eritmalari bilan kekdan ruxni tanlab eritish jarayonining davomiyligi taʻsri oʻrganildi.

Ruxning 50*ºC* haroratda dastlabki kislota kontsentratsiyasidan boshlab 3 *soat* ichida eritmaga ajralishini kislota konsentratsiyasiga bogʻliqligi shuni koʻrsatadiki, past konsentratsiyada ruxning eritmaga oʻtishi juda sekin va oltingugurt kontsentratsiyasining oshishi bilan keskin ortadi va tanlab eritish jarayonining dinamik muvozanati oʻrnatilad (*ºC*) (*1-rasm*). Ruxning eritmaga ajralishi dastlabki kislota konsentratsiyasida 3 *soat* davomida turli haroratlarda bogʻliqligi shuni koʻrsatadiki, tanlab eritish jarayonining dastlabki davrida (past harorat) eritmaga ruxning oʻtishi juda sekin, 50*ºC* dan yuqori haroratlarda esa intensiv roʻy boʻladi (*2-rasm*).

Sulfat kislota eritmasi va kek oʻrtasidagi bogʻliklik davomiyligini oshirish eritmadagi aralashmalar miqdorining oshishiga olib keladi. Rux keki sulfat kislota bilan tanlab eritilganda, oksidlangan minerallar birinchi boʻlib, sulfidli minerallar esa sekin reaksiyaga kirishadi. Eritmaga aralashmalarni minimal oʻtkazish bilan ruxning maksimal ajralishiga erishish uchun jarayon davomiyligi 4 *soatni* tanlab olamiz (*3-rasm*). Optimal sharoitlarda olingan yuqori haroratli tanlab eritish mahsulotlarining moddiy tarkibidagi oʻzgarishlarni oʻrganish boʻyicha tadqiqotlar olib borildi (*1-jadval*). Sulfidning oksidlanish darajasi 98-99% ni tashkil etdi. Eritmaning asosiy komponentlari: sulfat kislota, temir, mis, rux.

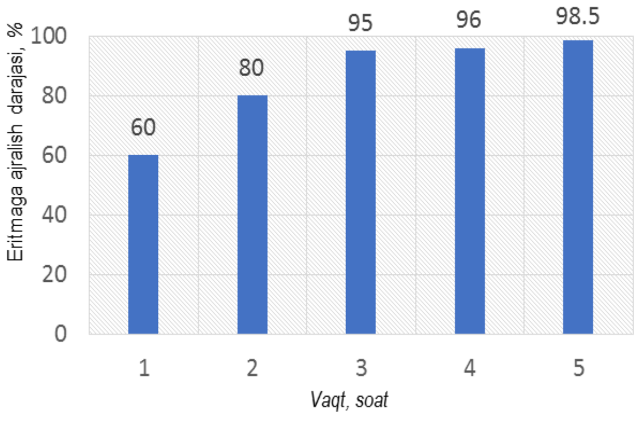
Eritmadagi sulfat kislota konsentratsiyasining oshishi bilan (190 *g/l* gacha) rux keki tarkibiy qismlarining eruvchanligi chiziqli ravishda oshadi va maksimal darajaga etadi. Konsentratsiyaning yanada oshishi (200 *g/l* dan) metallarning erish tezligini oshirmaydi va aksincha, maʻlum vaqtdan keyin jarayonning biroz sekinlashishiga olib keladi. Sulfat kislota konsentratsiyasining 200 *g/l* dan oshishi ruxning eritmaga oʻtish darajasini sezilarli darajada oshirmaydi, shu bilan birga aralashmalarning eritmaga oʻtishi kuchaya boshlaydi. Kimyoviy reaksiyalarning katta qismi tezligi, shuningdek, diffuziya harorat oshishi bilan ortadi. Haroratning oshishi bilan eritmadagi sulfid kontsentratsiyasining sezilarli darajada oshishi kuzatiladi. Shu bilan birga, 90℃ jarayon haroratida, jarayonning davomiyligi oshishi bilan ruxning ajratib olish darajasining yanada ortishi kuzatiladi. Bu yuqori haroratlarda sulfatlarning tezroq hosil boʻlishi bilan izohlanadi. Harorat oshishi bilan erish tezligi oshadi. Ammo shu bilan birga, haroratning oshishi foydali komponentning erishiga ozgina taʻsir qilishini hisobga olish kerak, shu bilan birga aralashmalarning eritmaga oʻtishi sezilarli darajada oshadi. Harorat 100℃ ga koʻtarilgach, eritma qaynay boshlaydi va kislota bugʻlari hosil boʻladi. Bir xil pulpa zichligiga erishish uchun zarur gidrodinamik rejim mexanik aralashtirish moslamasi yordamida taʻminlanadi.

Ruxning eritmaga ajralish darajasi aralashtirish intensivligiga bogʻliq. Eksperimental tadqiqotlar natijalari shuni koʻrsatadiki, bir xil tanlab eritish vaqtida ruxning ajralish darajasi aralashtirish intensivligining oshishi bilan ortadi. Har bir aniq holatda aralashtirish tezligining maqbul sonini toʻgʻri tanlash juda muhim rol oʻynaydi va eritish jarayonining tezligini oshirishning asosiy koʻrsatkichlaridan biri boʻlib xizmat qilishi mumkin, ammo jarayon tezligini oshirish faqat maʻlum bir chegaragacha mumkin. Intensiv aralashtirish bilan oksidlangan mis, rux va qoʻrgʻoshin minerallari sulfat kislotada yaxshi eriydi. Mis va ruxning sulfidli minerallari temir sulfid ishtirokida kislotali eritmalarda butunlay eriydi. Haroratning oshishi bilan oksidlangan mis birikmalari, rux sulfid va rux oksidining erish reaksiyalarining muvozanat konstantalari pasayadi. Binobarin, haroratni oshirish orqali bu moddalarning erish jarayonining kuchayishi baʻzi cheklovlarga ega.

Shunday qilib, rux kekini tanlab eritish uchun quyidagi optimal sharoitlar oʻrnatildi: sulfat kislota konsentratsiyasi 180-190 *g/l*, harorat 90-95℃, davomiyligi 4 *soat*. Bunday sharoitda ruxning eritmaga ajralish darajasi 90-97,5%, mis 96%, kadmiy 78-80% va temir 72,5-75,2%, kek hosil boʻlishi esa dastlabki mahsulot ogʻirligi boʻyicha 35-42% ni tashkil qiladi. .

Kislotalikning 200 *g/l* dan ortiq ortishi metallni ajratib olish darajasiga kam taʻsir qiladi, ammo aralashmalarning eruvchanligi oshadi. Eritmadagi rux konsentratsiyasi rux elektrolizini amalga oshirish uchun etarli. Ammo tarkibida aralashmalar mavjudligi sababli eritmani gidrolitik usullar yordamida tozalash kerak, bu usul «Olmaliq KMK» AJ rux zavodida qoʻllaniladi.

Yuqori haroratli sulfat kislota eritmasini mis, kadmiy, kobalt, surma, nikel va boshqa aralashmalardan tozalash

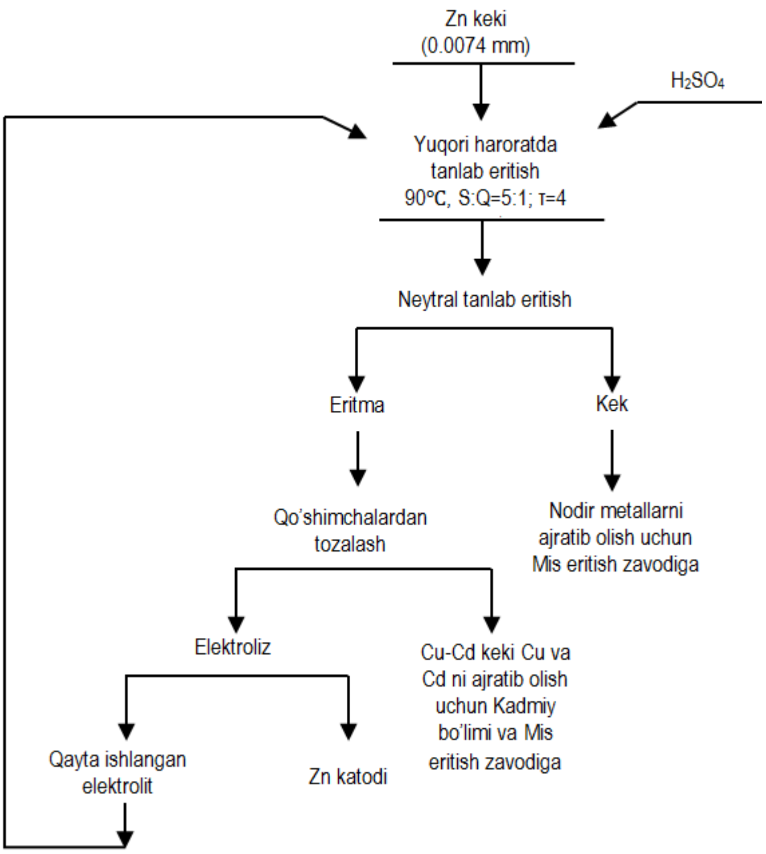


3-rasm. Ruxni eritmaga ajralish darajasining vaqtga bogʻliqlik grafigi

1-jadval

Rux kekini yuqori haroratda tanlab eritish boʻyicha tajribalar natijalari

Elementlar	Dastlabki kek tarkibi, %	Eritmaga ajralish darajasi, %
Zn	21,42	98,5
Pb	6,48	1,2
Fe	15,21	75,2
Cu	2,32	92,8
Cd	0,21	79,2
SiO_2	9,39	1,2
Al_2O_3	1,42	0,2



4-rasm. Rux keklarini qayta ishlashning taklif etilayotgan texnologik sxemasi

uchun agitatorlarda rux changi bilan uch bosqichli neytral tanlab eritish mexanik aralashtirish bilan amalga oshiriladi. Olingan choʻkma (mis keki) kadmiy ishlab chiqarishga yuboriladi. Mis kekining tarkibi: ruxning miqdoriy ulushi 12-14% dan, kadmiy 0,2% dan koʻp emas, mis 15% dan kam emas. Eritma tozalashning ikkinchi bosqichiga oʻtadi: Shlippe tuzining eritmasi (natriy tetratioantimonat, Na_3SbS_4 formulali natriy va surmaning murakkab tuzi) surma: kobalt nisbati (0,8-1):1 bilan beriladi. Tozalashning uchinchi bosqichida eritma qayta ishlangan rux bilan ishlanadi. Mis-kadmiyli kekdagi komponentlarning miqdoriy ulushi,%: kadmiy 2,5-5, kobalt 0,02-0,05, mis 3,5-8, nikel 0,02-0,04, surma 0,1-0,15.

Sulfat kislotali tanlab eritish keki tarkibida sulfid shaklida 0,32% mis mavjud; rux 3,61%, shundan 96-98% ferrit shaklida; 2-4% silikat shaklida. Koʻrinib turibdiki, mis va rux oksidlari sulfat kislota eritmasiga toʻliq oʻtadi, ferritlar va silikatlar esa qattiq fazada oz miqdorda qoladi. Jarayonda hosil boʻlgan kek qimmatbaho metallarni olish uchun yuboriladi. Rux keklarini qayta ishlashning taklif etilayotgan texnologik sxemasi *4-rasmda* berilgan.

Xulosa. Rux keklarini gidrometallurgiya usulida qayta ishlash boʻyicha rux ishlab chiqarish texnologiyasini takomillashtirishda quyidagi natijalarga erishildi.

Yuqori haroratda sulfat kislota bilan tanlab eritish rux kekini qayta ishlashda oʻzini isbotladi va qayta ishlashning selektivligini taʻminlaydi.

Eritmada temir sulfidining mavjudligi sulfidlarning oksidlanishini 98% gacha etkazish imkonini beradi. Maqbul tanlab eritish davomiyligi – 4 *soat*, sulfat kislota konsentrasiyasi 180-190 *g/l*, tanlab eritish harorati esa 90℃.

Ruxning eritmaga ajralish darajasi 90-97,5%, mis 96%, kek hosil boʻlishi 35-46% ni tashkil qiladi.

Olingan eritma tarkibida quyidagi miqdorda metallar mavjud, (*g/l*): rux – 61,4; mis – 4,36; temir – 14,25.

Eritmadagi rux kontsentratsiyasi ruxni elektroliz qilish uchun yetarli boʻlib, rux zavodida qoʻllaniladigan gidrolitik usullar bilan tozalangandan soʻng eritma elektroliz boʻlimiga yuborilishi mumkin.

Bibliografik ro'yxat

1. Романтеев Ю.П., Быстров С.В. Металлургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. – М.: Издательский дом «МИСиС», 2010. – С. 324-339.

2. Зайцев В.Я., Маргулис Е.В. Металлургия свинца и цинка // М.: Металлургия, 1985. – 263 с.

3. Тошкодирова Р.Э., Абдурахмонов С.А. Переработка клинкера – техногенного отхода цинкового производства // Universum: технические науки. – № 11-1 (80), ноябрь 2020. – С.78-81.

4. Патент Республики Узбекистан № IAP 02589. Заявл.20.01.2003., № IAP 2003 0054. Приоритет 20.01.2003.

5. Якубов М.М., Абдукадыров А. А., Мухаметджанова Ш.А., Ёкубов О. М. Вовлечение в производство техногенных образований на предприятии АО «Алмалыкский ГМК» // Цветные металлы, № 5. – М.: «Руда и металлы», 2022. – С. 36-41.

6. Якубов М.М., Джумаева Х.Ю., Умаралиев И.С., Мухаметджанова Ш.А. Исследование возможности применения техногепнного сырья при плавке сульфидных медных концентратов в печи Ванюкова в АО «Алмалыкский ГМК» // Цветные металлы, №5. – М.: «Руда и металлы», 2023. – С. 14-19.

7. Rodriguez N., Machiels L., Onghena B., Spooren J., Binnemans K. Selective recovery of zinc from goethite residue in the zinc industry using deep-eutectic solvents // RSC Adv. 2020 Feb 19; 10 (12), pp. 7328-7335.

8. Saikova S.V., Panteleeva M.V., Nemkova D.I., Elsuf´ev E.V. The cation exchange resin leaching of zinc from zinc cake and zinc calcine // J. Sib. Fed. Univ. Chem., 2022, 15 (4), pp. 580-589.

9. Ахтамов Ф.Э., Тошев О.Э., Хужакулов Н.Б., Эркинов Ф.Ф. Автоматизированное управление эффективностью термопарообработки цинковых кеков // Universum: технические науки (8-1 (101)). – М.: «МЦНО», 2022. – С. 26-28.

10. Kholikulov D.B., Ruzikulov Q.M., Khaidaraliev Kh.R. Improving the technology of waelzation of zinc cakes // Gorniy jurnal Kazakstan 06/2022, pp. 29-34.

11. Ахтамов Ф.Э. Термопарообработка как метод переработки цинковых кеков // International scientific review. 2020, pp. 15-16.

12. Asimi A., Gharibi K., Abkhoshk E., Moosakazemi F., Chelgani S.C. Effects of Operational Parameters on the Low Contaminant Jarosite Precipitation Process-an Industrial Scale Study // Materials (Basel). 2020. Oct. 19; 13 (20):4662.

13. Pappu A., Saxena M., Asolekar S.R. Jarosite characteristics and its utilisation potentials // Sci Total Environ. 2006 Apr. 15; 359. (1-3):232-43.

14. Kholikulov D.B., Ruzikulov Q.M., Khaidaraliev K.R. Improving the technology of waelzation of zinc cakes // Горный журнал Казахстана. № 6 (206). – Алматы, 2022. – С. 23-28.

15. Kholikulov D.B., Yakubov M.M., Mukhametdzhanova Sh.A., Bekbutaev A.N. Development of technology for extracting metals from process solutions by ion flotation // Tsvetnyye metally. – M.: «Ruda i metally», 2022 (6), pp. 19-24.

16. Kholikulov D.B., Matkarimov S.T. Pilot tests of processing technologies of process solutions of copper production by ozonation // Materials Today: Proceedings, 2021, 45, pp. 4987-4992.

UDK 669.334: 669.411
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.008

MIS ISHLAB CHIQARISHDA HOSIL BO‘LADIGAN TEXNOGEN CHIQINDILARNI QAYTA ISHLASH TEXNOLOGIYASINI ISHLAB CHIQISH



Xasanov A.S.,
«Olmaliq KMK» AJ
bosh muhandis o‘rinbosari,
t.f.d., professor

Yusupov U.S.,
O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar
Mahkamasining bosh mutaxassisi

Usmankulov O.N.,
O‘zbekiston Respublikasi
Tog‘-kon sanoati va geologiya vazirligining
bosh mutaxassisi,
PhD

Ushbu tadqiqot ishida mis ishlab chiqarishda hosil bo‘lgan shlaklarni flotatsiyalashdan keyingi texnogen chiqindilarining tarkibi va undan kerakli komponentlarni ajratib olish bo‘yicha tajribalar ketma-ketligi bayon etilgan. Mis ishlab chiqarishda hosil bo'lgan shlaklarni flotatsiyalashdan keingi chiqindilardan namunalar olindi va optik mikroskop yordamida tahlil qilindi.Tahlil natijalari asosida laboraotoriya va sanoat tajribalari olib borildi. Dastlab texnogen chiqindi tarkibidagi sun’iy fayalit minerali havo ishtirokida termik parchalangan so‘ngra olingan kuyindi kislotali muhitda tanlab eritilgan. Tanlab eritish jarayonida mis eritmaga o‘tkazilgan, temir esa gidrolizlanishi natijasida to‘liq kek tarkibida qolgan. Eritma filtrlanib, undan mis natriy sulfidi yordamida cho‘ktirilgan. Yakunda mis sulfidi cho‘kmasi filtrlanib quritiladi, bunda misning texnogen chiqindidan sulfidli cho‘kmaga o‘tish darajasi 88,7 foizni tashkil qilgan.

Tayanch iboralar: *fayalit, eritma, mis oksidi, kristall panjara, oksidlanish, filtratsiya, kimyoviy tarkib, tanlab eritish, shlak, cho’ktirish, dekantatsiya, natriy sulfidi, flotatsiya, mis sulfidi.*

В данной статье описан состав техногенных отходов после флотации шлаков медного производства и последовательность экспериментов по извлечению из них ценных компонентов. Из отходов флотации шлаков медного производства были отобраны пробы и проанализированы с помощью оптического микроскопа. По результатам анализа проведены лабораторные и промышленные опыты. Изначально искусственный минерал содержащийся в техногенных отходах фаялит подвергался термическому разложению в присутствии воздуха, а затем из полученного огарка медь избирательно выщелачивали в кислой среде. В процессе выщелачивания медь перешла в раствор, в результате гидролиза железо осталось в кеке. Раствор фильтровали и осаждали медь с помощью сульфида натрия. В конце процессов осадок сульфида меди отфильтровывали и высушивали. При этом степень перехода меди из техногенных отходов в сульфидный осадок составила 88,7 процента.

Ключевые слова: *фаялит, раствор, оксид меди, кристаллическая решетка, окисление, фильтрация, химический состав, селективная плавка, шлак, осаждение, декантация, сульфид натрия, флотация, сульфид меди.*

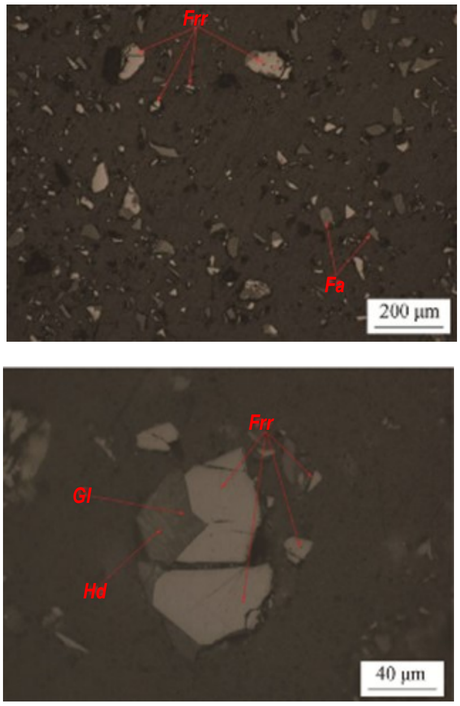
Jahonda metallurgiya sohasida qimmatbaho metallarga bo‘lgan talab kun sayin oshib bormoqda. So‘nggi o‘n yilliklarda ruda tarkibidagi misning o‘rtacha miqdori sezilarli darajada kamayishi, xomashyodan kompleks foydalanishni oshirishni, metallurgiya sanoati texnogen chiqindilaridan foydalangan holda resurs va energiya tejamkor texnologiyalarni qo‘llashni, fanni ishlab chiqarish bilan integratsiyalash orqali katta miqdorda chiqayotgan texnogen chiqindilarni ishlab chiqarishga jalb etishga yo‘naltirishni talab etmoqda. Bu borada, mis boyitish fabrikasi chiqindilaridan qimmatbaho komponentlarni ajratib olish texnologiyasini yaratish alohida ahamiyat kasb etadi [1]. Dunyoda rangli metallurgiya sohasida mis sanoati texnogen chiqindilari tarkibidan qimmatli komponentlarni ajratib olish, xomashyo bazasini sezilarli kengaytirishga imkon beradigan yangi texnologiyalarni yaratish, ichki va tashqi bozor talablariga javob beradigan sof holdagi rangli metallarni olish hamda mavjud texnologiyalarni takomillashtirish va o‘zlashtirish maqsadida ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda [2]. Bu borada, jumladan mis boyitish fabrikasi chiqindilaridan qimmatbaho komponentlarni ajratib olish texnologiyasini yaratish muhim ahamiyatga ega [3].

Tadqiqotning ob’ekti va metodlari. Tadqiqot o‘tkazish uchun ob’ekt sifatida «Olmaliq KMK» AJ 2-Mis boyitish fabrikasining mis shlaklarini flotatsiya usulida boyitishdan keyingi texnogen chiqindilari tanlandi [4]. Tadqiqot davomida metallarning laboratoriya tahlillari qattiq holdagi moddalar va eritmalarda olib borildi [5]. Tajribalar o‘tkazishda zamonaviy fizik-kimyoviy tahlil usullaridan, jumladan, elektron mikroskopiya, rentgen strukturali taxlil, fotokolorimetriya, atom-absorbsion tahlil, rentgenfazali (rentgenografik) tahlil, shuningdek, mis ishlab chiqarish texnogen chiqindilarini kompleks qayta ishlashning ratsional usullarini ishlab chiqish va texnik iqtisodiy ko‘rsatkichlarini baholash maqsadida tadqiqot natijalarini statistik va matematik qayta ishlash usullari qo‘llanildi [6].

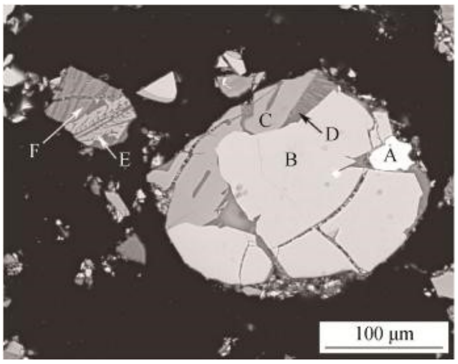
Mis ishlab chiqarishda hosil bo’lgan shlaklarni flotatsiyalashdan keingi chiqindilardan namunalar oloindi va optik mikroskop yordamida tahlil qilindi. Quyidagi *1-va 2-rasmlarda* tahlil natijalari keltirilgan.

Tajriba qismi. Mis ishlab chiqarishda hosil bo‘lgan shlaklarni flotatsiyalashdan keyingi texnogen chiqindilari tarkib jihatidan asosan sun’iy fayalit (Fe_2SiO_4)dan tashkil topgan bo‘lib, kristall panjaralari orasida oz miqdorda mis va qimmatbaho metallar saqlaydi. Ushbu turdagi chiqindilardan mis va qimmatbaho metallarni ajratib olish metallurgiya sanoatining hozirgi kundagi dolzarb muammolardan biri hisoblanadi [7].

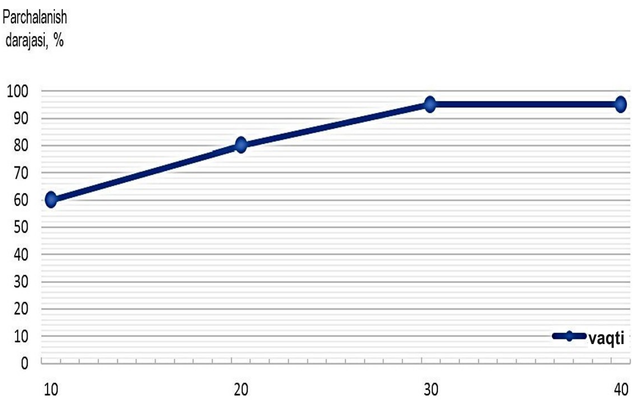
Yarim sanoat tajribalarini o‘tkazish maqsadida tajriba o‘tkazish joyiga shlaklarni boyitishdan keyingi chiqindidan 1000 *kg* miqdorda olib kelindi va tahlil uchun belgilangan tartibda namunalar olindi [8]. Tahlil natijalari *1-jadvalda* keltirilgan.



1-rasm. Mis boyitish fabrikasi chiqindisini optik mikroskopda koʻrinishi: *Frr – ferrit; Fa – fayalit; Hd- gedenbergit; Gl – shisha*



2- rasm. Mis boyitish fabrikasi chiqindisini SEM da koʻrinishi: *A – matoviy; B – ferrit; C – fayalit; D – shisha; E – fayalit; F – gedenbergit*



3-rasm. Tarkibidagi fayalit minerali parchalanishining vaqtga bogʻliqligi

1-jadval

Mis shlaklarini flotatsiya usulida boyitishdan keyingi texnogen chiqindi tarkibidagi elementlar miqdori

Mahsulot	Elementlar miqdori, %							
	Cu	Mo	SiO_2	Fe	Re	S	Au (g/t)	Ag (g/t)
Shlakni boyitish chiqindisi	0,53	0,11	33,1	36,0	0,00001	0,7	0,4	2,46
Shlakni boyitish chiqindisi	0,5	0,07	34,28	34,1	0,00001	1,73	0,23	2,6

2-jadval

Mis ishlab chiqarishda hosil boʻlgan shlaklarni flotatsiyalashdan keyingi texnogen chiqindilarni qayta ishlash tajribasi natijalari

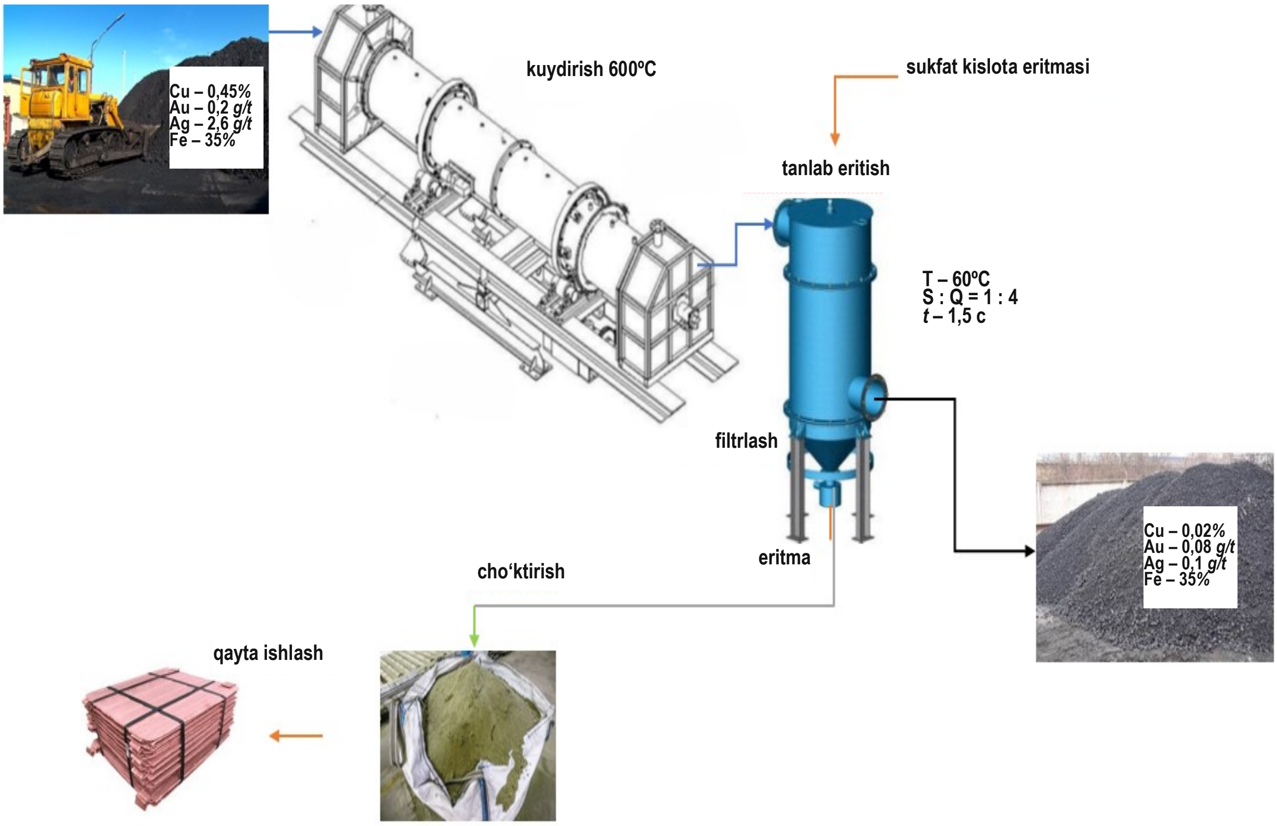
№	Nomlanishi	*mkg, Vl*	Komponentlar miqdori					
			Cu		SiO_2		Fe	
			%, g/l	*kg*	*%, g/l*	*kg*	*%, g/l*	*kg*
1.	*Kuydirish*							
	Yuklandi:							
	texnogen chiqindi (shlakoviy xvost)	1 000	0,53	5,3	33,1	331	36,0	360,0
	Olindi:							
	kuyindi	1035	0,51	5,3	31,9	331	34,7	360,0
2.	*Tanlab eritish*							
	Yuklandi:							
	kuyindi	1 035	0,51	5,3	31,9	331	34,7	360,0
	sanoat chiqndi eritmasi (promivnaya kislota)	4 000	0,9	3,6			0,6	2,4
	sulfat kislotasi	128 (kg)						
	Umumiy:			8,9		331		362,4
3.	*Filtrlash*							
	olindi:							
	eritma	3 700	2,1	7,94			5,6	20,7
	kek	955	0,1	0,955		331	35	341,0
	umumiy:			8,9		331		362,4
4.	*Choʻktirish*							
	Yuklandi:							
	eritma	3 700	2,1	7,94			5,6	20,7
	natriy sulfidi (Na_2S)	9						
	Olindi:							
	eritma	3700	0,01	0,037			–	
	mis sulfidi choʻkmasi	12,6	23,5	7,9			–	
	Umumiy:			7,94				
5.	Ajratib olish darajasi, %		88,7					

Ushbu texnogen chiqindidan kerakli komponentlarni ajratib olish boʻyicha tajriba quyidagi ketma-ketlikda amalga oshirildi. Dastlab texnogen chiqindi havo ishtirokida kuydiriladi, bunda fayalit termik parchalanadi (1) va shlak tarkibidagi mis yuzasi ochiladi. Shuningdek mis va mis I oksidi xavo ta'sirida oksidlanib, (2,3) kislotali muhitda erish xossasi ortadi [9].

$$Fe_2SiO_4 + O_2 \longrightarrow Fe_2O_3 + SiO_2 \quad (1)$$
$$2Cu + O_2 \longrightarrow 2CuO \quad (2)$$
$$2Cu_2O + O_2 \longrightarrow 4CuO \quad (3)$$

Jarayon aylanma quvursimon pechda 600ºC haroratda havo ishtirokida 30 *daqiqa* davomida amalga oshirildi hamda kuydirishdan oldin va keyin mahsulotlar massasi oʻlchandi. Olingan kuyindidan belgilangan tartibda namunalar olinib tarkibiy tahlil qilindi.

Keyingi bosqichda kuyindidan misni selektiv ajratib olish uchun tanlab eritish tajribasi amalga oshirildi. Bunda erituvchi sifatida sulfat kislotasi ishlab chiqarish sexining changlarni yuvishda hosil boʻladigan texnologik eritmasi (promvnaya voda) qoʻllanildi. Ushbu texnologik eritma



4-rasm. Mis shlaklarini flotatsiyalashdan keyingi texnogen chiqindilardan mis ajratib olish texnologik sxemasi

tarkibida 35 *g/l* H_2SO_4 hamda 0,8 *g/l* Cu^{2+} mavjud bo'lib, sutkalik hosil bo'lish miqdori 1680 m^3 hajmga ega.

Bu orqali misni nafaqat shlakni boyitishdan keyingi chiqindilardan balki chiqindi eritmalardan ham bitta jarayonda ajratib olish imkoniyati yaratildi. Jarayonda sulfat kislotasining konsentratsiyasi kam bo'lgan taqdirda eritma konsentrlangan texnik sulfat kislotasini qo'shish bilan me'yoriga yetkaziladi.

Tanlab eritish jarayoni 60ºC haroratda, aralashtirgichli reaktorda 1,5 *soat* davomida olib borildi.

$$H_2SO_4 + CuO \rightarrow CuSO_4 + H_2O (4)$$

Tanlab eritish jarayoni tugagach mis tarkibli eritma kekdan filtrlash yo'li bilan ajratildi. Filtrlash jarayoni kislotabardash qotishmadan tayyorlangan 0,4 m^3 hajmli nutch filtrda, vakuum nasos yordamida amalga oshirildi. Filtrlashdan so'ng olingan eritmadan hamda kekdan belgilangan tartibda nmunalar olindi va tahlil qilindi. Olingan eritmaga tarkibida misning miqdoriga ekvivalent miqdorda natriy sulfidi qo'shib mis eritmadan sulfid holatida cho'ktirildi.

Cho'ktirish jarayoni aralashtirgichli reaktorda 30 *daqiqa* davomida amalga oshiriladi.

$$CuSO_4 + Na_2S \rightarrow CuS\downarrow + Na_2SO_4 (5)$$

Mis ionlari eritmadan to'liq cho'ktirilgach eritma dekantatsiyalandi hamda cho'kma quritilib, misning miqdori bo'yicha tahlil qilindi. O'tkazilgan sanoat tajribalarining tahlillari, texnologik parametrlari va barcha olingan natijalar *2-jadvalda keltirildi*.

Shuningdek tadqiqotlar natijasida olingan xulosalar asosida ishlab chiqilgan texnologik sxema *1-rasmda* keltirildi.

Bibliografik ro'yhat:

1. Khasanov A.S., Atakhanov A.S., Ismailova F.R. // The history of Uzbekistan's metallurgy and new technologic processes // Shanghai University of China Nation Republic. Papers of scientific seminar meeting or winner of "Istedod", 2005 December, pp. 30-32.

2. Xasanov A.S., Sirojov T.T., Utkirova Sh.I., Murtozaeva M.M. // Research on the recovery process of copper smelter tailings and separation of iron from soot using a magnetic separator // Universum: Технические науки: электронный научный журнал. – № 11 (104). Ноябрь 2022 г. – С. 25-28.

3.Hasanov U.A., Mutalibxonov S.S., Abdukodirov A.A., Sirojov T.T., Ahmedov M.S. Review and research on the solubility of copper in slags of copper production // Zarafshon vohasini kompleks innovatsion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari xalqaro ilmiy-amaliy anjumani, NDKI, 27-28 Noyabr 2019, Navoi, 155-159 b.

4. Хасанов А.С., Толибов В.И., Сыроев Т.Т., Ханнонова М.С., Нурмуродов М.Н. Переработка медных шлаков с отделением легких и черных металлов // Konchilik va neft-gaz tarmoqlarining muammolari va innovatsion rivojlantirish yo'llari nomli respublika ilmiy-amaliy anjumani. NDKI Uzbekistan Navoiy shahri. 2016-yil 8-9 aprel. 273-274 b.

5. Хужакулов Н.Б., Ханнонова М.Х., Нурмуродов М.Н., Сироджов Т.Т. Техногенные отходы горно-металлургической промышленности и их характеристики // Konchilik va neft-gaz tarmoqlarining muammolari va innovatsion rivojlantirish yo'llari nomli respublika ilmiy-amaliy anjumani, NDKI Uzbekistan Navoiy shahri, 2016-yil 8-9 aprel, 271-272 b.

6. Qobilov A.O., Yusupov U.S., Usmankulov O.N. Ikkilamchi xomashyolardan rangli va qimmatbaho metallarni ajratib olish texnologiyasini ishlab chiqish. // Kompozitsion materiallar Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali. – Toshkent, 2023 y. – № 2. 154-156 b.

7. Хасанов А.С., Толибов Б.И., Сирожов Т.Т. 2-МБФ чиқиндиларидан қимматбаҳо компонентларни ажратиб олиш // Композиционные материалы. Научно-технический и практический журнал. – № 4. – Ташкент, 2022. – С. 147-149.

8. Park I. Advances in Selective Flotation and Leaching Process in Metallurgy. Metals, 2022. 12. – 144 p.

УДК 622.275
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.009

ПОВЫШЕНИЕ ПРОНИЦАЕМОСТИ ПЛАСТА УРАНА ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ




Аликулов Ш.Ш.,
проректор НГГТУ,
профессор, д.т.н.

Алимов М.У.,
докторант кафедры
«Добыча и переработка руд редких и радиоактивных металлов» НГГТУ

Ибрагимов Р.Р.,
докторант кафедры
«Добыча и переработка руд редких и радиоактивных металлов» НГГТУ, PhD

Шаропов К.Р.,
докторант кафедры
«Добыча и переработка руд редких и радиоактивных металлов» НГГТУ

Elektr toki ta’sirida nafaqat filtrlash koeffitsiyenti, balki metallni ajratib olish tezligi ham ortishi aniqlandi. Filtrlash koeffitsiyentining o‘sishini elektr toki o‘tganda qizdirilishi tufayli eritmaning yopishqoqligining pasayishi va bog‘langan suvning harakatchan holatga o‘tishi natijasida sifatida izohlanadi, bu esa tog‘ jinslarining samarali g‘ovak kesimi va o‘tkazuvchanligining ko‘payishiga olib keladi. Mavjud texnologik rivojlanish sxemalari bilan quduqlardagi sathni pasaytirish va oshirish orqali o‘rnatilgan ortiqcha bosimning 50% radiusi 1,5-2,5 m bo‘lgan filtrga yaqin zonada yo‘qoladi. Oqim maydonining ko‘payishi suv oqimini oshirishga imkon beradi. Filtrlash zonasining nisbatan kichik hajmidagi jinslarga elektr ta’siri natijasida bosim yo‘qotishlarining kamayishi hisobiga texnologik quduqlarning mahsuldorligi 1,3-1,5 barobarga oshadi.
Tayanch iboralar: *yuqori voltli effekt, elektrogidravllik razryad, elektr impulsi, qattiq jismlar deformatsiyalari.*

Установлено, что при воздействии электрического тока возрастает не только коэффициент фильтрации, но и скорость извлечения металла. Возрастание коэффициента фильтрации интерпретируется нами как результат уменьшения вязкости раствора вследствие его нагрева при пропускании электрического тока и как результат перехода связанной воды в подвижное состояние, что приводит к увеличению эффективного сечения пор и проницаемости породы. При существующих технологических схемах отработки 50% избыточного напора, задаваемого понижением и повышением уровня в скважинах, теряется в прифильтровой зоне радиусом 1,5 – 2,5 м. Увеличение проходного сечения позволяет увеличивать производительность технологических скважин в 1,3–1,5 раза вследствие снижения потерь напора в результате электровоздействия на породы в сравнительно малом объёме в прифильтровой зоне.
Ключевые слова: *высоковольтный эффект, электрогидравлический разряд, электрический импульс, деформации твёрдых тел.*

При добыче урана методом подземного выщелачивания (ПВ) из руд месторождений осадочного типа практически во всех случаях приходится в той или иной степени учитывать поведение глинистых пород.

Необходимость рассмотрения поведения глины обуславливается главным образом двумя обстоятельствами. Во-первых, в ряде месторождений глинистые породы составляют часть рудовмещающего песчаного горизонта. Эти породы по содержанию урана могут быть рудными и безрудными. Во-вторых, на большинстве известных осадочных месторождениях (обычно обводнённых) покровными и подстилающими породами рудовмещающего горизонта являются глины.

Так, на месторождении Учкудук около 20% урана от общих запасов сосредоточено в глинистых породах. Слабопроницаемые руды урановых месторождений Центральных Кызылкумов занесены в технологический забаланс, поскольку высокая реагентоёмкость пород и интенсивная кольматация не позволяют эффективно отрабатывать запасы традиционным сернокислотным способом подземного выщелачивания [1].

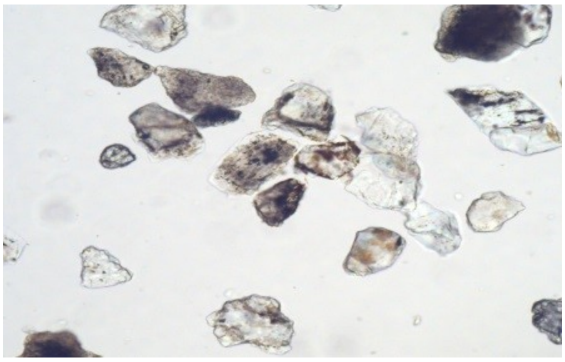
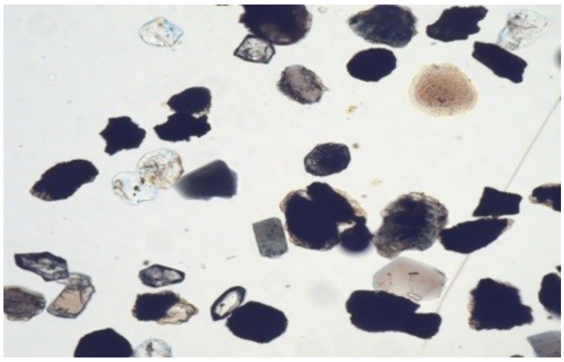
На сегодняшний день в мире ведутся научные исследования по извлечению урана и учитываются различные факторы: скорость выщелачивания урана в слабопроницаемых глинистых породах не лимитируется скоростью фильтрации растворов, так как вынос урана в раствор осуществляется, главным образом, за счёт его диффузии к поверхности контакта руд с проницаемыми породами (условия, когда скорость химического взаимодействия меньше скорости подвода растворителя и отвода продуктов реакции).

Целью работы является разработка технологических решений по отработке запасов урана со слабой проницаемостью рудного горизонта с применением электрического тока.

В мировой технической литературе имеется множество публикаций и патентов по проблеме подземного выщелачивания урана.

Краткий обзор их дан в работе. Однако публикаций, в которых проблема была бы рассмотрена всесторонне, история освоения подземного выщелачивания и краткая характеристика приводится мало.

В последнее время за рубежом и в Узбекистане, получили широкое распространение геотехнологические способы добычи полезных ископаемых, имеющие ряд серьёзных преимуществ перед традиционным и дорогостоящим горным способом. Среди них особое место занимает геотехнология (подземное выщелачивание) металлов (урана, меди, никеля, железа, цинка, молибдена, алюминия, золота и др.) из руд на месте их залегания в недрах с помощью химических реагентов с последующей переработкой на поверхности полученных продуктивных растворов. К геотехнологическому способу добычи металлов относится также и кучное выщела-

а) б)

Рис. 1. ***Песок охристо-желтого цвета, рыхлый, слабозашламованный, разнозернистый, с алевритистым и с глинистым материалами:*** *а – легкая фракция; б – тяжёлая фракция*

чивание из предварительно раздробленных и доставленных на поверхность бедных и забалансовых руд [2].

По согласованию с руководством ГП «Навоийуран» образцы керна – с ненарушенной структурой пробы руд направлены в ЦНИЛ АО «НГМК» для исследования.

Исследования начали с полного химического анализа рудного материала. Если содержание наиболее кислотоёмких минералов – карбонатов не превышает по CO_2 1,5-2 что соответствует содержанию $CaCO_3$ от 3 до 4,5%, то исследования начинают с применением в качестве растворителя серной кислоты. Если содержание карбонатов превышает предельные значения, исследования проводят с использованием в качестве растворителя бикарбоната натрия.

По минералогическому составу породы из различных эпигенетических подзон аналогичны друг другу.

В составе песков обнаружен кварц в количестве в среднем 52% (колебания 40,73%), полевые шпаты в среднем 20,55-29,23% (колебания 18,00-30,96%) и обломки пород в среднем 5,08- 7,47% (колебания 3,02-9,23%).

Глинистый материал обнаружен в породах и рудах в низких количествах, что благоприятно скажется на выщелачивание урана из слабопроницаемых руд.

В песках рудной зоны в повышенных количествах по сравнению с безрудными песками обнаружены кроме урана и селена, торий, скандий, тантал, кобальт, мышьяк, рубидий, хром и другие элементы [3]. Микроскопическое исследование слабопроницаемых руд приведено на *рис. 1.*

Лабораторные исследования проводили в ЦНИЛ АО «НГМК», были изучены пробы слабопроницаемых руд. В зависимости от поставленных целей эксперименты по выщелачиванию руд с электролитическими окислителями проводились в статических и динамических условиях: в стаканах под мешалками, фильтрационных трубках различной длины и моделях, имитирующих определенный элемент рудоносного горизонта.

Все опытные работы проводились на рудном керновом материале естественной крупности.

Выщелачивание под мешалкой являлось первым этапом технологического опробования руды и носило качественный характер (*рис. 2). На рис. 2.* показано, что в стаканах 2, 3 размещены электроды, причём в третьем стакане осуществлялся диафрагменный электролиз. Эти исследования должны были выявить, какой из процессов выщелачивания наиболее предпочтителен. Работа с фильтрационными трубками начиналась с их набивки рудой, которая производилась с одновременным промачиванием руды по методике [4].

Фильтрационные трубки для проведения в них электролиза имели некоторую конструктивную особенность, обусловленную

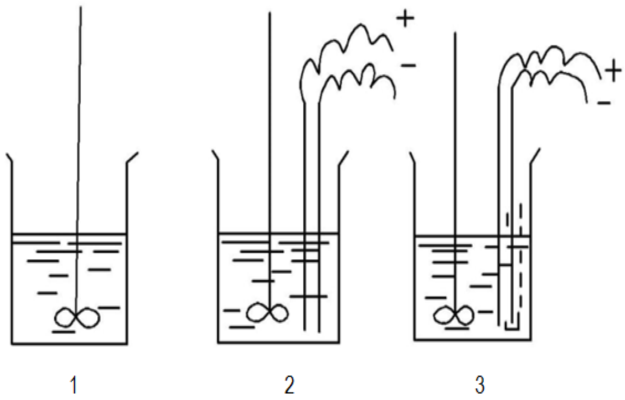


Рис. 2. Схема проведения статических опытов: *1 – контрольный опыт; 2 – выщелачивание при электролизе без диафрагмы; 3 – выщелачивание при диафрагменном электролизе*

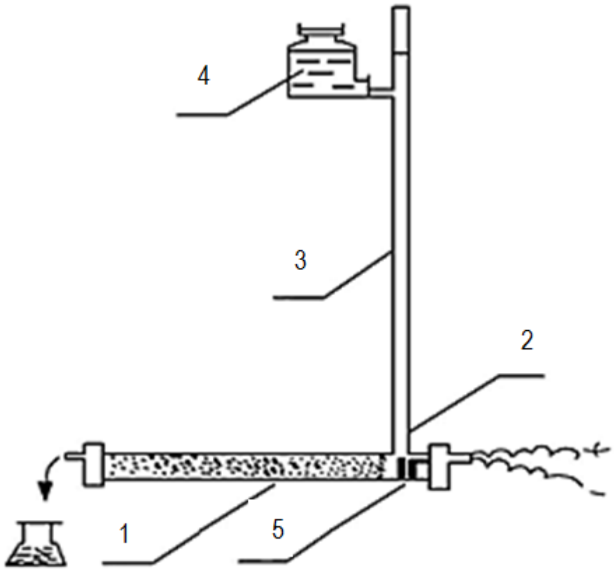


Рис. 3. Схема проведения экспериментов по фильтрационному выщелачиванию с подачей электролитических окислителей: *1 – фильтрационная трубка с рудой; 2 – патрубок; 3 – стеклянная трубка; 4 – напорная емкость; 5 – электрическая сбойка*

задачей разместить электроды и подать в торец рудной массы окислитель (*рис. 3*). Для этого, рядом с фланцем трубки длиной 40 *см* (1) предусматривался патрубок 10-15 *см* (2) для приема электрической сбойки (5), которая помещалась напротив рудной части.

Патрубок соединялся со стеклянной трубкой, обеспечивающей подвод электролита и создание определённого напора. В этой же трубке располагалась трубка меньшего диаметра для вывода водорода при диафрагменном электролизе.

Фильтрационная трубка с патрубком из органического прозрачного стекла.

Принцип работы такой фильтрационной колонки следующий: на входной части рудного слоя расположены два электрода, осуществляющих диафрагменный или без диафрагменный электролиз воды при приложении к ним определенной разности потенциалов. Выделяющиеся газы при разложении воды (теоретический потенциал разложения воды равен 1,23) проходят столб раствора и растворяются согласно их растворимости при данном давлении и температуре. Но растворимость кислорода при обычных условиях при 15ºС и 760 *мм рт. ст.* очень низкая и составляет 0,034 объёма на объём воды.

По окончании экспериментов анализировалось состояние электродной сбойки на предмет ее коррозии и визуально – состояние рудной массы.

В выщелоченной руде послойно определялось остаточное содержание урана, рассчитывалось извлечение его в растворы из руды. Оценивался расход растворенного окислителя (O_2) на единицу рудной массы.

Концентрация кислорода в растворах ориентировочно рассчитывалась на основании выхода его по току или определялась химическим (йодометрическим) методом.

При проведении контрольных опытов равновесное количество атмосферного кислорода в растворах (9 *мг/л*) не учитывалось. Такие опыты были проведены как без окислителя.

Методической особенностью опытов считается то, что карбонатные растворы в большинстве случаев сразу подавались в руду без определения водорастворимого урана.

С целью определения кинетических зависимостей выщелачивания и полноты извлечения урана из этой руды были поставлены опыты с длиной рудного слоя 43,5 *см*; вес руды – 0,5 *кг*; содержание урана – 0,1%; размер частиц песка -5+3 *мм*; пористость – 27%; раствор – 14 *г/л* Na_2CO_3 + 6 *г/л* $NaHCO_3$) [4].

Параметры электрического тока: Y = 0,02 *А*; U = 2,5 *В* (выбранные характеристики электрического поля здесь и в дальнейшем определялись условием полного растворения получаемого электролитического кислорода в определенном количестве питающего электролита).

Опыты проводились круглосуточно при непрерывной фильтрации раствора, предварительно насыщенного O_2. Градиент напора был равен 1 ÷ 1,2; скорость фильтрации – 0,48 ÷ 0,3 *м/сут*.

Анализируя полученные данные, видно, что воздействие электролитического кислорода интенсифицирует процесс выщелачивания урана из приэлектродной части руды. При отношении Ж : Т = 1 в раствор извлекалось 50% урана. Дальнейшее увеличение извлечения урана идёт по всё более выполаживающейся кривой к отношению Ж : Т = 3,5 и достигает 67%.

Окончательно, при отношении Ж : Т = 9,1, в раствор извлекается 76% урана, а по анализам хвостов – 80%. В среднем извлечение урана оказалось равным 78%.

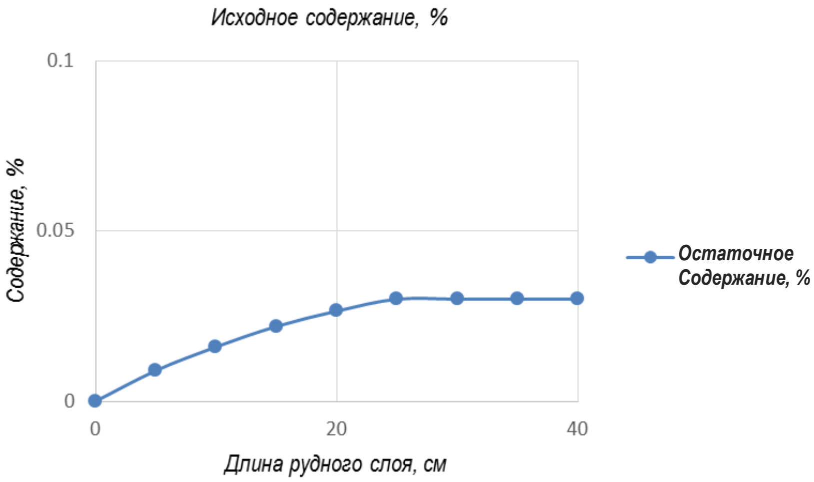


Рис. 4. Остаточное содержание урана в выщелоченной руде

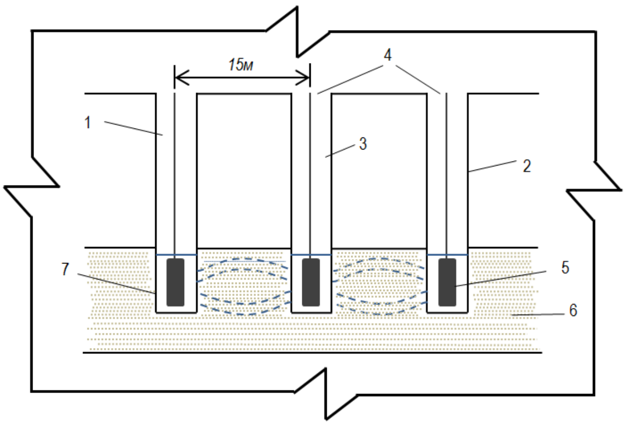


Рис. 5. Схема опытной ячейки с воздействием на пласт переменным током: *1, 2 – закачные скважины; 3 – откачная скважина; 4 – электрокабель; 5 – электрод; 6 – рудоносный горизонт; 7 – фильтр*

Остаточное содержание урана в выщелоченной руде описываемой колонки показано на *рис. 4*.

Из *рис. 4* видно, что половина выщелоченной руды имела содержание урана от 0,006% до 0,026%, а вторая половина – равномерное содержание урана 0,026%. Это указывает на сильное воздействие кислорода на приэлектродную часть руды и дефицит их для глубинных участков рудного слоя, то есть там, где окислитель приработал рудную зону, имеем и низкое остаточное содержание.

На урановых месторождениях подземного выщелачивания проводились опытные работы по повышению проницаемости пласта урана путём воздействия электрического тока при подземном выщелачивании.

Дальнейшие исследования были направлены на получение материалов для статистического анализа.

Используемые на участках ПВ методы обработки фильтров и прифильтровых зон (высоконапорная обработка водой, прокачка сжатым воздухом, химическая декольматация) характеризуются кратковременностью и незначительным приростом производительности скважин. Более перспективен способ электрогидроудара в сочетании с прокачкой скважин сжатым воздухом на месторождении [5].

Ячейка для опытных работ по электрообработке пласта была выделена в торцевой части участка подземного выщелачивания.

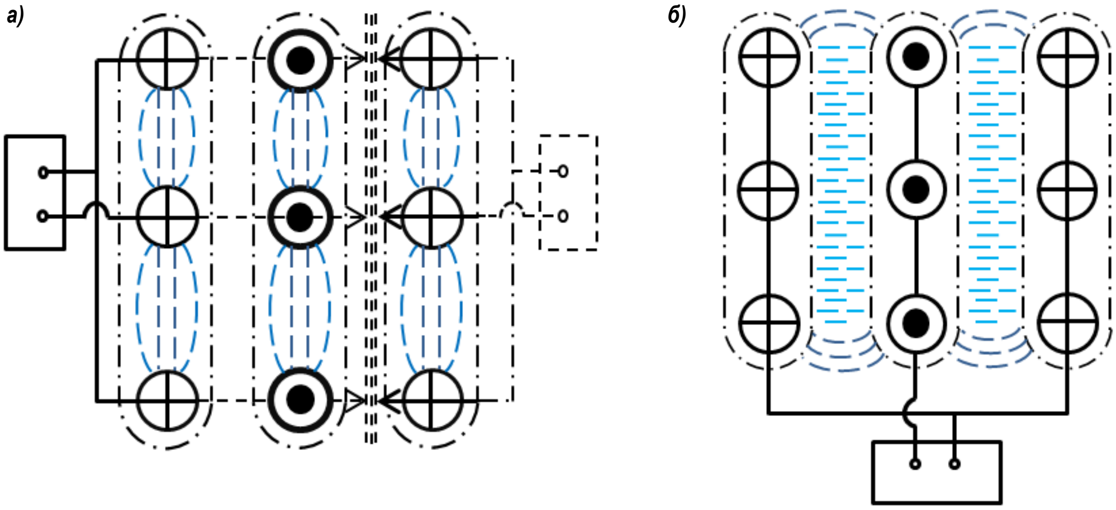


Рис. 6. Схема обработки пласта токами высокой плотности в ряду технологических скважин (а) и между рядами (б)

Таблица 1

Результаты анализа продуктивного раствора

№ скв.	Время	Концентрация, (*мг/л*) /(*мг·экв*)						
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	$Na^{+}+K^{+}$	Cl^{-}	SO_4^{2-}	Минерализация
1	2	3	4	5	6	7	7	8
6-12	до электрического воздействия	551	790	320	1278	497	10526	14,87
	через 2 *ч*	361	936	410	504	391	9506	13,12
	через 4 *сут*	521	790	380	–	426	7152	10,05
6-16	до электрического воздействия	521	1034	320	770	391	11193	15,52
	через 2 *ч*	401	1301	410	–	426	11259	15,28
	через 4 *сут*	411	1131	400	2126	426	7152	20,61
6-32	до электрического воздействия	511	827	450	835	426	111645	16,02
	через 2 *ч*	461	967	529	2395	426	17242	23,86
	через 4 *сут*	511	912	560	1056	426	13951	19,04

В неё вошли две закачные скважины (№ 1, 2) и откачная скважина № 3, расположенная между закачными скважинами.

Закачные скважины обсажены полиэтиленовыми трубами диаметром 110 *мм*, откачная – 210 *мм*. Фильтры нарезные с шириной щели 2 *мм*. Длина фильтров в скважинах № 1, 2 и 3 соответственно 6, 2 и 3 м.

Электроды длиной 1 *м* для ввода электроэнергии в пласт были нарезаны из нержавеющих труб диаметром 57 *мм*. Для соединения с кабелем к ним были приварены переходники – стержни диаметром 20 *мм*, длиной 250 *мм* с отверстием диаметром 8 *мм* под кабель. Оголенный конец кабеля ВПП-35 вставляли в отверстие и обжимали. Место контакта изолировалось проклеенной обмоткой и лентой ПХВ [6].

Наиболее эффективно воздействие переменным током низкого напряжения проявляется в прифильтровой зоне откачных скважин по причине наличия там химической кольматации и выражается в выносе продуктов разложения механического и химического кольматанта из пласта, результаты опытных работ приведены на *рис. 5*.

Результаты лабораторных и опытных работ подтверждаются в ходе опытно-промышленного внедрения технологии ПВ с переменным током низкого напряжения и определяются механизмом воздействия электрического тока, которые показаны на *рис. 6*.

Таким образом, в результате проведённых работ для широкого промышленного внедрения подготовлен метод воздействия переменным током на призабойную (1-3 *м* по радиусу) зону скважин, обеспечивающий повышение производительности полигонов ПВ на 22-25% вследствие увеличения проницаемости пласта. Этот метод применим для песчано-глинистых пород с коэффициентом фильтрации 0,5-10 *м/сут*, с содержанием глины 2-20%.

Основным направлением дальнейших исследований является метод токов высокой плотности, заключающийся в воздействии на пласт токами с напряжением 380-1000 *В* и силой тока около 50 *А*.

Для опытно-промышленного освоения сооружается участок с воздействием на пласт током сначала вдоль рядов технологических скважин, а затем между ними, при этом обработанные током ряды играют роль электродов-коллекторов.

Опытные работы на скважине были начаты, дебит перед пуском составлял 1,91 $м^3/ч$, понижение 28 *м*. Для определения гидрогеологических параметров по данным откачки из скважины были использованы две наблюдательные скважины расположенные на расстояниях 27 и 47 *м*. Перед вводом электроэнергии в скважину понижение уровня в наблюдательных скважинах составляло 6,6 и 5,6 *м* соответственно [7].

На опытном участке был установлен понижающий трансформатор с выходным напряжением 60 *В*. От него вдоль откачного ряда

Таблица 2

Результаты опытных работ

Дебит до электрического воздействия, *м³/ч*	Дебит через 5 *сут* воздействия	Прирост дебита, *%*	Ток при включении, *А*
3,5	4,5	29	5
3,5	4,8	37	12
2,3	4,0	74	5
4,8	6,5	35	10
4,8	6,0	25	10

были проложены две нитки питающие кабель. Электроэнергия в скважины подавалась по кабелям, а электроды изготовлены из шин от погружных электронасосов длиной 1,5 *м*, на электроды была подана электроэнергия. После включения наблюдалось помутнение откачиваемых растворов. Сравнение химических анализов откачиваемых растворов до электрообработки и при ней показывают, что с включением электроэнергии из скважин стало выноситься больше Mg^{2+}, Al^{3+}, Na^{+}, K^{+}, Cl^{-} что говорит о дегидратации глин в прифильтровой зоне скважин и разрушении коллоидных структур в поровом объёме песчаного скелета пород.

Результаты анализов продуктивного раствора приведены в *табл. 1.* После включения электроэнергии суммарная производительность откачных технологических скважин увеличилась с 18,9 до 25,8 *м³/час* или на 37%, как показано в *табл. 2.*

При включении электроэнергии сила тока составляла 5-12 *А*, после 5 *сут* обработки 6-15 *А*, что указывает на увеличение электропроводности и эффективной пористости пород прифильтровой зоны, под электровоздействием. Было задействовано еще 7 скважин 6 участка, увеличение производительности показало около 25% [8].

Библиографический список:

1. Аренс В.Ж., Богуславский Э.И., Гридин О.М. и др. Физико-химическая геотехнология: Учебник // Под общей редакцией профессора В.Ж. Аренса. – М.: Издательство «Горная книга», 2021. – 816 с.

2. Аренс В.Ж., Гайдин А.М. Геолого-гидрогеологические основы геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1978. – 250 с.

3. Абдульманов И.Г. Фазлуллин М.И., Мосев А.Ф. и др. Под ред. Кедровского О.Л. Комплексы подземного выщелачивания. – М. «Недра», 1992. – 263 с.

4. Абрамов С.К., Бабушкин В.Д. Методы расчета притока воды к буровым скважинам. – М. «Госстройиздат», 1955. – 383 с.

5. Абрамов С.К., Алексеев В.С. Забор воды из подземного источника. – Москва: «Колос», 1980 . – 239 с.

6. Алексеев В.С., Гаврилко В.М., Гребенников В.Т. Рекомендации по восстановлению производительности скважин реагентными методами. – М.: «ВНИИВОДОГЕО», 1975. – 256 с.

7. Алексеев В.С., Гребенников В.Т. Восстановление дебита водозаборных скважин. – М.: «Агропромиздат»,1987. – 239 с.

8. Алексеев В.С., Ткаченко В.П. Оценка изменения фильтрационных свойств призабойных зон скважин при различных способах их бурения и освоения. – М.: Труды ВНИИИ ВОДГЕО, 1972. – № 3. – С. 90-92.

УДК 621.74:669.13 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.010

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕЛЮЩИХ ТЕЛ – ЦИЛЬПЕБСОВ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ОГАРКОВ ХВОСТОВ СОРБЦИОННОГО ЦИАНИРОВАНИЯ БИОКЕКА ГМЗ-3




Санакулов К.,
генеральный директор – председатель правления АО «НГМК», д.т.н., профессор

Ахатов Н.А.,
директор
Сев. РУ АО «НГМК»

Нарбадалов Ш.И.,
заместитель директора по производству
Сев. РУ АО «НГМК»

Тураев Э.И.,
инженер технолог
ОГТ Сев. РУ АО «НГМК»

Metallurgiyada maydalash jarayoni ko‘pgina texnologik sxemalarga kiritilgan, chunki ko‘plab texnologik jarayonlarning borish tezligi qattiq materiallar sirtining o‘lchamiga bog‘liq. Xom ashyoning tabiati va zaruriy maydalash darajasi maydalash bosqichlarining sonini, qo‘llaniladigan uskunalar turlarini va maydalash vositalarini belgilaydi.

Maqolada o‘lchami 26x38 bo‘lgan silpebslar yordamida biokekning sorbsion siyanlash chiqindilarini oksidlovchi kuydirish jarayonida hosil bo‘lgan kuyindi mahsulotini maydalash darajasini oshirish bo'yicha 3-sonli GMZda amalga oshirilgan sanoat sinovlarining natijalari ko‘rib chiqilgan.

Tayanch iboralar: *maydalovchi sharlar, silpebs, maydalovchi jismlar, maydalash, sorbsion sianlash, kuydirish, tayyor sinf, granulometrik tahlil, gidrosiklon, gidrosiklon quyulmasi, biokekni sorbsion sianlash chiqindilari.*

В металлургии процесс измельчения включен в большинство технологических схем, так как от величины поверхности твердых материалов зависит интенсивность многих технологических процессов. Характер исходного сырья и требуемая степень измельчения определяют число ступеней измельчения, типы применяемого оборудования, мелющих тел.

В статье расмотрены результаты промышленных испытаний, проведенных на ГМЗ-3 по утончению помола огарков окислительного обжига хвостов сорбционного цианирования биокека с использованием мелющих тел цильпебсов с размерами 26x38.

Ключевые слова: *помольные шары, цильпебс, мелющие тела, измельчение, сорбционное цианирование, обжиг, готовый класс, гранулометрический анализ, гидроциклон, слив гидроциклона, хвосты сорбционного цианирования биокека.*

В середине прошлого века, в качестве измельчающих тел, в большинстве случаев, использовались два вида тел, которые имеют геометрическую форму шара или усечённого конуса (в дальнейшем – цильпебс). Для грубого помола использовались помольные шары крупных диаметров, а для тонкого помола использовались цильпебсы. Данная ситуация была вызвана ограниченностью технологических возможностей производства мелющих тел (шаров). В 50-х годах XX века минимальный диаметр стальных катанных мелющих шаров, которые производились, составлял 40 *мм*. Использование данного диаметра было недостаточно, чтобы достичь необходимой тонины помола при тонком измельчении, а закупка мелких помольных шаров за рубежом была практически невозможна.

В связи с этим, широкое распространение приобрели чугунные цильпебсы. Их производство не требует каких-либо ноу-хау в отрасли литья.

В мировой практике при измельчении руд в мельницах используют следующие типы мелющих (помольных) тел (*рис. 1*).

При выборе конкретного типа мелющих тел требуется учитывать их следующие важные технические свойства и влияние этих свойств на процесс помола:

– удельный вес;
– прочность;
– твёрдость;
– химическая устойчивость.

а) б) в) г)

Рис. 1. Мелющие тела: *а – стальные мелющие шары различного диаметра; б – короткие цилиндры – в размер порезанный стальной круг; в – стальные стержни (круглая заготовка); г – усечённые конусы (цильпебсы, эллипсоиды)*

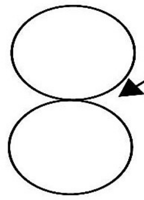


Рис. 2. Механизм точечного контакта шаров

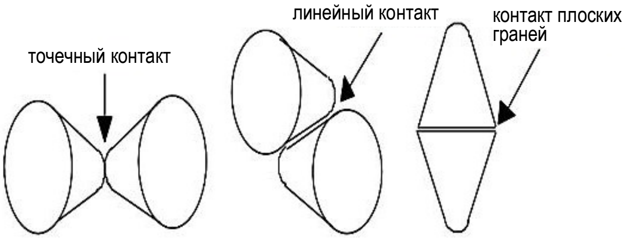


Рис. 3. Контактный механизм цильпебсов

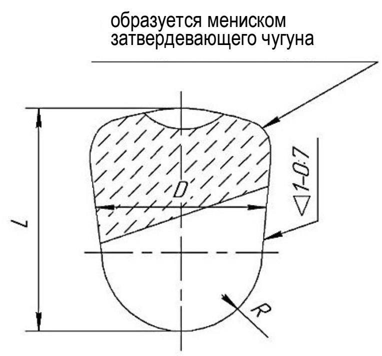


Рис. 4. Форма и геометрические размеры чугунных цильпебсов

Таблица 1

Геометрические размеры чугунных цильпебсов

Типоразмер	Диаметр цилиндра, D (*мм*)	Длина цилиндра, L (*мм*)	Радиус закругления нижнего торца D/2	Допустимая конусность на цилиндре
ЦЧ-25	25±1	от 24 до 38	12,5	0-1:7
ЦЧ-28	28±1	от 27 до 40	14	0-1:7
ЦЧ-32	32±2	от 30 до 44	16	0-1:7

Таблица 2

Химический состав чугуна для цилиндров

Углерод (C), %	Кремний (Si), %	Сера (S), %
2,6…4,2	0,7…2,0	до 0,15

Правильный выбор мелющих тел способствует рациональному использованию расходных материалов в мельнице, а также достижению необходимой тонкости помола, требуемого для осуществления последующих технологических процессов обогащения.

Удельный расход мелющих тел в процессе измельчения зависит от их микроструктуры, минералогического состава и твердости руд. Химический состав и технологические условия при изготовлении мелющих тел определяют их микроструктуру, что напрямую влияет на качество мелющих тел. Сферические шары лучше подходят для дробления крупных частиц из-за их точечного контакта, создаваемого между мелющими телами и рудой. Цильпебсы же имеют уникальную форму, которая даёт возможность к линейному и площадному контакту, что увеличивает площадь прикосновения мелющих тел с измельчаемым материалом и тенденцию к предпочтительному разрушению более крупных частиц.

Механизмы контакта шаров и цильпебсов показаны на *рис. 2* и *рис. 3*.

Главными потребителями цильпебсов в мире считаются горно-обогатительные предприятия, силикатные и цементные заводы, где требуется высокая тонкость помола.

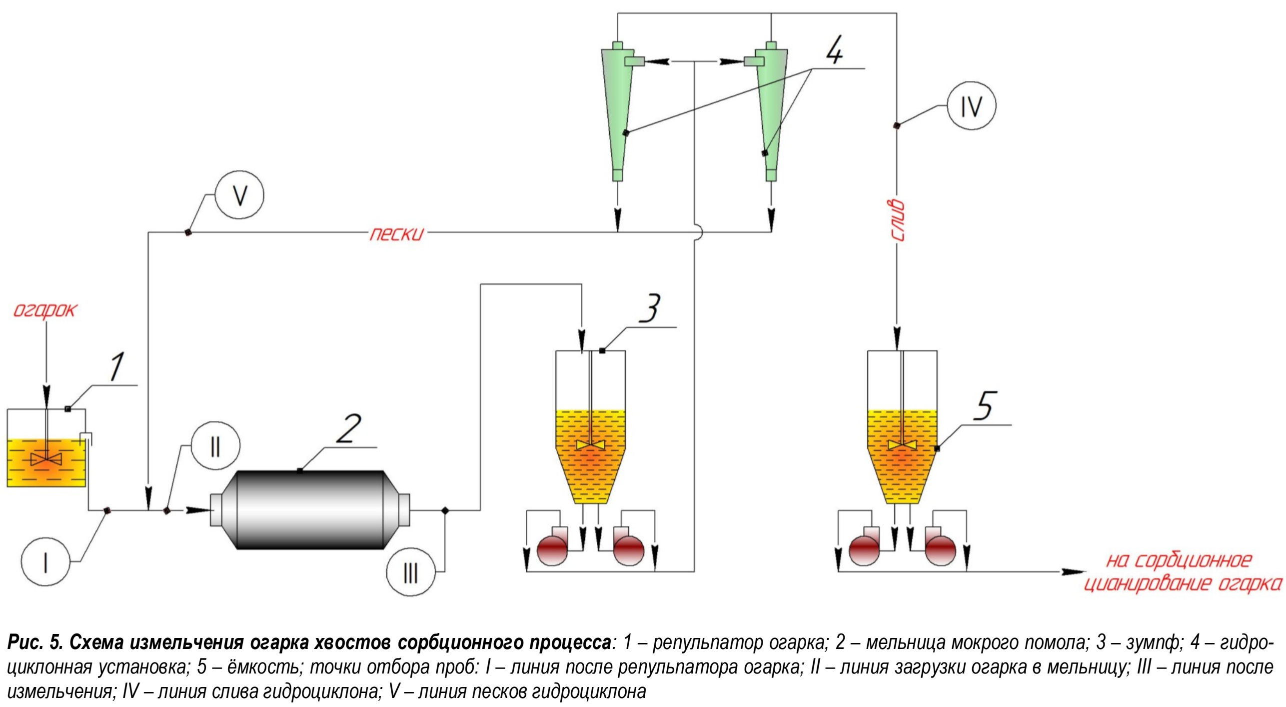


Рис. 5. Схема измельчения огарка хвостов сорбционного процесса*: 1 – репульпатор огарка; 2 – мельница мокрого помола; 3 – зумпф; 4 – гидроциклонная установка; 5 – ёмкость; точки отбора проб: I – линия после репульпатора огарка; II – линия загрузки огарка в мельницу; III – линия после измельчения; IV – линия слива гидроциклона; V – линия песков гидроциклона*

Таблица 3

Результаты гранулометрического анализа проб огарка, измельченного шарами диаметром 40 *мм*

Точка отбора пробы	Название пробы	Гранулометрический состав											Плотность, *г/л*
		+0,15 *мм*		+0,074 *мм*		+0,044 *мм*		-0,044 *мм*		Итого		-0,074 *мм*, %	
		грамм	%	*грамм*	%	*грамм*	%	*грамм*	%	*грамм*	%		
I	огарок после репульпатора	102	23,1	59	13,3	92	20,8	189	42,8	442	100,0	**63,6**	1300
II	огарок перед загрузкой в мельницу	60	8,7	128	18,5	243	35,2	260	37,6	691	100,0	**72,8**	1466
III	огарок после измельчения	32	5,0	109	17,0	209	32,5	293	45,6	643	100,0	**78,1**	1422
IV	слив гидро-циклона	4	1,1	17	4,7	83	22,7	261	71,5	365	100,0	**94,2**	1261
V	пески гидро-циклона	49	6,3	134	17,2	302	38,9	292	37,6	777	100,0	**76,4**	1503

Таблица 4

Результаты гранулометрического анализа после 20 ч измельчения цильпебсами

Точка отбора пробы	Название пробы	Гранулометрический состав											Плотность, *г/л*
		+0,15 *мм*		+0,074 *мм*		+0,044 *мм*		-0,044 *мм*		Итого		-0,074 *мм*, %	
		грамм	%	*грамм*	%	*грамм*	%	*грамм*	%	*грамм*	%		
I	огарок после репульпатора	98	22,5	57	13,1	90	20,6	191	43,8	436	100,0	**64,4**	1306
II	огарок перед загрузкой в мельницу	26	3,3	90	11,5	277	35,5	388	49,7	781	100,0	**85,1**	1505
III	огарок после измельчения	11	1,5	56	7,5	251	33,6	428	57,4	746	100,0	**91,0**	1483
IV	слив гидро-циклона	0	0,0	4	1,0	52	13,3	335	85,7	391	100,0	**99,0**	1257
V	пески гидро-циклона	26	3,1	103	12,2	306	36,2	411	48,6	846	100,0	**84,8**	1549

Форма и геометрические размеры чугунных цильпебсов должны соответствовать указанным параметрам на *рис. 4* и в *табл. 1*.

На Гидрометаллургическом заводе № 3 (ГМЗ-3) АО «НГМК» производится сорбционное цианирование продукта биоокисления сульфидных флотоконцентратов и хвосты данного процесса подвергаются обжигу. После обжига полученные огарки поступают на распульповку и далее направляются на измельчение в шаровую мельницу мокрого помола ВМ 32/47. В данной шаровой мельнице для помола проектом предусмотрено использование шаров диаметром 40 *мм*. После измельчения в мельнице пульпа перекачивается насосами в гидроциклон, где происходит разделение на слив, направляемый в процесс сорбционного цианирования и пески, которые возвращаются в мельницу для доизмельчения (*рис. 5*).

С целью изучения возможности утончения помола огарка, а также посредством этого увеличения раскрываемости частиц золота были произведены промышленные испытания с использованием мелющих тел цильпебсов в мельнице ВМ 32/47 цеха Фильтрации, сушки и обжига ГМЗ-3. Для этой цели первоначально мельница была опорожнена от круглых шаров диаметром 40 *мм*. После чего были загружены в мельницу цильпебсы размера 26х38.

Для последующего сравнения параметров процесса измельчения перед опорожнением были отобраны пробы после измельчения огарка шарами диаметром 40 *мм* из пяти точек, указанных на *рис. 5*.

В *табл. 3* приведены результаты гранулометрического анализа проб огарка, измельченного шарами диаметром 40 *мм* до загрузки цельпебсов с размерами 26х38.

Для проведения испытаний первоначально в мельницу мокрого помола было загружено 30 *т* цильпебсов. После чего был произведен запуск мельницы в работу и начата подача огарка на измельчение. После подачи питания в мельницу производили дополнительные загрузки по 5 *т* цильпебсов в следующем временном интервале: через 4 *ч*; 8 *ч*; 10 *ч* и 6 *ч*. Итого в течение 28 часовых испытаний в мельницу было загружено 50 *т* цильпебсов. Через 20 *ч* после осуществления последней дополнительной загрузки цильпебсов, отбирали пробы из пяти точек отбора проб (*рис. 5*) для проведения гранулометрического анализа. Результаты гранулометрического анализа после 20 *ч* измельчения цыльпебсами показаны в *табл. 4*.

Готовым классом измельченного огарка считаются частицы размером -0,074 *мм*. Как известно, увеличение содержания готового класса, а также снижение классов +0,074 *мм* и +0,15 *мм* в измельченном продукте является показателем оценки эффективности процесса измельчения (*рис. 6, 7, 8*) и увеличение данного показателя прямо пропорционально действует на изменение степени извлечения золота в процессе сорбционного цианирования.

В *табл. 5* приведены сравнительные результаты гранулометрических анализов огарков измельченных с использованием шаров диаметром 40 *мм*, и измельченных с помощью цильпебсов в период 48 *ч* испытаний.

Одним из ключевых факторов, свидетельствующим об изменениях, происходящих в процессе измельчения является изменение потребления электроэнергии. Как известно тонкое измельчение требует большого расхода энергии. В нашем случае данный фактор также отразился при замене шаров диаметром 40 *мм* на цильпебсы 26х38 в процессе измельчения огарков. При использовании шаров диаметром 40 *мм* расход электроэнергии составлял в среднем 7 400 *кВт/сутки* (сила тока 19 *А*). Во время испытаний цильпебсов расход увеличился до 13 800 *кВт/сутки* (сила тока 35 А). При этом использование цильпебсов в шаровой мельнице мокрого помола для измельчения огарков хвостов сорбционного цианирования биокека оказало положительное влияние на изменение содержания

Рис. 6. График изменения содержания готового класса -0,074 мм в сливе гидроциклона

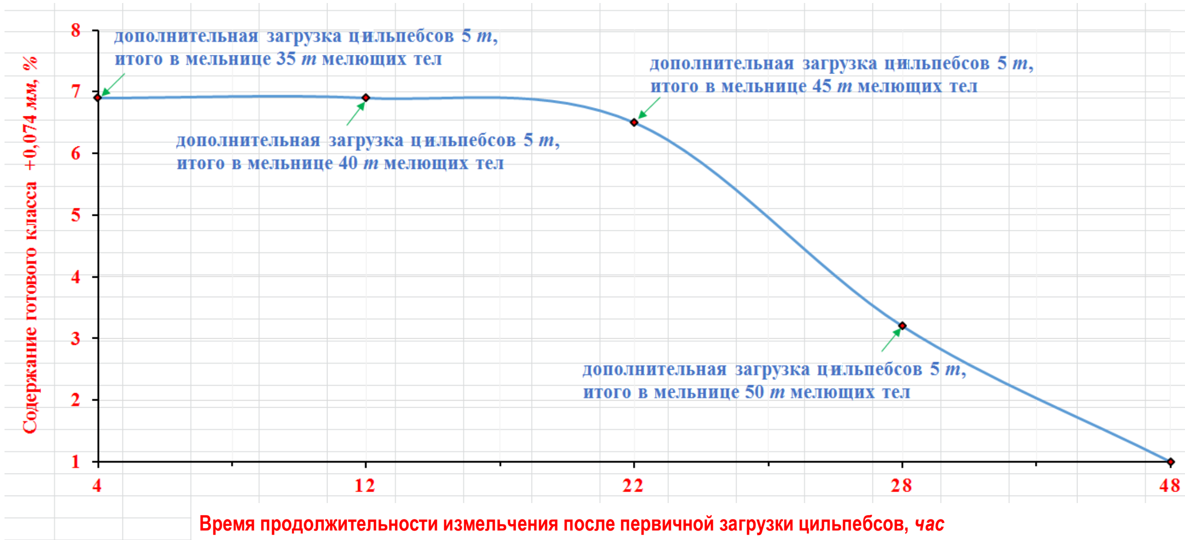


Рис. 7. График изменения содержания класса +0,074 мм в сливе гидроциклона

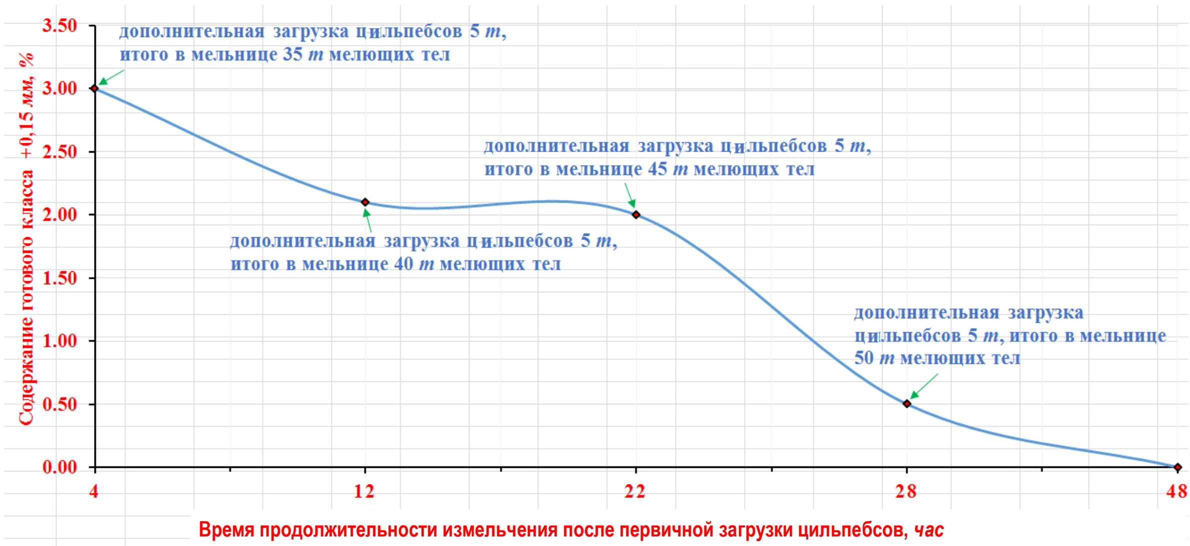


Рис. 8. График изменения содержания класса +0,15 мм в сливе гидроциклона

Таблица 5

Сравнение результатов гранулометрических анализов огарков измельченных с использованием шаров диаметром 40 *мм* и цильпебсами размером 26х38

Точка отбора пробы	Название пробы	Гранулометрический состав																			
		+0,15 *мм*				+0,074 *мм*				+0,044 *мм*				-0,044 *мм*				Итого				-0,074 *мм*		Плотность	
		С использованием шаров, Ø40 *м*		С использованием цильпебсов		С использованием шаров, Ø40 *м*		С использованием цильпебсов		С использованием шаров, Ø40 *м*		С использованием цильпебсов		С использованием шаров, Ø40 *м*		С использованием цильпебсов		С использованием шаров, Ø40 *м*		С использованием цильпебсов		С использованием шаров, Ø40 *м*	С использованием цильпебсов	С использованием шаров, Ø40 *м*	С использованием цильпебсов
		г	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*г*	*%*	*%*	*%*	*г/л*	*г/л*
I	Огарок после репульпатора	102	**23,1**	98	22,5	59	**13,3**	57	13,1	92	**20,8**	90	20,6	189	**42,8**	191	43,8	442	**100,0**	436	**100,0**	63,6	**64,4**	1300	1306
II	Огарок перед загрузкой в мельницу	60	**8,7**	26	**3,3**	128	**18,5**	90	**11,5**	243	**35,2**	277	**35,5**	260	**37,6**	388	**49,7**	691	**100,0**	781	**100,0**	72,8	**85,1**	1466	1505
III	Огарок после измельчения	32	**5,0**	11	**1,5**	109	**17,0**	56	**7,5**	209	**32,5**	251	**33,6**	293	**45,6**	428	**57,4**	643	**100,0**	746	**100,0**	78,1	**91,0**	1422	1483
IV	Слив гидроциклона	4	**1,1**	0	**0,0**	17	**4,7**	4	**1,0**	83	**22,7**	52	**13,3**	261	**71,5**	335	**85,7**	365	**100,0**	391	**100,0**	94,2	**99,0**	1261	1257
V	Пески гидроциклона	49	**6,3**	26	**3,1**	134	**17,2**	103	**12,2**	302	**38,9**	306	**36,2**	292	**37,6**	411	**48,6**	777	**100,0**	846	**100,0**	76,4	**84,8**	1503	1549

готового класса -0,074 *мм* в питании мельницы (в связи с тем, что в данный поток смешиваются огарок с репульпатора и пески гидроциклона), а также на увеличение содержания готового класса -0,074 *мм* в сливе гидроциклона до 99% (*рис. 4*). При использовании шаров диаметром 40 *мм* данный показатель составлял 94,2%. Данные гранулометрических анализов свидетельствуют об увеличении содержания готового класса в сливе гидроциклона на 4,8%, что указывает на положительное действие цильпебсов 26х38 в процессе измельчения огарков окислительного обжига хвостов сорбционного цианирования биокека.

В последующем с целью снижения расхода электроэнергии и оборотов мельницы произвели замену редуктора Z23 и вала на редуктор Z18 с соответствующим валом, что помогло снизить расход электроэнергии, затрачиваемой на измельчение до 8 300 *кВт/сутки* (сила тока 21 *А*). В связи с полученными положительными результатами при испытаниях цильпебсов 26х38 по увеличению содержания готового класса -0,074 *мм*, для измельчения огарков окислительного обжига хвостов сорбционного цианирования биокека на ГМЗ-3 был осуществлен полный переход на промышленное использование цильпебсов вместо шаров диаметром 40 *мм*.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 1 (96) pp. 39-43

USE OF GRINDING BODIES – CYLPEBS FOR GRINDING CANDICES OF TAILS OF SORPTION CYANIDATION OF BIOCAKE HYDROMETALLURGICAL PLANT No. 3

[1]***Sanakulov K.,*** *General Director - Chairman of the Board, Doctor of Technical Sciences, Professor.*
[2]***Akhatov N.A.,*** *Director*
[2]***Narbadalov Sh.I.,*** *Deputy Director for Production*
[2]***Turaev E.I.,*** *OGD Process Engineer*

[1]***JSC "Navoi Mining and Metallurgical Company", Navoi, Uzbekistan.***
[2]***Northern Mining Administration of JSC NMMC, Uchkuduk, Uzbekistan.***

In metallurgy the grinding process is included in the majority of technological schemes, as the intensity of many technological processes depends on the size of the surface of solid materials. The nature of the feedstock and the required degree of grinding determine the number of grinding stages, types of equipment and grinding bodies.

Results of industrial tests carried out at HMP-3 on milling of cinders of oxidative roasting of tailings of sorption cyanidation of biocake using grinding balls of cylpebs with dimensions 26x38 are provided in the article.

Keywords*: grinding balls, cylpebs, grinding bodies, grinding, sorption cyanidation, roasting, finished grade, granulometric analysis, hydrocyclone, hydrocyclone drain, biocake sorption of cyanidation tailings.*

УДК 553.078:553.495:553.045
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.011

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ ЗОЛОТА ПРИ ОБЖИГЕ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ ПРОДУКТОВ




Санакулов К.,
председатель правления – генеральный директор АО «НГМК»,
д.т.н., профессор

Хамидов Х.И.,
доцент кафедры «Металлургия» НГГТУ, DSc

Фузайлов О.У.,
доцент кафедры «Металлургия» НГГТУ, PhD

Нарзуллаев Ж.Н.,
и.о. доцента кафедры «Металлургия» НГГТУ, PhD

Zamonaviy analitik texnologiya shuni ko'rsatadiki, bugungi kunda o'zlashtirilayotgan ko'plab konlarda rudalarda oddiy oltin bilan bir qatorda nano o'lchamli metall ham mavjud bo'lib, o'tga chidamli xom ashyoni qayta ishlashning an'anaviy usullari bunday nozik dispersiyadagi oltinni samarali ajratib olishga imkon bermaydi. Ruda konlari va ishlab chiqarish namunalaridagi oltin nanozarrachalari hali to'liq tushunilmagan, ammo tavsiflash va tahlil qilish usullari, oltin namunalari namunalaridan foydalanish imkoniyati, ishlab chiqarish sohasida oltin nanozarrachalariga e'tiborning kuchayishi ularning ahamiyatini aniqlash uchun yangi turtki beradi.

Tayanch iboralar: *nanooltin, qazib olish texnologiyasi, vazifalar, xomashyo qarshiligi, ruda tarkibi, materiallar va usullar, skaner-lovchi elektron mikroskop, kuyish harorati, zarrachalar o'lchamlari.*

Современная аналитическая техника показывает, что во многих осваиваемых на сегодняшний день месторождениях наряду с обычным золотом в рудах присутствует металл наноразмерной крупности, и традиционные методы переработки упорного сырья не позволяют эффективно извлекать золото столь тонкой дисперсности. Наночастицы золота в рудных месторождениях и производственных образцах еще не полностью изучены, но методы определения характеристик и анализа, доступ к образцам золотосодержащей пробы и пристальное внимание к наночастицам золота в производственном секторе дают новый импульс для количественной оценки их значимости.

Ключевые слова: *нанозолото, технология извлечения, задачи, упорность сырья, состав руды, материалы и методы, сканирующий электронный микроскоп, температура обжига, размеры частиц.*

Внимание исследователей к изучению нанозолота значительно возросло. Петровская Н.В., Шумилова Л.В., Новгородова М.И. и др. в своих работах сходятся во мнении о присутствии значительного количества «невидимого» золота в природных объектах [1-3]. По оценкам экспертов, именно за счет более широкого вовлечения в эксплуатацию упорных золотосодержащих руд с ультратонкодисперсным золотом в текущем столетии, возможно, обеспечит основной прирост добычи металла в мире. Разработку усовершенствованных технологий извлечения ультрадисперсного золота необходимо вести в направлении от наногеохимии и наноминералогии к нанометаллургии золота [4].

В связи с этим, по мнению экспертов, необходимо решить следующие задачи:

– определить долю наноразмерного золота в общем объёме природных ресурсов и запасов золоторудных месторождений;

– изучить закономерности поведение природного нанозолота в ходе химико-металлургических операций при технологической переработке минерального сырья;

– при разработке технологических процессов переработки золоторудного сырья учитывать возможность новообразований наноразмерного золота, его физико-химические свойства (температуру плавления, кипения, химическую реакционную способность и агломерацию, устойчивость и др.).

Исследования свойств нанозолота показали, что оно имеет свои отличительные особенности [5-7]. В стандартных условиях свойства ультрамикроскопических золотин зачастую не имеют сходства с макрозолотом.

Для наноразмерных частиц золота характерны коллоидность, кластерность, разноцветность, агломерация, плавучесть, более низкая температура плавления, намагничиваемость, улетучиваемость и др.

Выделяя руды с дисперсным золотом в отдельную категорию, необходимо отметить, что технологическая упорность сырья с ультрадисперсным золотом определяется двумя основными факторами – нанозолото под физической депрессией и химически связанное нанозолото под физической депрессией.

Причины «физической депрессии» руд, следующие: поверхность золота закрыта оболочкой минералов, блокирующая к нему доступ цианидов, в составе руд имеются вещества, обладающие более высокой сорбционной активностью по отношению к золоту по сравнению с технологическим сорбентом [5].

Группа «химически связанного нанозолота под физической депрессией» включает следующие факторы: в составе руды присутствуют теллуриды, которые не растворяются в цианистых растворах; наличие в руде минералов и органических веществ, которые при взаимодействии с технологическими растворами и золото-цианистыми комплексами приводят к образованию роданидов и поглощающие растворенный кислород [5].

Таким образом, изучение ультрадисперсного золота и изучение возможности его извлечения из технологически упорного сырья является одной из наиболее важных задач, стоящих перед современной наукой, при решении которой необходимо учитывать неразрывную связь геохимии, геологии и металлургии.

Современные подходы к исследованию наночастиц (НЧ) золота.

Для изучения поведения наночастиц золота в процессе металлургии золота используется несколько экспериментальных методик:

1. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) [8] и трансмиссионная электронная микроскопия (ТЭМ). СЭМ и ТЭМ обеспечивают получение изображений высокого разрешения НЧ золота в различных металлургических образцах, позволяя визуализировать их размер, форму, распределение и взаимодействие с другими компонентами [9].

2. Рентгеновская дифракция (XRD): рентгенография используется для анализа кристаллической структуры НЧ золота и выявления любых фазовых изменений или образования сплавов в ходе металлургических процессов [10].

3. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS): ICP-MS определяет концентрацию НЧ золота и других видов золота в металлургических образцах, давая представление об их распределении и разделении в процессе обработки [11].

4. Методы анализа поверхности: методы анализа поверхности, такие как рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS) и атомно-силовая микроскопия (AFM), позволяют выяснить химический состав, заряд поверхности и топографию НЧ золота, которые влияют на их поведение в металлургических процессах [12].

Материалы и методы.

В качестве объектов исследования были выбраны продукты флотации руд месторождений «Даугызтау», пена с биореакторов биоокисления и биокек после первичных реакторов биоокисления гидрометаллургического завода № 3 АО «Навоийского горно-металлургического комбината».

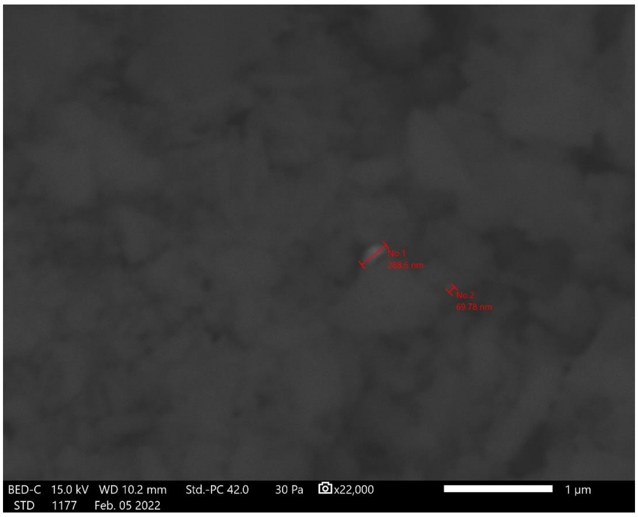
Обсуждение результатов.

Наночастицы золота в образцах флотоконцентрата месторождения «Даугызтау» при различных температурах.

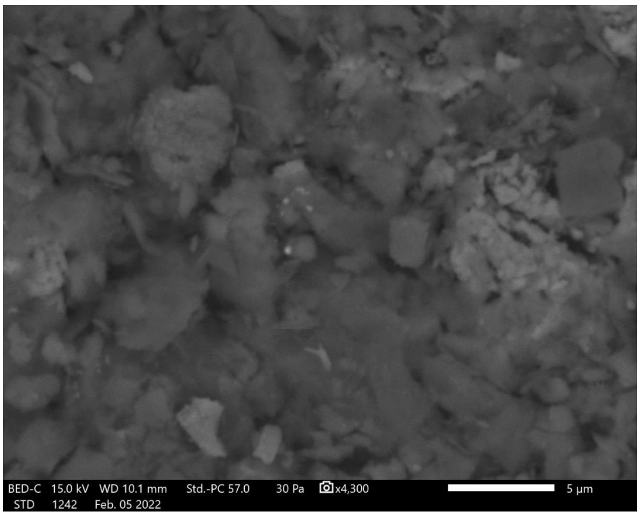
Поскольку концентрация золота в концентратах выше, чем в необработанной руде, при обжиге образцов образуются наночастицы золота, которые можно наблюдать с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL IT200, который в настоящее время обеспечивает лучшее разрешение в Узбекистане.

Следует отметить, что в сульфидных концентратах на том же оборудовании не наблюдалось частиц нанозолота, что может свидетельствовать об образовании наночастиц золота из еще более мелких наночастиц золота, внедренных в сульфидные минералы. Окисление сульфидных минералов в пористый гематит может играть большую роль в образовании этих наночастиц золота.

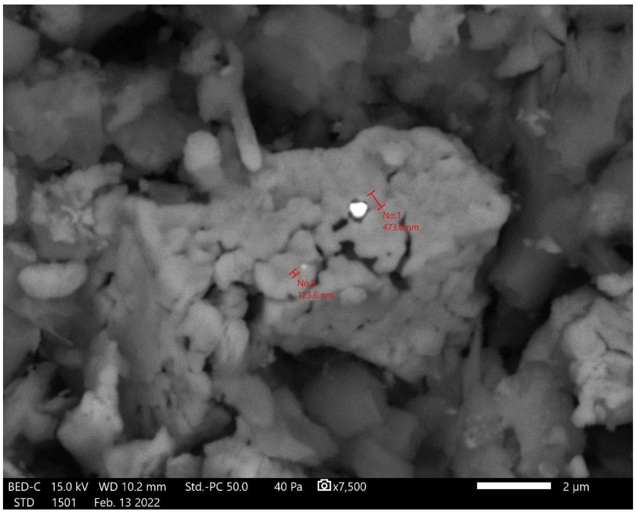
а) температура 390ºС, размер частиц 206 нм и 264 нм



б) температура 390ºС, размеры частиц 288 нм и 70 нм

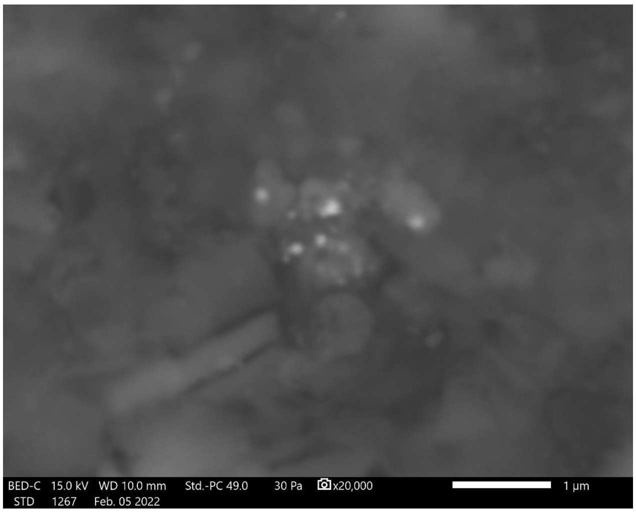


в) температура 698ºС, 3 частиц размером 400-450 нм

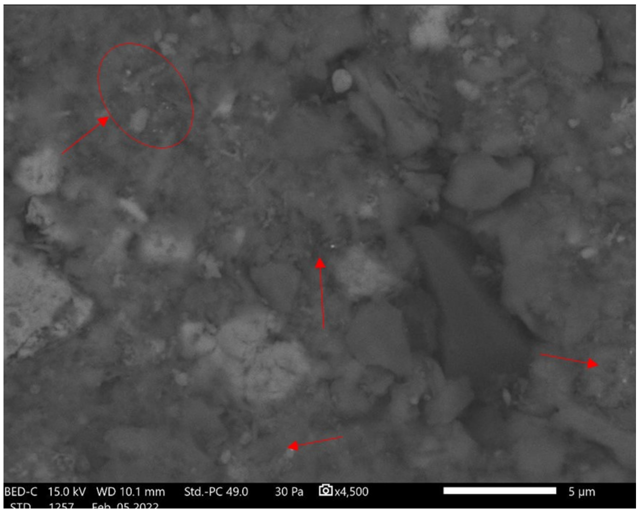


г) температура 759ºС, частиц около 125 и 475 нм, расположены на минерале маггемит (непористая структура)

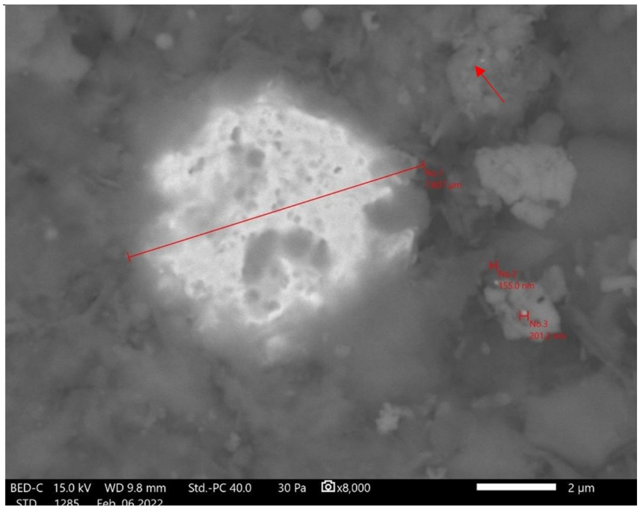
Рис. 1. Частицы золота нанометрового и микрометрового размера, наблюдаемые в пробе «Флотоконцентрат месторождения «Даугызтау»» при различных температурах обжига (а-г)



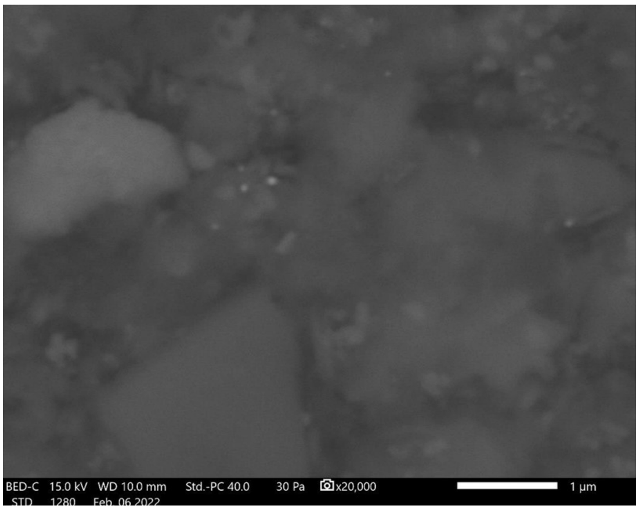
а) температура 300ºС, размеры частиц от 120 до 250 нм



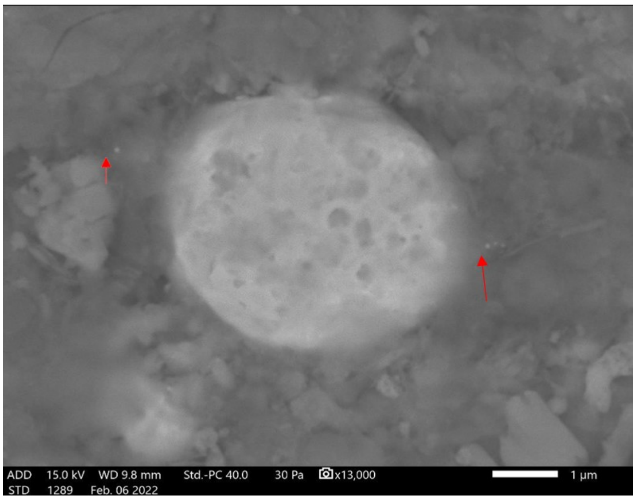
б) температура 300ºС, все яркие частицы – наночастицы золота



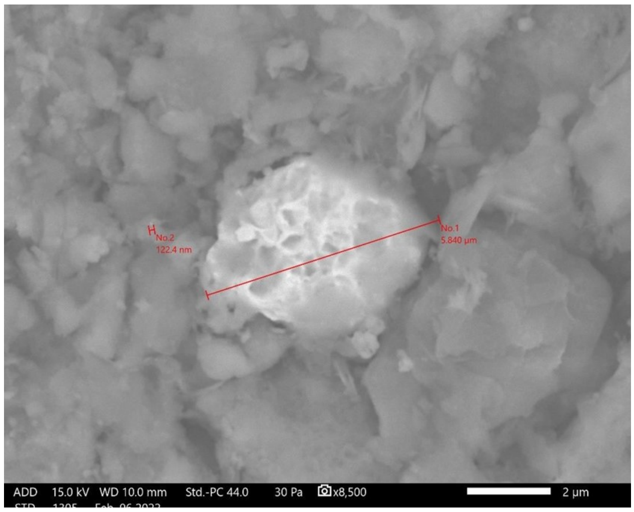
в) температура 490ºС, крупные частицы золота размером около 8 микрон и более мелкие наночастицы размером 150 и 200 нм



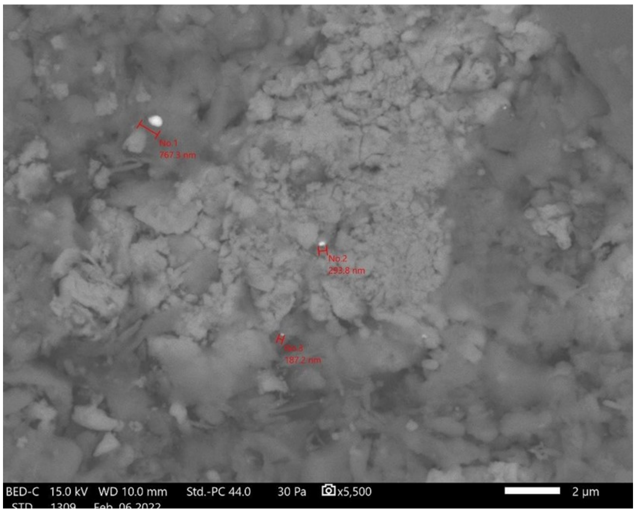
г) температура – 490ºС, размер наночастиц 100 нм



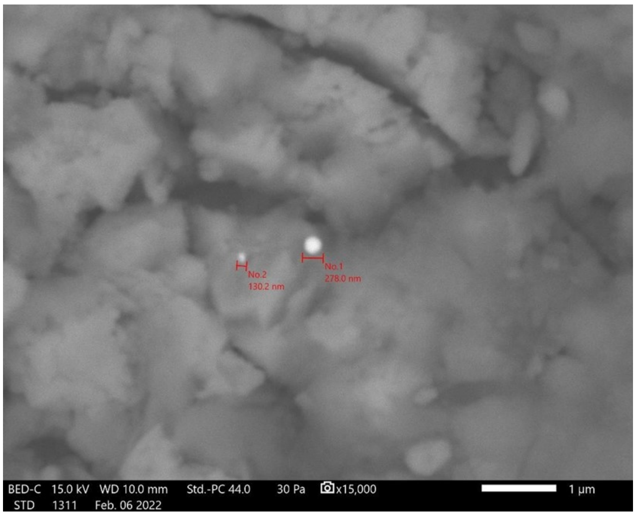
д) температура 490ºС, крупные частицы золота размером около 5 микрон и более мелкие наночастицы размером от 50 до 100 нм



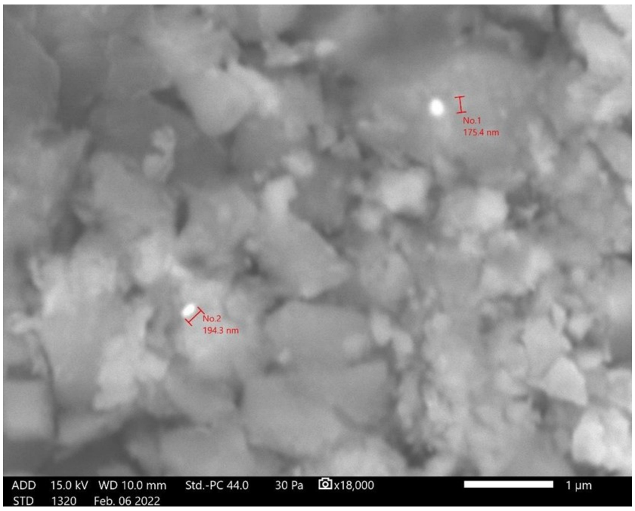
е) температура 625ºС, крупные частицы золота размером около 6 микрон и меньшие наночастицы размером 120 нм



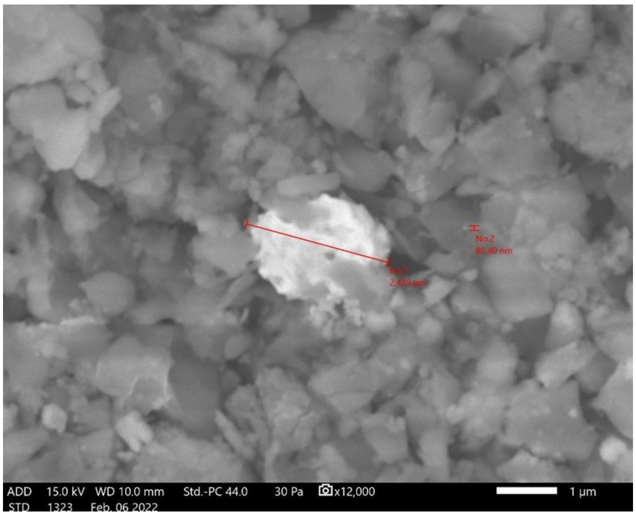
ж) температура 625ºС, наночастицы золота размером от 180 нм до 770 нм



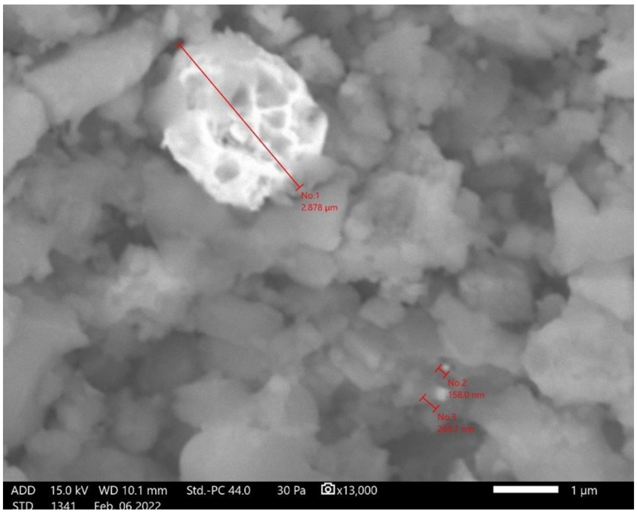
з) температура 625ºС, размер наночастиц золота 130 нм и 280 нм



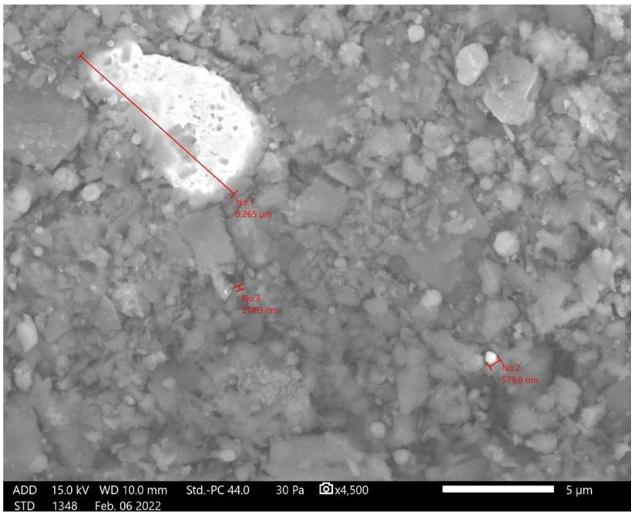
и) температура – 800ºС, размер наночастиц золота 175 нм и 195 нм



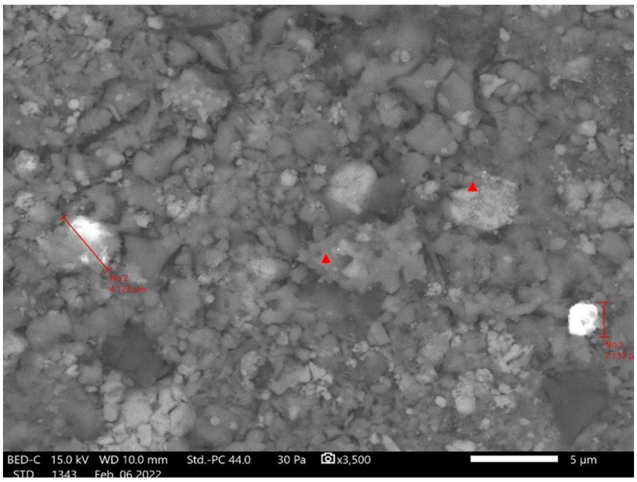
к) температура 800ºС, крупные частицы золота размером около 2,5 микрон и меньшие наночастицы размером 80 нм



л) температура 800°С, крупные частицы золота размером около 3 микрон и более мелкие наночастицы размером 160 нм и 270 нм



м) температура 800ºС, крупные частицы золота размером около 9 микрон и более мелкие наночастицы размером 220 нм и 580 нм



н) температура 800ºС, крупные частицы золота размером около 4 и 2 микрон и наночастицы меньшего размера, показанные красными стрелками (яркие частицы)

Рис. 2. Частицы золота нанометрового и микрометрового размера, наблюдаемые в пробе «Пена с реакторов биоокисления» при различных температурах обжига (а-н)

Наблюдаемые размеры наночастиц золота варьируются примерно от 70 *нм* (в образце могут быть наночастицы золота меньшего размера, но оборудование не имеет желаемого разрешения для наблюдения частиц меньшего размера).

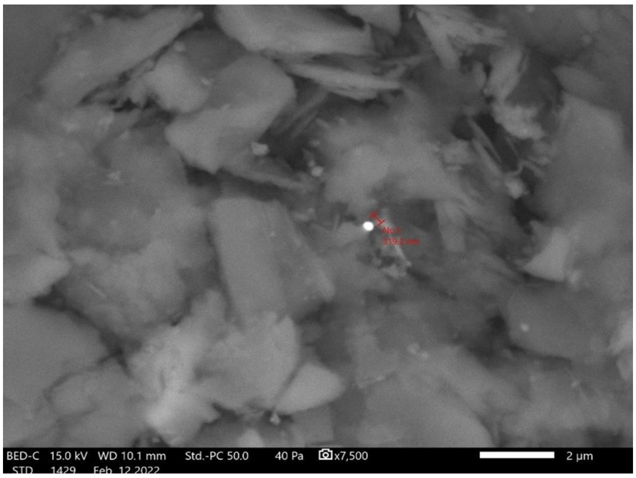
На *рис. 1* показаны примеры наблюдаемых наночастиц золота и частиц микронного размера, температура обжига и размеры частиц.

Наночастицы золота в образцах «пена с реакторов биоокисления» при обжиге в разных температурах.

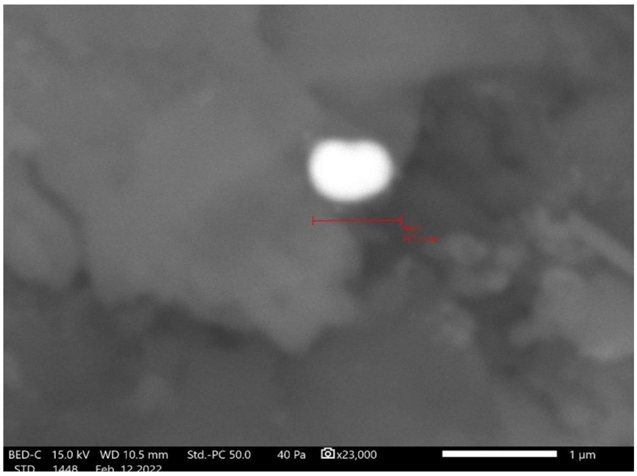
В образце «пена с биореакторов биоокисления» высокая концентрация золота, поэтому обжиг образца при заданных температурах привел к образованию наночастиц золота, которые можно было наблюдать с помощью СЭМ. При предыдущем СЭМ-анализе образца «пена с биореакторов биоокисления» наночастиц золота обнаружено не было.

Наблюдаемые размеры наночастиц золота варьируются от примерно 80 *нм* (в образце могут быть более мелкие наночастицы золота, но оборудование не имеет желаемого разрешения для наблюдения за более мелкими частицами), а при увеличении температуры обжига наблюдается большее количество более крупных микрон, тем самым размер золотых частиц увеличивается.

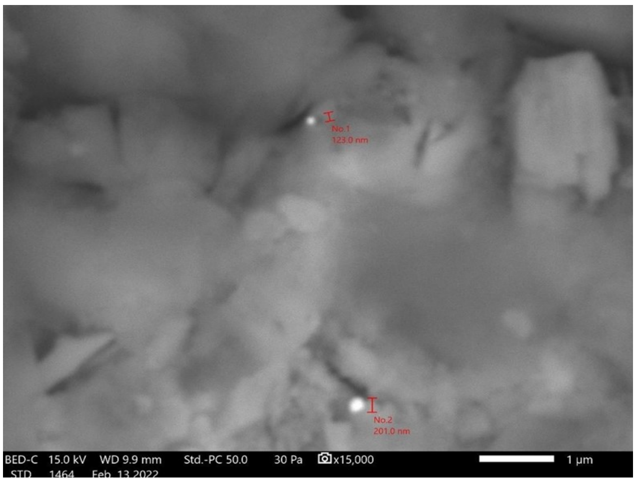
На *рис. 2* показаны примеры наблюдаемых наночастиц золота и частиц микронного размера, температура обжига и размеры частиц.



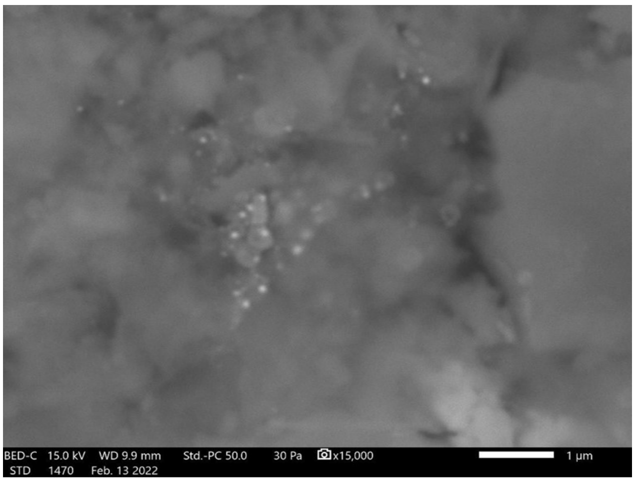
а) температура 435ºС, размер частиц около 320 нм



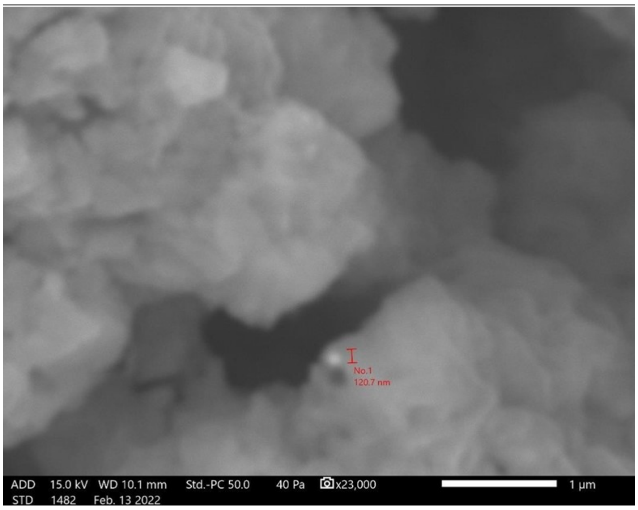
б) температура 500ºС, размер частиц около 800 нм, частица золота прикреплена к поверхности сульфата кальция, по данным СЭМ картирования



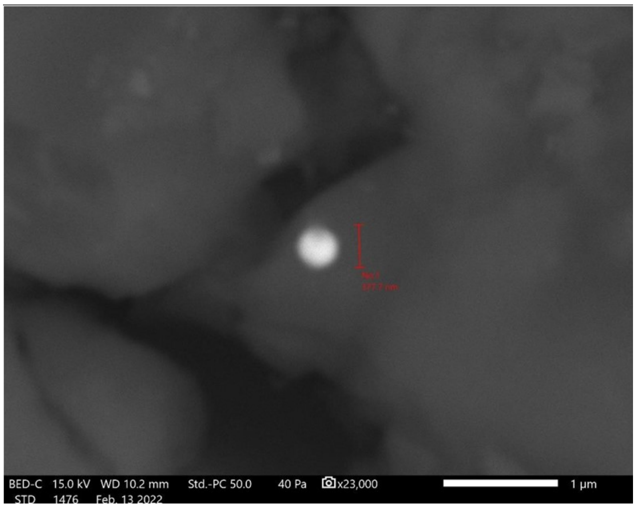
в) температура 560ºС, наночастицы золота размером 120 нм и 200 нм



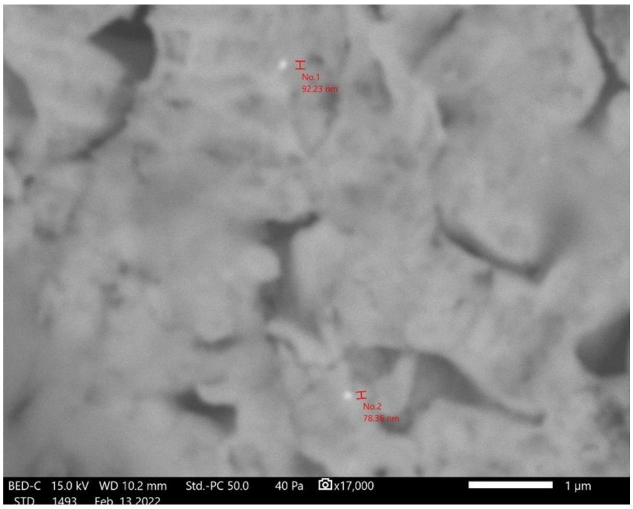
г) температура 560ºС, наночастицы размером 100 нм и меньше, все блестящие частицы – наночастицы золота, наблюдаемые на поверхности силикатных минералов



д) температура 700ºС, наночастицы размером от 120 нм наблюдаются на поверхности частицы оксида железа



е) температура 700ºС, на поверхности силикатного минерала наблюдаются наночастицы золота размером 380 нм



ж) температура 700ºС, наночастицы золота размером от 80 до 90 нм наблюдаются на частице оксида железа

Рис. 3. Частицы золота нанометрового и микрометрового размера, наблюдаемые в пробе «отмытый биокек после первичных реакторов биоокисления» при различных температурах обжига (а-ж)

В образцах «пена с реакторов биоокисления», обожженных при разных температурах, наблюдалось большое количество частиц золота как нанометрового, так и микрометрового размера. Количество более крупных частиц золота увеличивается в образцах, обожженных при более высоких температурах, но мы все еще можем наблюдать в образцах множество более мелких частиц золота размером около 100 *нм*.

Увеличение могло быть связано с агломерацией более мелких частиц золота в образце, или это было просто случайностью, когда мы обжигали образец из той части образца, где было много золотых частиц.

Наночастицы золота в образцах биокека после первичных реакторов биоокисления при различных температурах.

В образце биокека после первичных реакторов биоокисления высокая концентрация золота, поэтому обжиг образца при заданных температурах привел к образованию наночастиц золота, которые можно было наблюдать с помощью СЭМ в Узбекистане. При предыдущем СЭМ-анализе образца «отмытый биокек после первичных реакторов биоокисления» наночастиц золота обнаружено не было.

Наблюдаемые размеры наночастиц золота варьируются примерно от 80 *нм* (в образце могут быть более мелкие наночастицы золота, но оборудование не имеет желаемого разрешения для наблюдения за более мелкими частицами), а при увеличении температуры обжига наблюдается большее количество более крупных *микрон,* размер золотых частиц увеличивается. Частицы золота в пробах не связаны с определенным минералом, иногда это наблюдается с сульфатом кальция.

Количество наблюдаемых наночастиц золота меньше в пробе отмытый биокек после первичных реакторов биоокисления по сравнению с образцом «пена с реакторов биоокисления», но больше, чем в пробах флотоконцентрата.

На *рис. 3* показаны примеры наблюдаемых наночастиц золота и частиц микронного размера, температура обжига и размеры частиц.

Выводы.

Таким образом более крупные частицы золота микрометрового размера наблюдались в образце «пена с реакторов биоокисления» при повышении температуры обжига, хотя это может указывать на то, что размеры частиц золота увеличиваются при более высоких температурах, наблюдение более мелких наночастиц вместе с частицами золота микрометрового размера показывает, что прямой связи между более высокими температурами и размерами частиц золота может и не быть.

Наночастицы золота наблюдались в обожженных образцах флотоконцентрата месторождения «Даугызтау», отмытого биокека после первичных реакторов и в пене с реакторов биоокисления. Концентрация золота в этих образцах изначально была высокой, и это позволило наблюдать достаточное количество наночастиц на поверхности образцов.

Разрешения оборудования СЭМ было достаточно для наблюдения наночастиц золота размером 50 *нм* и более. Сканирующий электронный микроскоп с более высоким разрешением и автоматизацией должен выявить больше наночастиц золота, возможно, даже в других образцах.

Наблюдаемые наночастицы золота не связаны с какими-либо определенными минералами, они наблюдаются на поверхности силикатных минералов, частиц сульфата кальция и оксида железа. На поверхности углеродистых частиц этого не наблюдалось.

Библиографический список:

1. Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973. – 218 с.
2. Шумилова Л.В. Геолого-технологическая классификация золотосодержащих руд с дисперсными формами нахождения металла // Горный информационный аналитический бюллетень. – Москва, 2009. – № 4. – С. 215-219.
3. Новгородова М.И. Нанокристаллы самородного золота и их срастания // Новые данные о минералах. Вып. 39. – М.: Наука, 2004. – С. 83-93.
4. Меретуков М.А., Санакулов К.С., Зимина А.В., Арустамян М.А. Золото: химия для металлургов и обогатителей. — М.: ИД «Руда и Металлы», 2014. – 387 с.
5. Санакулов К., Хамроев И.О. Перспективы, свойства и формирование нанозолота. Типизация ультрадисперсных (нано) золотосодержащих руд. Классификация форм нахождения проявлений природного золота проявлений с агрегацией свободного нанозолота // Цветные металлы. – № 9. – Москва.: ИД «Руда и Металлы», 2021. – С. 1-24.
6. Gimeno M., Laguna A. Comprehensive coordination chemistry // ed. Mc. Cleverty, T. Meyer. – N.Y.: Elsevier, 2009, pp. 911-1145.
7. Reich M., Utsunomia S., Kesler S.E., Wang L. et al. Thermal behavior of metal nanoparticles in geologic materials // Geology. – 2006. – Vol. 34, pp. 1033-1036.
8. Houg R.M., Noble R.R.P., Reich M. Natural gold nanoparticles // Ore Geology Reviews. 42 (2011), pp. 55-61.
9. Amanda S. Barnard and Haibo Guo. Nature's Nanostructures Copyright © 2012 Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. ISBN 978-981-4316-82-8 (Hardcover), 978-981-4364-21-8 (eBook) www.panstanford.com.
10. Olasupo Daniel Ogundare, Ojo Jeremiah Akinribide, Adelana Rasak Adetunji, tion in Industry. Crystallite size determination of thermally deposited Gold Nanoparticles // Procedia Manufacturing 30 (2019), pp. 173-179.
11. Reich M., Chryssoulis S.L., Deditius A., Palacios C., Zuniga A., Weldt M., & Alvear M. (2010). "Invisible" silver and gold in supergene digenite (Cu1.8S). Geochimica et Cosmochimica Acta, 74(21), pp. 6157-6173.
12. Seitz O., Chehimi M.M., Cabet-Deliry E., Truong S., Felidj N., Perruchot C., Watts J.F. (2003). Preparation and characterisation of gold nanoparticle assemblies on silanised glass plates. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 218(1-3), pp. 225, 239.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 1 (96) pp. 44-50

STUDY OF THE BEHAVIOR OF GOLD NANOPARTICLES AT ROASTING OF GOLD-CONTAINING PRODUCTS

[1]**Sanakulov K.**, Chairman of the Board - General Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.
[2]**Khamidov Kh.I.**, Professor of the Department of Metallurgy, DSc.
[2]**Fuzailov O.U.**, Associate Professor of the Department of Metallurgy, PhD.
[2]**Narzullaev Zh.N.**, doctoral student.

[1]**JSC «Navoi Mining and Metallurgical Company», Navoi, Uzbekistan.**
[2]**Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan.**

Modern analytical technology shows that in many deposits being developed today, along with ordinary gold, nanosized metal is present in the ores, and traditional methods of processing refractory raw materials do not allow for the effective extraction of gold of such fine dispersion. Gold nanoparticles in ore deposits and production samples are not yet fully understood, but characterization and analytical techniques, access to gold sample samples, and increased focus on gold nanoparticles in the production sector are providing new impetus to quantify their significance.

Keywords: nanogold, extraction technology, tasks, resistance of raw materials, ore composition, materials and methods, scanning electron microscope, firing temperature, particle sizes.

Bibliographic list:

1. Petrovskaya N.V. Native gold. – M.: Nauka, 1973. – 218 p.
2. Shumilova L.V. Geological and technological classification of gold-bearing ores with dispersed forms of metal occurrence // Mining Information Analytical Bulletin. – Moscow, 2009. – No. 4, pp. 215-219.
3. Novgorodova M.I. Nanocrystals of native gold and their intergrowth // New data on minerals. Vol. 39. – M.: Nauka, 2004, pp. 83-93.
4. Meretukov M.A., Sanakulov K.S., Zimina A.V., Arustamyan M.A. Gold: chemistry for metallurgists and enrichers. – M.: Publishing House "Ore and Metals", 2014. – 387 p.
5. Sanakulov K., Khamroev I.O. Prospects, properties and formation of nanogold. Typification of ultrafine (nano) gold ores. Classification of forms of occurrence of natural gold manifestations with aggregation of free nanogold // Non-ferrous metals. – No. 9. – Moscow.: Publishing House "Ore and Metals", 2021, pp. 1-24.
6. Gimeno M., Laguna A. Comprehensive coordination chemistry // ed. Mc. Cleverty, T. Meyer. – N.Y.: Elsevier, 2009, pp. 911-1145.
7. Reich M., Utsunomia S., Kesler S.E., Wang L. et al. Thermal behavior of metal nanoparticles in geologic materials // Geology. – 2006. – Vol. 34, pp. 1033-1036.
8. Houg R.M., Noble R.R.P., Reich M. Natural gold nanoparticles // Ore Geology Reviews. 42 (2011), pp. 55-61.
9. Amanda S. Barnard and Haibo Guo. Nature's Nanostructures Copyright © 2012 Pan Stanford Publishing Pte. Ltd. ISBN 978-981-4316-82-8 (Hardcover), 978-981-4364-21-8 (eBook) www.panstanford.com.
10. Olasupo Daniel Ogundare, Ojo Jeremiah Akinribide, Adelana Rasak Adetunji, tion in Industry. Crystallite size determination of thermally deposited Gold Nanoparticles // Procedia Manufacturing 30 (2019), pp. 173-179.
11. Reich M., Chryssoulis S.L., Deditius A., Palacios C., Zuniga A., Weldt M., & Alvear M. (2010). "Invisible" silver and gold in supergene digenite (Cu1.8S). Geochimica et Cosmochimica Acta, 74 (21), pp. 6157-6173.
12. Seitz O., Chehimi M.M., Cabet-Deliry E., Truong S., Felidj N., Perruchot C., Watts J.F. (2003). Preparation and characterisation of gold nanoparticle assemblies on silanised glass plates. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 218 (1-3), pp. 225, 239.

УДК 622.235

DOI:10.54073/GV.2024.1.96.012

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ЗАБОЙКИ ПО СКВАЖИНЕ С УЧЕТОМ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ




Умаров Ф.Я.,
директор
АФ НИТУ «МИСИС»,
д.т.н., профессор

Худайбердиев О.Ж.,
доцент кафедры
«Высшая математика и
информационные технологии»
НГГТУ, PhD

Джураева Н.М.,
старший преподаватель кафедры
«Высшая математика и
информационные технологии»
НГГТУ

Заирова Ф.Ю.,
инженер
ИЦВНТ Департамента инновационного
развития АО «НГМК»

Ushbu maqola tashqi omillarga, ya'ni atrof-muhit haroratiga qarab tiqin harakatini aniqlash muammosini hal qiladi. Tiqin harakat tenglamasi doimiy koeffitsientli ikkinchi tartibli bir hil bo'lmagan differensial tenglama shaklida ko'rib chiqiladi.

Tayanch iboralar: *quduq, tiqin, detonatsiya, bosim, portlash, bir jinsli va bir jinsli bo'lmagan differentsial tenglama, portlovchi moddalar, kon jinsi.*

В данной статье решается задача определения движения забойки в зависимости от внешних факторов, а именно от температуры внешней среды. Уравнение движения забойки рассмотрено в виде неоднородного дифференциального уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами.

Ключевые слова: *скважина, забойка, детонация, давление, взрыв, дифференциальное уравнение, полиномиальное внешнее воздействие, взрывчатые вещества, горная порода.*

При ведении горных работ на карьерах буровзрывным способом выделяется огромное количество пыли и ядовитых газообразных продуктов, на интенсивность образования которых влияют: метод взрывания, ассортимент используемых взрывчатых веществ (ВВ), метод бурения взрывных скважин, тип и вид забойки, обводнённость массива, свойства горных пород, метеоусловия и др. [1-5].

Установлено, что при взрыве 1 *кг* ВВ из образуемых в среднем 900-1000 *л* различных газов и газообразных продуктов 15% являются ядовитыми и опасными для человека и окружающей среды.

Для предотвращения пылегазовыделений в настоящее время применяют различные типы забоек, которые оказывают влияние не только на уменьшение объёма выбросов, но и на эффективность и безопасность взрывных работ, способствует наиболее полному использованию энергии взрыва и увеличивает время воздействия продуктов взрывчатого превращения.

На сегодняшний день во всем мире для уменьшения выбросов пыли и газообразных продуктов ВВ разрабатываются новые типы забоек, изучается процесс формирования и распространения пылегазового облака, разрабатываются методы снижения уровня пылевого загрязнения.

Возникает необходимость в выполнении научных исследований по моделированию параметров забойки в скважинных зарядах ВВ, исследованию образования пыли и ядовитых газов при массовых взрывах на глубоких карьерах, разработке методики получения поглотительного раствора, способного нейтрализовать ядовитые соединения после взрыва, разработке методов и способов уменьшения пылегазовыделений при ведении буровзрывных работ на карьерах [6].

При создании математических моделей возможно найти пути повышения эффективности эксплуатации скважин.

Рациональные параметры забойки зависят от многих факторов, характеризующих свойства ВВ и забоечного материала, конструкции заряда, а также среды, в которой производится взрыв [7]. Забойка увеличивает эффективную длину ударной волны и начальное давление газов взрыва.

В соответствии с теорией разрушения пород отраженной волной линия наименьшего сопротивления (л.н.с.), преодолеваемая взрывом заряда ВВ, пропорциональна эффективной длине волны, поэтому забойка должна обеспечить сохранение высокого давления в зарядной полости в течение промежутка времени, достаточного для завершения отколообразования во всей области от свободной поверхности до зарядной полости [7].

Забойка увеличивает длительность поршневого воздействия продуктов детонации на стенки зарядной полости и первичных (радиальных) трещин, образовавшихся на границе с зарядной полостью в процессе возникновения и прохождения ударной волны взрыва.

Согласно исследованиям Беляева А.Ф. и Садовского М.А. [8], при одинаковой величине импульса взрыва объем общих форм работы взрыва (раскалывание, расчленение, дробление породы на значительном удалении от забоя) тем больше, чем больше длительность импульса, т. е. чем дольше воздействует давление газов взрыва на стенки зарядной полости.

Без забойки происходит излишне мелкое дробление в ближней зоне и крупное дробление в дальней зоне взрыва, поскольку короткий импульс часть энергии взрыва передает на более высоких частотах, которые сильно поглощаются горными породами.

В результате – локальное переизмельчение горных пород вблизи заряда и разрушение их на крупные куски в отдельных зонах пониженной прочности вдали от заряда. Поэтому взрывание без забойки более чем вдвое увеличивает выход негабаритных фракций и диаметр среднего куска по сравнению с взрывами при полной забойке [9].

При наличии естественной влажности, в итоге приводящей к значительной вязкости, повышается прочность грунта горной породы, обусловленная усилением структурных связей грунта за счёт сцепления.

С повышением хрупкости при понижении вязкости сопротивляемость разрушению снижается.

Также важной особенностью пород при воздействии таких факторов внешней среды как дождь, снег, изменение температуры среды являются ярко выраженные реологические свойства.

Прочность грунта оказывает основное влияние на разрушение породы взрывом.

Описанные явления имеют место в той или иной мере при ведении взрывных работ.

При определении параметров БВР указанные особенности сложно учесть ввиду их бесконечного многообразия, поэтому в научно-технической литературе особенности мёрзлых грунтов учитываются увеличением удельного расхода ВВ на 15-20% [10-14].

Таким образом, в настоящее время для повышения полезного использования энергии взрыва наиболее приемлема такая забойка, которая при минимальных материальных и трудовых издержках производства обеспечивает максимальную прибыль, за счет высокой эффективности взрыва.

Основной задачей проведенных исследований являлось не столько выяснение целесообразности применения забойки, сколько решение вопроса применения забойки при внешних воздействиях окружающей среды.

Учитывая внешние воздействия на горную породу, уравнение движения для забойки в скважине задается в виде:

$$m_з \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = S_c P(1-\sigma), \tag{1}$$

с начальными условиями

$$z(0) = z'(0) = 0 \tag{2}$$

где S_c – площадь поперечного сечения скважины, *м²*;

P – давление в продуктах детонации, *Па*;

σ – коэффициент трения скольжения;

η – коэффициент вязкости;

$m_з$ – масса забойки, *кг*.

Так как на горную породу, которую требуется взрывать, действуют различные внешние воздействия [15, 16], то рассмотрим уравнение (1) в следующем виде:

$$m_з \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = a + f(t), \tag{3}$$

где функция *f(t)* определяет внешнее воздействие и обозначено

$$a = \frac{S_c P(1-\sigma)}{m_з}.$$

Уравнение (3) будем решать и исследовать, когда функция *f(t)* определяется как полиномиальное внешнее воздействие, а точнее, когда функция *f(t)* является линейной или квадратичной функцией.

Эти случаи можно рассмотреть, когда погода дождливая или идет снег, во временных периодах поздней весны или ранней осенью.

В такое время грунт горной породы впитывает влагу и это отразится на структуре забойки и действии ВВ в скважине [17, 18].

В этом случае уравнение (3) примет один из следующих видов:

$$m_з \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = a + At + B' \tag{4}$$

или

$$m_з \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = a + At^2 + Bt + C. \tag{5}$$

Решаем каждое уравнение в отдельности.

Пусть, внешнее воздействие имеет линейный характер, тогда имеем:

$$m_з \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = a + At + B$$

Решение этого уравнения, по известному методу из курса высшей математики, будем искать в виде:

$$z_{об} = z_{од} + z_ч \tag{6}$$

где $z_{об}$ – общее решение;

$z_{од}$ – решение однородного уравнения, левой части (4);

$z_ч$ – некоторое частное решение уравнения (4).

Пропуская элементарные выкладки, приведем окончательное общее решение уравнения (4) в виде:

а) $$z = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + \frac{A}{\eta} t + \frac{c\eta + A\delta}{\eta^2}; \tag{7}$$

б) $$z = (C_1 + C_2 t) e^{kt} + \frac{A}{\eta} t + \frac{c\eta + A\delta}{\eta^2}; \tag{8}$$

в) $$z = e^{\frac{\delta}{2m_з}t} \left[C_1 \cos \frac{\sqrt{\delta^2 - 4m_з\eta}}{2m_з} t + C_2 \sin \frac{\sqrt{\delta^2 - 4m_з\eta}}{2m_з} t \right] + \frac{A}{\eta} t + \frac{c\eta + A\delta}{\eta^2}. \tag{9}$$

Пусть, внешнее воздействие имеет квадратичный характер, тогда имеем уравнение вида (5), т.е.

$$m_з \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = At^2 + Bt + D. \tag{*}$$

где для краткости обозначено *d = a + C*.

В этом случае получим следующие общие решения:

а) $$z = C_1 e^{k_1 t} + C_2 e^{k_2 t} + \frac{A}{\eta} t^2 + \frac{B - 2A\delta}{\eta} t + \frac{D - 2A + B\delta}{\eta}; \tag{10}$$

б) $$z = C_1 z = (C_1 + C_2 t) e^{kt} + \frac{A}{\eta} t^2 + \frac{B - 2A\delta}{\eta} t + \frac{D - 2A + B\delta}{\eta}; \tag{11}$$

в) $$z = C_1 z = z = e^{\frac{\delta}{2m_з}t} \left[C_1 \cos \frac{\sqrt{\delta^2 - 4m_з\eta}}{2m_з} t + C_2 \sin \frac{\sqrt{\delta^2 - 4m_з\eta}}{2m_з} t \right] + \frac{A}{\eta} t^2 + \frac{B - 2A\delta}{\eta} t + \frac{D - 2A + B\delta}{\eta}. \tag{12}$$

Итак, полученные общие решения (7)-(9) – линейные и (10)-(12) квадратичные решения дают полную картинку движения забойки по скважине в условиях внешнего воздействия.

Полученные результаты можно применять для интенсификации технологических процессов буровзрывных работ при разработке месторождений Кызылкумского региона открытым способом, позволяющих обеспечить необходимое качество взорванной горной массы, возможность управления формой и параметрами развала, сохранение геологической структуры массива и сокращение времени подготовительно-восстановительных работ что подтверждается с приведенными данными авторов работ [19, 20].

Таким образом, созданы математические модели при движении забойки по скважине в условиях внешнего воздействия, получены соответствующие общие решения полиномиальных уравнений, которые можно рассматривать, когда погода дождливая или идет снег, во временных периодах поздней весны или ранней осенью.

В такое время грунт горной породы впитывает влагу и это отражается на структуре забойки и действии ВВ в скважине.

Библиографический список:

1. Заиров Ш.Ш., Норматова М.Ж. Разработка способа снижения пылегазовыделений при ведении взрывных работ на карьерах // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2016. – №4. – С. 33-34.
2. Мислибаев И.Т., Заиров Ш.Ш., Тухташев А.Б., Норматова М.Ж. Уменьшение пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах // Известия вузов. Горный журнал. – Екатеринбург. – №2, 2017. – С. 39-43.
3. Заиров Ш.Ш., Норматова М.Ж. Разработка конструкции и параметров скважинных зарядов взрывчатых веществ при контурном взрывании для получения устойчивых откосов уступов // Известия вузов. Горный журнал. – Екатеринбург. – №2, 2017. – С. 68-76.
4. Заиров Ш.Ш., Шарипов З.С., Норматова М.Ж. Расчет параметров пылегазового загрязнения атмосферы при производстве массовых взрывов на карьерах // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2017. – №1. – С. 33-35.
5. Норов Ю.Д., Заиров Ш.Ш., Норматова М.Ж., Равшанова М.Х. Исследование закономерностей формирования развала и определение оптимальных параметров подпорной стенки при массовых взрывах на карьерах Кызылкумского региона // Горный журнал. Цветные металлы. Специальный выпуск. – Москва, 2017. – С. 76-80.
6. Заиров Ш.Ш., Худайбердиев О.Ж., Норматова М.Ж., Номдоров Р.У. Исследование и математическое моделирование параметров забойки в скважинных зарядах взрывчатых веществ. Горный вестник Узбекистана. – № 1 (80) 2020. – Навои, 2020. – С. 66-73.
7. Лещинский А.В., Шевкун Е.Б. Забойка взрывных скважин на карьерах. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2008. – 224 с.
8. Беляев А. Ф., Садовский М. А. О природе фугасного и бризантного действия взрыва // Физика горения и взрыва. 1952. № 1. С. 32–38.
9. Демидюк Г. П. и др. Влияние забойки на степень дробления горных пород взрывом // Взрывное дело № 53/10. М.: Недра. 1963. С. 96–105.
10. Фраш Г.Б. Взрывные работы в сезонно-мерзлых грунтах: справочное пособие / Г. Б. Фраш. – Москва : Недра, 1990 – 112 с.
11. ШушеринаЕ. П. Микростроение мерзлых глинистых пород при их охлаждении от -5 до -50 / Е. П. Шушерина, М. И. Заболотская, В. В. Рогов // Вестник МГУ им. М.В. Ломоносова, сер. 4. Геология. – 1975. – № 6. – С. 106-108.
12. Балбачан И.П. Взрывные работы в мерзлых грунтах: обзор / И. П. Балбачан. – Москва : ЦНИЭИуголь, 1979. – 35 с.
13. Бондаренко И.Ф. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И. Ф. Бондаренко, С. Н. Жариков, И. В. Зырянов и др. – Екатеринбург : ИГД УрО РАН, 2017. 42. Ведомственные строительные нормы. Нормы проектирования и производства буровзрывных работ при сооружении земляного полотна. ВСН 178 – 91. – Москва, 1991. – 93 с.
14. Егупов А.А. Взрывные работы в условиях многолетней мерзлоты // А.А. Егупов. – Москва : Недра, 1981. – 103 с.
15. Khudayberdiev O.J., Djuraeva N.M., Rakhmatov S.Kh. The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research. Volume 5. Issue 11. (2023). Pages: 45-50. Determination of an analytical expression of the relationship of some parameters of the borehole when using various supply in a well. https://doi.org/10.37547/tajiir/Volume05Issue11-07.
16. Норматова М.Ж., Разработка способов управления пылегазовым режимом при взрывании высоких уступов в глубоких карьерах. Дисс. на соискание ученой степени PhD. Навои, 2019. – 112 с.
17. Куринной В.П. Теоретические основы взрывного разрушения горных пород. Монография. – Днепр, 2018. – 280 с.
18. Кутузов Б.Н. Белин В.А. Проектирование и организация взрывных работ. – М.: Горная книга, 2012. – 416 с.
19. Заиров Ш.Ш. Интенсификация технологических процессов буровзрывных работ при разработке месторождений Кызылкумского региона открытым способом // Дисс. докт. техн. наук. – Навои, 2016. – 230 с.
20. Шеметов П.А., Норов Ю.Д. Буровзрывные работы. Учебное пособие. – Навои, 2005. – 207 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 1 (96) pp. 51-53

MATHEMATICAL MODELLING OF BOTTOM-HOLE PLUG MOVEMENT THROUGH THE WELL, WITH CONSIDERATION OF WEATHER CONDITIONS

[1]***Umarov F.Ya.,*** *Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.*
[2]***Khudayberdiev*** *O.Zh., Associate Professor at the Department of Higher Mathematics and Information Technologies, PhD.*
[2]***Juraeva N.M.,*** *Senior Teacher of the Department Higher Mathematics and Information Technologies.*
[3]***Zairova F.Yu.,*** *Engineer of the ICVNT Department of Innovative Development.*

[1]***Almalyk Branch of the National University of Science and Technology «MISiS», Almalyk, Uzbekistan.***
[2]***Navoi State University of Mining and Technologies, Navoi, Uzbekistan.***
[3] ***JSC «Navoi Mining and Metallurgical Company». Navoi, Uzbekistan.***

In the paper we address the problem of determining the bottom hole movement depending on external factors, namely the temperature of the external environment. The equation of bottom-hole motion is considered in the form of an inhomogeneous differential equation of the second order with constant coefficients.
Keywords*: borehole, bottom hole, detonation, pressure, explosion, differential equation, polynomial external influence, explosives, rock.*

Bibliographic list:

1. Zairov Sh.Sh., Normatova M.Zh. Development of a method for reducing dust and gas emissions during blasting operations in quarries // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2016. – No. 4, pp. 33-34.
2. Mislibaev I.T., Zairov Sh.Sh., Tukhtashev A.B., Normatova M.Zh. Reducing dust and gas pollution of the atmosphere during mass explosions in quarries // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. – Ekaterinburg. – No. 2, 2017, pp. 39-43.
3. Zairov Sh.Sh., Normatova M.Zh. Development of the design and parameters of borehole charges of explosives during contour blasting to obtain stable slopes of benches // Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal. – Ekaterinburg. – No. 2, 2017, pp. 68-76.
4. Zairov Sh.Sh., Sharipov Z.S., Normatova M.Zh. Calculation of parameters of dust and gas pollution of the atmosphere during mass explosions in quarries // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2017. – No. 1, pp. 33-35.
5. Norov Yu.D., Zairov Sh.Sh., Normatova M.Zh., Ravshanova M.Kh. Study of the patterns of collapse formation and determination of optimal parameters of a

retaining wall during massive explosions in quarries of the Kyzylkum region // Gornyy zhurnal. Tsvetnyye metally. Special issue. – Moscow, 2017. – pp. 76-80.

6. Zairov Sh.Sh., Khudaiberdiev O.Zh., Normatova M.Zh., Nomdorov R.U. Research and mathematical modeling of stopping parameters in borehole explosive charges. Gornyy vestnik Uzbekistana. – No. 1 (80) 2020. – Navoi, 2020, pp. 66-73.

7. Leshchinsky A.V., Shevkun E.B. Drilling blast holes in quarries. – Khabarovsk: Pacific Publishing House. state University, 2008. – 224 p.

8. Belyaev A.F., Sadovsky M.A. On the nature of high-explosive and blasting action of an explosion // Fizika goreniya i vzryva. 1952. No. 1, pp. 32-38.

9. Demidyuk G.P. et al. The influence of stopping on the degree of crushing of rocks by explosion // Vzryvnoye delo. No. 53/10. M.: Nedra. 1963. pp. 96-105.

10. Frasch G.B. Blasting in seasonally frozen soils: a reference guide // G.B. Frash. – Moscow: Nedra, 1990. – 112 p.

11. Shusherina E. P. Microstructure of frozen clayey rocks when they are cooled from -5 to -50 / E. P. Shusherina, M. I. Zabolotskaya, V. V. Rogov // Bulletin of Moscow State University. M.V. Lomonosov, ser. 4. Geology. – 1975. – No. 6, pp. 106-108.

12. Balbachan I.P. Blasting in frozen soils: a review // I.P. Balbachan. – Moscow: TsNIEIugol, 1979. – 35 p.

13. Bondarenko I.F. Drilling and blasting operations in kimberlite quarries of Yakutia // I.F. Bondarenko, S.N. Zharikov, I.V. Zyryanov, etc. – Ekaterinburg: IGD Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2017. 42. Departmental construction standards. Standards for the design and production of drilling and blasting operations during the construction of subgrades. VSN 178 – 91. – Moscow, 1991. – 93 p.

14. Egupov A.A. Blasting operations in permafrost conditions / A.A. Egupov. – Moscow: Nedra, 1981. – 103 p. 44.

15. Khudayberdiev O.J., Djuraeva N.M., Rakhmatov S.Kh. The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research. Volume 5. Issue 11. (2023). Pages: 45-50. Determination of an analytical expression of the relationship of some parameters of the borehole when using various supply in a well. https://doi.org/10.37547/tajiir/Volume05Issue11-07.

16. Normatova M.Zh., Development of methods for controlling the dust and gas regime when blasting high benches in deep quarries. Diss. for the PhD degree. Navoi, 2019. – 112 p.

17. Kurinnoy V.P. Theoretical foundations of explosive rock destruction. Monograph. – Dnepr, 2018. – 280 p.

18. Kutuzov B.N. Belin V.A. Design and organization of blasting operations. – M.: Gornaya kniga, 2012. – 416 p.

19. Zairov Sh.Sh. Intensification of technological processes of drilling and blasting operations during open-pit mining of deposits in the Kyzylkum region // Diss. doc. tech. Sci. – Navoi, 2016. – 230 p.

20. Shemetov P.A., Norov Yu.D. Drilling and blasting operations. Tutorial. – Navoi, 2005. – 207 p.

УДК 622.73; 621.315.613.4
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.013

ХРИЗОТИЛЦЕМЕНТ. ПРОИЗВОДСТВО НА ОСНОВЕ ХРИЗОТИЛА И ЦЕМЕНТА – СЫРЬЕ, ТЕХНОЛОГИЯ, ПРОИЗВОДСТВО

Пуненков С.Е.,
заведующий базовой кафедрой
«Обогащение полезных ископаемых»
Уральского государственного горного университета,
главный технолог управления ПАО «Ураласбест»,
к.т.н.

Maqolada mustaqil davlatlarda ishlab chiqarish texnologiyasi, xrizotil va xrizotiltsement tarmoqlarini rivojlantirish muammolari koʻrib chiqilmoqda. Tabiiy xrizotil tolalarining tarkibi va xususiyatlari haqida maʼlumotlar, xrizotiltsement korxonalariga etkazib beriladigan tsement xomashyo materiallari va xrizotil tolalarining sifati yuzasidan maʼlumotlar, ular bilan suspenziya, yarim fabrikat va qotib qolgan xrizotil tsement mahsulotlarining xossalari kelyirilgan.

Tayanch iboralar: *xrizotil tolalari, ochish, portlandsement, shakllantirish, armentlashtirish, pigmentlar, gidrofobizator, xrizotilsement buyumlar, magistral yoriqlar, tuproqlar, sotish bozori.*

В статье рассматриваются технологии производства, проблемы развития хризотиловой и хризотилцементной отраслей в странах СНГ. Приводятся сведения о составе и свойствах природных хризотиловых волокон, данные по качеству сырьевых материалов цемента и хризотиловых волокон, поставляемых на хризотилцементные предприятия, характеристики суспензии, полуфабриката и свойства затвердевших хризотилцементных изделий.

Ключевые слова: *хризотиловые волокна, распушка, портландцемент, формование, армирование, пигменты, гидрофобизатор, хризотилцементные изделия, магистральные трещины, высолы, рынок сбыта.*

Создание шиферных – хризотилцементных изделий в конце 19-го – в начале 20-го столетий можно назвать важным событием в мировой инженерной практике в связи тем, что этот простой двухкомпонентный материал имеет длительное время эксплуатации. Образцы первого шифера стоят в костеле австрийского г. Феклабрук с 1901 г. до сих пор без повреждения. Большим достоинством шиферных изделий, прежде всего – листов и труб, являются их биостойкость, безопасность и долговечность. Изделия не выделяют и не пропускают токсинов и газов, огнестойки и радиационно безопасны, имеют хорошее тепло- и энергосбережение, выдерживают перепады температуры и влажности, не гниют, не ржавеют, бесшумны в эксплуатации, просты в применении, имеют низкую цену по сравнению с другими кровельными материалами, особенно с металлом или керамической черепицей. Реальные сроки эксплуатации изделий из шифера – 50 и более лет.

В XXI веке хризотилцементные изделия, в том числе шифер, сайдинг и другие асбоцементные изделия являются важными и незаменимыми с точки зрения экономичности, термостойкости, пожаробезопасности материалом для строительной индустрии.

В России первые шиферные изделия были изготовлены в виде лёгкой асбестоцементной кровельной черепицы на заводе «Террофазерит» в 1908 г. в г. Брянске [1].

Хризотил относится к одному из весьма широко распространённых в природе видов асбеста, к группе серпентинитов. Содержание воды в асбесте группы серпентина – хризотила составляет 13-14,5%. Именно хризотил-асбест наиболее широко применяется для изготовления различных материалов. В связи с этим его добыча в мире составляет более 98% от общемирового производства асбестов [2].

В целом для производителей хризотиловых волокон и хризотилцементных изделий стоят общие задачи, это: снижение себестоимости и улучшение качества выпуска готовой продукции, расширение её ассортимента и рынков сбыта.

Твёрдость сырьевого минерала хризотил-асбеста по шкале Мооса равна 2,5-3,5, его плотность 2,4-2,6 *г/см³*. Молекулярная масса хризотила: 277,11 *г/моль*.

Прочность хризотиловых волокон на разрыв равна 1700-3600 *МПа*. Средние значения модуля упругости хризотил-асбеста колеблются от 1664 до 2184 *МПа*. Температура плавления волокон достигает 1450-155ºC, а их эластичность и прочность сохраняются до температуры 700ºC.

Хризотиловый асбест по химическому составу это водный силикат магния (гидросиликат магния) – $3MgO – 2SiO_2 – 2H_2O$. Он может содержать примеси Fe_2O_3, FeO, Cr_2O_3, Al_2O_3, NiO, MnO, CaO, Na_2O, и K_2O. В зависимости от количества в хризотиле железа, волокна подразделяются на маложелезистые (суммарное содержание FeO и Fe_2O_3 обычно не превышает 0,5%) и железистые (суммарное содержание FeO и Fe_2O_3 более 0,5%). Часть FeO в хризотиловом волокне изоморфно замещает MgO.

Другая количественная часть железа связана с механической примесью магнетита, реже хромита. Физико-механические свойства хризотилового волокна зависят от наличия вредных примесей и количества в хризотиле MgO и SiO_2, FeO и Fe_2O_3, содержания конституционной воды и т.д. Известны три вида хризотила: клинохризотил (clinochrysotile), ортохризотил (orthochrysotile) и парахризотил (parachrysotile). На *рис. 1.* дана химическая структура хризотил-асбеста.

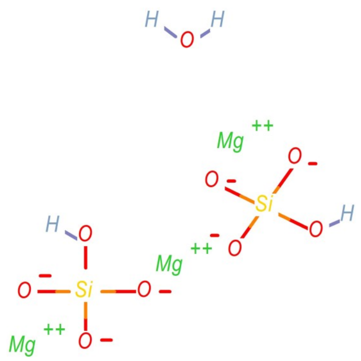


Рис. 1. Химическая (молекулярная) структура хризотил-асбеста

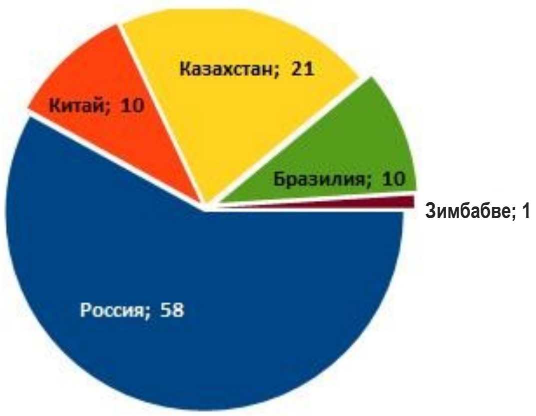


Рис. 2. Динамика мирового производства хризотил-асбеста в 2021 г.

Таблица 1

Химический состав хризотиловых волокон из разрабатываемых в России и Казахстане месторождений, %

№	Окислы	Месторождения России и Казахстана		
		Баженовское	Джетыгаринское	Киембаевское
1.	SiO_2	42,1	44,4	44,69
2.	MgO	41,99	39,33	39,86
3.	Al_2O_3	0,53	0,84	0,3
4.	Fe_2O_3	1,3	1,88	1,54
5.	FeO	0,24	0,49	0,42
6.	CaO	0,03	следы	следы
7.	$K_2O + Na_2O$	следы	следы	следы
8.	H_2O + 105° (хим. связь)	12,99	12,03	12,02
9.	H_2O – 105° (адсорбционная)	1,42	0,8	0,7

Наиболее важные химические элементы хризотил-асбеста, обеспечивающие ему лучшие текстурные, армирующие и прочностные характеристики в твердеющем портландцементе: оксид железа, оксид магния, кристаллизационная вода и адсорбированная вода, удерживаемая в технологических процессах.

Химический состав Баженовского, Киембаевского и Джетыгаринского хризотил-асбеста по данным 2023 г. представлен в *табл. 1*.

На территориях бывшего СССР и СНГ находятся три месторождения хризотилового асбеста: в России, на Урале, самое большое в мире – Баженовское (ПАО «Ураласбест»), в Оренбургской области - Киембаевское (ОАО «Оренбургские Минералы»), а в Казахстане – Джетыгаринское (АО «Костанайские Минералы»). Они производят 79,0% всего хризотил-асбеста в мире (*рис. 1*).

Годовой объём производства хризотил-асбеста в России в 2023 г. составил 598 тыс. *т*, потребление его в России от этого объёма менее 30% и более 70% произведенного хризотилового волокна поставляется в страны СНГ и в дальнее зарубежье. В основном поставка российского хризотил-асбеста идёт в Азиатско-Тихоокеанский регион (Юго-Восточная Азия) – Индия, Китай, Индонезия, Вьетнам, Шри-Ланка, Филиппины, Бангладеш, Таиланд, Пакистан, Лаос и т. д. На внутреннем рынке России и Казахстана хризотил-асбест применяется для производства асбестоцементных изделий до 90%. При этом около 7% хризотиловых волокон применяется для получения фрикционных изделий – тормозных колодок и накладок для механизмов сцепления и около 3% для производства мастик, герметиков, декинга, напольных покрытий и т.д. Ежегодно в России товарной продукции из хризотила производится на сумму более 150 млн долларов США, в Казахстане на сумму более 43 млн долларов США и в США на сумму более 4 млн долларов США [3, 4].

В Баженовском хризотил-асбесте присутствует самое большое количество оксида магния, самое низкое в волокнах Джетыгаринского хризотила. И, наоборот, в волокнах Баженовского хризотил-асбеста самое низкое количество оксида железа, и больше всего его в волокнах Джетыгаринского хризотила. Содержание природной и технологической воды самое высокое у хризотиловых волокон Баженовского месторождения. Все это и определяет более мягкую текстуру волокон Баженовского хризотил-асбеста. Они имеют после добычи большую длину, более распушены, имеют большую удельную поверхность. И все это при меньших затратах энергии на их подготовку. Наиболее жёсткая структура у Джетыгаринских волокон, но они менее насыщены мелкодисперсной пылью, требуют больше энергии, времени для распушки.

В связи с различием свойств хризотил-асбеста вышеперечисленных трёх месторождений несколько отличаются показатели прочности волокон. Где, прочность хризотил-асбестового волокна характеризуется модулем упругости и механической прочностью на разрыв.

В связи с этим хризотил-асбестовые волокна делятся на три разновидности: нормальный – с хорошей прочностью (механическая прочность на разрыв 2800-3600 *МПа*), ломкий – с пониженной прочностью (механическая прочность на разрыв 1700-2200 *МПа*), полуломкий и продольный средней прочности (механическая прочность на разрыв 2200-2800 *МПа*). Это определяет область их применения и дозировку в производстве хризотилцемента. Тем не менее, при всех различиях данных видов добываемого асбеста, все они и именно только волокна хризотилового асбеста обеспечивают шиферу самые большие преимущества по свойствам [5, 6].

Хризотилцемент. Присутствие в цементной матрице армирующих хризотиловых волокон делает хризотилцемент композиционным материалом. Адгезионные и прочностные характеристики волокон из любого указанного хризотил-асбеста трёх месторождений в смесях с тонкомолотым цементом дают готовым хризотилцементным изделиям многочисленные и высокие эксплуатационные свойства. Это показатели: статическая и динамическая прочность, трещиностойкость, пожаробезопасность и долговечность, морозостойкость, тепло- и звукозащитность, кислото- и щелочестойкость, электроизоляционные и диэлектрические свойства.

Изделия с хризотиловыми волокнами также имеют и ряд других полезных свойств: бактерицидность, нетоксичность, защиту от радиации.

Всё это подтверждено мировой практикой. При производстве хризотилцементных изделий используются два основных сырьевых компонента: хризотил-асбест и портландцемент. Основная продукция отрасли – плоские и волнистые, непрессованные и прессованные листы, а также – хризотилцементные трубы.

При изготовлении листов в сырьевые смески вводится 13-15% хризотил-асбеста, при производстве труб – 17-18%. Для всей этой продукции применяют в основном хризотил-асбест 3-6 групп: для листов в основном применяют хризотил-асбест 5-6 групп, для производства труб – преимущественно хризотил-асбест 3-4 групп.

Применение хризотилцемента. Хризотилцементные листы разного размера применяются больше для стен зданий и кровель. Большеразмерные и конструкционные изделия, усиленный шифер используются при изготовлении стеновых и каркасных панелей, фасадных и декоративных листов, изделий специального назначения, например, электроизоляционных деталей, плит для заборов.

Трубы изготавливаются напорные и безнапорные диаметром от 100 до 500 *мм*, используются они для транспортировки питьевой и технической воды, в качестве опор при сооружении зданий. Безнапорные трубы, как эффективная альтернатива стальным, применяются для канализации, дымоходов, мусоропроводов, для прокладки телефонных кабелей, сооружения столбчатых фундаментов для небольших строений и в качестве опорных столбов для заборов. Напорные трубы используются для газопроводов, водопроводных, технических и питьевых целей, канализационных, мелиоративных и оросительных вентиляционных систем и в качестве обсадных труб для колодцев. Они обладают большой прочностью, хорошо выдерживают напор, не подвержены коррозии, стойки к длительному воздействию горячей воды и имеют длительный срок службы – более 30-35 лет. Эти трубы высоко надёжны при температуре воды до +130ºС и при минусовой температуре окружающей среды в разных климатических условиях, например, в Якутии с морозами до -65ºС. В мире до 2000 г. проложено более 2,5 млн *км* хризотилцементных труб. Например, около 40000 *км* для питьевого водоснабжения в Нидерландах, более 1,5 млн *км* в России и 250000 *км* в Казахстане, в Канаде более 700000 *км*.

Все хризотилцементные изделия выгодно отличаются от металлических и полимерных изделий своими более высокой щелочестойкостью, большей долговечностью и безопасностью, защищают от радиации. Они в несколько раз дешевле металла, черепицы, керамических плиток и других материалов. Хризотилцементные листы просты в ремонте, позволяют ликвидировать локальные повреждения без нарушения общего покрытия, надежно адаптированы во всех климатических регионах мира.

В России многие десятилетия широко производятся и используются неокрашенные и окрашенные шиферные изделия. Общая доля окрашенных изделий в различных покрытиях: кровлях, стенах, заборах порядка 55%, а в малоэтажном и сельском строительстве – до 80%. При изготовлении текстильных изделий, плетёных и тканевых набивок, электроизоляционных лент и шнуров, дисков сцепления, тормозных лент применяются хризотиловые волокна 0-3 группы.

Хризотиловые волокна с 0 по 3 группу используются в микроармировании ячеистых материалов, а именно в микроармировании пены с целью повышения её качественных показателей для получения ячеистых бетонов (пенобетона).

Из хризотил-асбеста 4-ой и 5-ой группы изготавливают хризотиловую бумагу и картон. Хризотил 3-ей и 4-ой группы используется для производства хризотилорезиновых листов (клингерита), термоизоляционных материалов (хризотиловой ваты, теплоизоляционного шнура, хризотилового гофрированного картона). Из хризотила 5-7-ой группы в комплексе с диатомитом, другими материалами и минеральными веществами изготавливаются теплоизоляционные и термоизоляционные материалы, резинотехнические и минерально-полимерные композитные изделия (декинг, шпалы, заборные доски, лаги, террасные доски, штакетники, фасадные панели), пластмасса, линолеум, хризотилбитумные материалы (рубероид, стабилизирующие добавки в асфальт, облицовочные и напольные плиты, наполнители, ремонтно-восстановительные составы, мастики, пеноасбест, асфальтобетонные, строительные и с каменноугольными смолами смеси, штукатурно-напыляемые составы, краски, хризотилмагнезиальные порошки, клеи, одеяла и т.д. Хризотил специального назначения (марок АСН-3, АСН-4, АСН-5, АСН-6, АСНП-5) применяется для производства конструкционных клеев, диафрагм хлорных электролизеров, звуко- и шумопоглощающих прокладок, производства паронита, безусадочных прокладок к двигателям внутреннего сгорания. При изготовлении сепараторной бумаги применяемой в авиа- и судостроении употребляется обезжелезненный апоультрамафитовый хризотил марки АХО-2, который производит ПАО «Ураласбест» [7, 8].

При существующих технологиях обогащения хризотиловых руд все мелкоизмельченные фракции пыли и «гали» полностью не удаляются и присутствуют в распушеном товарном хризотиле. Это следствие высоких адгезирующих характеристик хризотил-асбестовых волокон. Они удерживают на себе эти частицы и при классификации на грохотах или обезгаливателях продуктов обогащения и при отсасывании их воздушным потоком в пневотранспорт. Засорённость распушенных волокон мелкоизмельчённой и зернистой породой тем сильнее, чем больше удельная поверхность волокна в товарном хризотиле.

Текстура хризотиловых волокон, зависящая от степени сохранности пучков хризотил-асбеста в процессе его первичной обработки, одна из важнейших качественных характеристик товарного хризотил-асбеста. Определяется она по скорости фильтрации воды через навеску хризотила в приборе «Шоппер – Риглера» или на установке «УФА». Для определения объема во влажном состоянии товарного хризотил-асбеста применяется лабораторный прибор «Инвертор». Он даёт представление о длине, степени распушки и чистоте хризотилового волокна.

Степень распушки хризотилового волокна определяется на лабораторном приборе «Элютриатор» или «КРАВ», «ПСХ-2». Удельную поверхность хризотилового волокна устанавливают на лабораторном оборудовании «Рапид – Тестер» («ОПА»). Прочность хризотиловых волокон в хризотилцементе детерминируется на прибор «Диллон».

Товарный хризотил – это смесь волокон различной длины и их агрегатов. В зависимости от длины волокон и содержания пыли и «гали» в нём, он разделяется на группы и марки. Все просеянные через сита хризотиловые волокна для формирования товарной продукции делятся по их средней длине на девять групп: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 6к и 7. Фракционный состав каждой группы с 0 по 6 и 6к определяется на хризотилдобывающих предприятиях мокрым способом на пятиситном гидроклассификаторе «Бауер – Мак – Нетт» или «Тернер – Ньюолл», а при сухом рассеве – на АДА-02, контрольном аппарате и ПК-2А. Хризотил-асбест 7 группы в зависимости от насыпной плотности делится на четыре марки, которые определяются на установке для определения насыпной плотности.

В маркировке хризотил-асбеста содержатся группы, прописанные буквой и цифрами, разделённые дефисами (*табл. 2*). Буква А обозначает наименование материала хризотил-асбест. Буква К – способ получения хризотил-асбеста из продуктов пылеосадительных устройств. Буква М указывает на повышенное содержание массовой доли фракции менее 0,4 *мм*. Первая цифра показывает группу, вторая указывает гарантированный минимальный остаток на основном сите контрольного аппарата для хризотил-асбеста групп 0-6, 6к и насыпную плотность для хризотил-асбеста 7-й группы. Она же определяет и марку хризотила.

Установлено, что при производстве всех видов хризотилсодержащих материалов и изделий на качество продукции влияет характеристика и свойства портландцемента, длина хризотиловых волокон и их насыщенность мелкодисперсной пылью. Особенно это относится к затвердевшей цементной матрице хризотилцемента.

Сегодня в России и странах СНГ работает в производстве хризотилцементных листов и труб следующие предприятия (*табл. 3*).

Безнапорные хризотилцементные трубы производятся следующими марками: обычные по толщине стенки трубы БНТ и тонкостенные с маркировкой БНТТ. Все они должны соответствовать величине испытательного гидравлического давления 4 и более *кг·см/см²*, нагрузки на раздавливание – 350 и более 600 *кгс*.

Качественные параметры характеристик хризотилцементных труб выражены следующими показателями: температурой транспортируемых веществ до 115ºС, наружным диаметром 116-514 *мм*, рабочим давлением 0,3-1,6 *МПа*; величиной гидравлического давления при испытании на водопроницаемость от 1,2 до 5,3 *МПа*; нагрузкой на раздавливание от 800 до 3900 *кгс.*

Для безнапорных хризотилцементных труб (диаметром 100 и 150 *мм*) минимальная нагрузка на изгиб составляет 180 и более 400 *кгс*, а для напорных хризотил цементных труб он выше и составляет 400 и более 1220 *кгс*.

Напорные трубы и муфты производятся как для водопроводов, так и для теплопроводов. Показатель теплопроводности для напорных хризотилцементных труб (0,8 *ккал/м·ч·град*) существенно – в 60 и более раз – ниже, чем у стальных. Срок службы у хризотилцементных труб намного выше – 25 и более лет, чем у стальных (6-8 лет) и существенно (в 2-4 раза) ниже их стоимость, чем у стальных и полимерных труб. Напорные хризотилцементные трубы в зависимости от устойчивости к давлению делятся на четыре вида: ВТ6 – давление 0,6 *Мпа*, ВТ9 – давление 0,9 *Мпа*, ВТ12 – 1,2 *Мпа*, ВТ15- 1,5 *МПа*.

Хризотилцементные трубы более устойчивы к внешним воздействиям по сравнению со стальными. Они не подвержены гниению, развитию бактерий и грибков, защищены от коррозии, не проводят электрический ток, на них отсутствует конденсат при движении холодной воды, низкий коэффициент температурного удлинения. Также они устойчивы к щёлочной и слабокислой среде, не требуют спаечных и сварочных работ при монтаже. Не теряют свою функциональность при давлении до 58 атмосфер и температурных показателях выше +200ºС. Внутренняя поверхность напорных хризотилцементных труб не «зарастает» различными транспортируемыми продуктами, что позволяет избежать дополнительного гидравлического сопротивления [9].

Таблица 2

Группы и марки хризотил-асбеста согласно ГОСТу 12871-93 стран СНГ (с дополнениями 2006, 2007 гг.)

Группа	Марка	Группа	Марка	Группа	Марка
0	А-0-80	4	А-4-40	6к	А-6К-45
	А-0-55		А-4-30		А-6К-30
1	А-1-75		А-4-20		А-6К-20
	А-1-50		А-4-10		А-6К-5
2	А-2-30		А-4-5	7	А-7-300
	А-2-22	5	А-5-80		А-7-370
	А-2-15		А-5-70		А-7-450
	А-2-10		А-5-65		А-7-520
3	А-3-75		А-5-60		
	А-3-70		А-5-55		
	А-3-60		А-5-50		
	А-3-50	6	А-6-45		
			А-6-40		
			А-6-40М		
			А-6-30		
			А-6-20		

Таблица 3

Заводы стран СНГ по производству хризотилцементных труб и хризотилцементных листов (шифера) в 2022 г.

№	Страна, город	Название завода или предприятия
Россия		
1.	Мордовия, Чамзинский р-н, р.п. Комсомольский	«ЛАТО», Мордовия ОАО «Оренбургские минералы»
2.	г. Рязань, ул. Прижелезнодорожная 26	«Фибратек»; ОАО «Оренбургские Минралы»
3.	г. Фокино Брянская область	ООО «Брянский Фиброцементный Завод» («БФЗ»); группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»
4.	г. Стерлитамак Республика, Башкортостан	ООО «Стерлитамакский фиброцементный завод» («СФЗ»); группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»
5.	г. Белгород,	«БЕЛАЦИ»; ПАО «Белгородасбестоцемент» группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»
6.	г. Крымск, Краснодарский край, Крымский р-н	ООО «Черноморский фиброцементный завод» («ЧФЗ») группа компаний BF Tech-ПАО «Ураласбест»
7.	г. Красноярск	ООО «Комбинат «Волна»
8.	г. Сухой Лог, Свердловская обл.	Народное Предприятие Знамя» (ЗАО НП "Знамя"); («Сухоложскасбоцемент»)
9.	г. Михайловка, Волгоградская область	ОАО "Себряковский комбинат асбестоцементных изделий" («СКАИ»)
10.	Республика Бурятия, Кабанский район, пос. Каменск	Тимлюйский шиферный завод
11.	г. Новороссийск	«Шиферник». Новороссийское предприятие
12.	г. Новоульяновск, Мордовия	ООО «Новоульяновский шиферный завод»- "МОРДОВЦЕМЕНТ".
СНГ		
13.	Казахстан, г. Шымкент	«Шымкенский шиферный завод» ТОО «Tectum Engineering» (АО «Костанайские минералы»)
14.	Казахстан, г. Семипалатинск	«Семипалатинский асбестоцементныйхизделий» ТОО «Семей Курылыс Материалдары» (АО «Костанайские минералы»)
15.	Украина, г. Запорожье	ООО «Завод «Днепровская волна» (ОАО «Запорожский завод асбестоцементных изделий»
16.	Украина, Харьковская обл, п.г.т. Васищево	«Балаклейский шиферный завод» ЗАО
17.	Украина, г. Ивано-Франковск	ПАО «Ивано-Франковский асбоцементный завод»
18.	Украина, Донецкая область, г. Краматорск	Краматорский Шиферный Завод
19.	Узбекистан, г. Ахангаран Ташкентской обл.,	«Ахангараншифер»
20.	Узбекистан, г. Самарканд	«Shifer Zavod»
21.	Беларусь, Могилевская область, Кричевский район, Краснобудский с/с	«КМБ-Восток», ОАО «Кричевцементношифер»
22.	Беларусь, Гродненская область, г. п. Красносельский	ОАО «Красносельскстройматериалы»
23.	Таджикистан, г. Бохтар, Хатлонской обл.	«Бохтар шифер»
24.	Кыргызстан, г. Кызыл-Кия	«Кант-ТШП»
25.	Кыргызстан, Чуйская область, г. Кант, ВПЗ	ОсОО "Кант Курулуш"
и другие предприятия отрасли….		

Шиферные листы изготавливаются по ГОСТу 30340-2012: листы плоские – ЛП, непрессованные – НП и прессованные – П. Также выпускаются волнистые листы с обозначением: ВО – волновой обыкновенный с размером 1200х680 *мм* имеют две основные марки – 40/150 и 54/200, с профилем листов 40/150 и 54/200.

В них первые цифры 40 и 54 обозначают высоту волны, а вторые цифры – шаг волны (S) – 150 *мм*. Выпускаются и следующие волнистые листы: УВ – унифицированный волновой с размером 1750х112 *мм* и ВУ – волновой усиленный с размером 2400х1000 *мм*. Выпускаются листы серые неокрашенные и окрашенные. Для кровель с углом наклона не менее 12 *град.* применяют волновой шифер. В зависимости от сечения лист шифера может иметь вес 20-27 *кг*.

Важные показатели качества для производства хризотилцементных листов (прессованных и непрессованных) плоских и волновых, окрашенных и не окрашенных является морозостойкость, количество циклов на замораживание/оттаивание – F25 и выше по заказу, прочность на изгиб – 16-19 *мПа*, плотность листа – 1,6-1,7 *г/см³*, ударная вязкость – 1,5-1,6 *кДж/м²*, водонепроницаемость – не менее 24 *ч*, сосредоточенная штамповая нагрузка – 150-220 *кгс*, испытательная планочная нагрузка – не менее 300 *кгс*, остаточная прочность – не менее 90%. Электрическая прочность 2 *кВ/мм*, дугостойкость при токе 20 *мА* равна 4С. В связи со всем вышесказанным, шифер (хризотилцементный лист) надёжно адаптирован для всех климатических зон. Он также в несколько раз дешевле металла, черепицы и остальных материалов. Все это свидетельствует в пользу этого материала.

Присутствие в цементной матрице армирующих хризотиловых волокон делает хризотилцемент композиционным материалом. Совместная работа затвердевшего цементного камня, армированного высокодеформативными и прочными хризотил-асбестовыми волокнами, резко повышает его сопротивляемость растягивающим и ударным нагрузкам, придает готовым изделиям из хризотилцемента ценные строительные свойства: малую толщину, лёгкость, прочность, огнестойкость, морозостойкость, устойчивость к коррозии и гниению и в результате долговечность. Срок службы хризотилцементных листов как кровельного материала в зависимости от условий эксплуатации более 50 лет.

Результаты и их обсуждение.

Производство хризотилцементных изделий, показано на *рис. 3* и стоит из основных этапов: приготовления шихты из хризотила определенных групп и марок для требуемой смески; производства определенного хризотилцементного изделия, гидрораспушки хризотилового волокна (осуществляемого в два этапа: обминание (раздавливание) хризотиловых волокон в бегунах и расщепление волокна в голлендерах или гидрораспушителях. Смешивание волокон хризотила с цементом и водой, формование изделий на листоформовочной или трубоформовочной машинах, волнировка шифера на механическом или вакуумном волнировщике и их твердение, механическая обработка.

Кроме этих трёх компонентов, на хризотилцементных предприятиях в мире применяются ещё добавочные материалы: пластификаторы, модификаторы, полимеры, уплотняющие добавки, гидрофобизаторы, пигменты (для придания изделию определенной окраски), целлюлоза, зола и др. Правильно подобранные добавки к цементу не только экономят портландцемент при производстве хризотилцементных изделий, где доля его в смески значительная, но и позволяют не уменьшать прочность хризотилцементных изделий, а где-то её и увеличивать.

Для придания эластичности хризотиловым волокнам и снижения их хрупкости, повреждённые (укороченные) волокна увлажнятся осветленной рекуперационной водой до 30-50%. Соотношения твёрдого к жидкому Ж/Т = 1/5. Хризотиловые волокна насыщаются в течение 3-5 дней водой и увеличиваются в объёме в смесителях, затем подаются в бегуны, где хорошо увлажнённые пучки хризотиловых волокон обминаются вращающимися тяжелыми катками (валами). Этот способ используется на хризотилцементных заводах в Бразилии и способствует увеличению сопротивления излому хризотилового волокна при обработке на бегунах. Вследствие чего волокна хризотила хорошо и легче распушиваются в бегунах. Распушка хризотила в бегунах повышает сорбционную способность волокон. Надо отметить, что вместо бегунов для обминания хризотила все большее распространение имеют в хризотилцементной промышленности валковые машины.

После распушки хризотилцементная масса сравнительно быстро, за 8-10 *мин* приобретает достаточную однородность, так как мельчайшие зёрна цемента, несущие на поверхности высокий отрицательный заряд, быстро контактируют с развитой поверхностью тонковолокнистого хризотил-асбеста и прочно удерживаются на ней. Имеющий также высокий, но положительный заряд в водной и щелочной среде. Именно в этих операциях происходит процесс адгезии цемента с хризотиловым волокном.

Практически все современные хризотилцементные заводы в мире имеют безотходное производство и систему оборотного водоснабжения (рекуперацию воды). На хризотилцементных заводах в Бразилии, России и Казахстане обрезки и брак перерабатываются и направляються снова в процесс производства [10].

Важным для долгого применения хризотилцементных материалов является сохранение эксплуатационных их характеристик, в т.ч. устойчивость при короблении, при ультрафиолетовом излучении, исключение склонности к образованию высолов и долговечность окрашенной поверхности.

Из перечисленных факторов самыми важными, позволяющими существенно увеличивать объёмы применения хризотилцементного изделия – шифера, в строительстве, является долгое сохранение декоративного покрытия и исключение образования на нём высолов, белого налёта. Это является наиболее острым требованием и к серой продукции, и особенно к цветной (окрашенной). Именно снижение и исключение высолообразования. Сохранность начального состояния поверхности шиферного листа зависит от степени гидрофобизации поверхности хризотилцементного листа.

Из проведённых исследований научными институтами и промышленными экспериментами на хризотилцементных заводах России, Казахстана, Белоруссии и Украины с 2006 по 2022 г. по вопросам образования на поверхности хризотилцементных листов высолов сделаны выводы, что высолы – результат образования гидроксида кальция на наружных слоях хризотилцементных листов. Причина видится как следствие разности скорости гидратации свободного оксида кальция на внутренних и наружных слоях хризотилцементного листа.

Экспериментами установлено, что для снижения возможности образования высолов на шифере необходимо использовать в производстве продукцию портландцемента с минимальным до 1% содержанием $CaO_{св}$ и обрабатывать сформованные хризотилцементные листы кремнийорганическими гидрофобизаторами на основе водной эмульсии силана и силоксанов. Установлено также, что хризотилцементные материалы пронизаны большим количеством пор и капилляров. И это может обеспечить им нежелательное избыточное водопоглощение. Для уменьшения воздействия этого фактора хризотилцементные листы обрабатывают гидрофобизаторами и полимерными красками.

При окрашивании хризотилцементных плоских и волнистых листов важно использовать краски с высокими адгезионными характеристиками, содержащие светостойкие пигменты, устойчивые к ультрафиолету, обеспечивающие хризотилцементным листам защиту от окружающей среды, повышенную водостойкость и морозостойкость. Наиболее широкое применение на хризотилцементных шиферных заводах России и СНГ с 2000-х годов нашли краски с полимерным порошковым составом [10-12].

Качество волокна и риски. Хризотилцементные предприятия в последние годы направляют на хризотиловые горно-обогатительные предприятия стран СНГ запросы по качеству поставляемого хризотилового волокна. Хризотилцементные листы часто имеют повышенную трещиноватость сырого полуфабриката и образованния в нём магистральных трещин вдоль волны, а также и

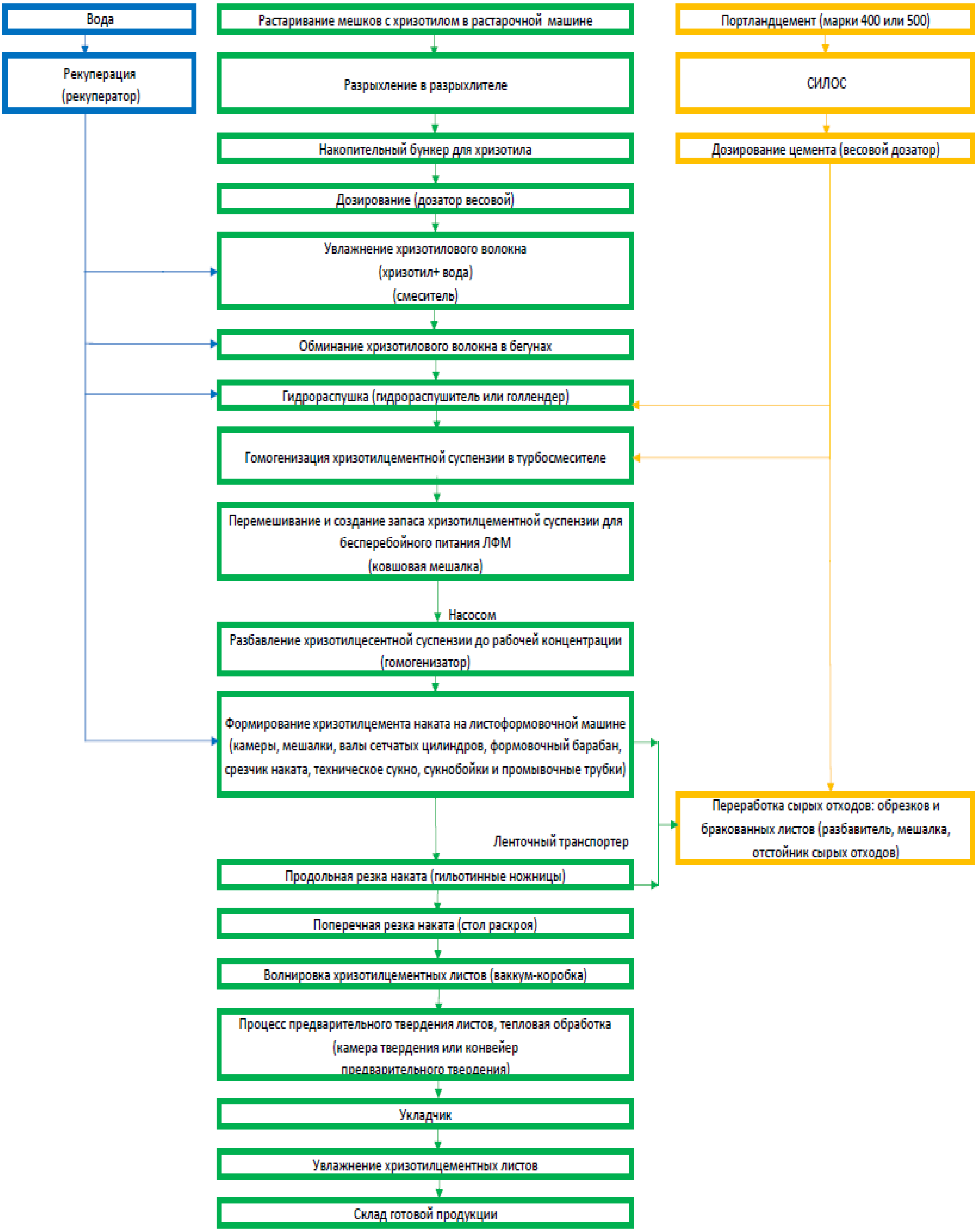


Рис. 3. Производство хризотилцементных изделий

в затвердевшей (готовой) продукции. Магистральные трещины и дальше появляются в листах вдоль волны, также поперек волны, что не характерно для хризотилцементных листовых изделий, т.е. в так называемом «сильном» направлении. Возникают они при хранении листов под нагрузкой в стопах на территории предприятия, при их транспортировке к потребителю и при монтаже на объекте.

Массовое возникновение трещин обусловлено отсутствием связи между хризотил-асбестовым волокном и портландцементом и может зависеть от многих причин. Это может возникать: при неожиданно резком изменении свойств цемента в хризотилцементной матрице, при экономии цемента, замене привычной смески хризотила на другую, прежде всего обеднённую фракциями с длинными волокнами, при нарушении режимов распушки хризотила и пропорции добавок при производстве хризотилцементных изделий.

Также при неравномерном увлажнении, замораживании и оттаивании листов, особенно в стопах, при хранении стоп на сквозняках, под осадками, при резких перепадах температур и при резких возникновениях больших нагрузок на листы, на их стопы, при хранении, транспортировке, эксплуатации. Но из практики хризотилцементных предприятий известно, что почти все эти факторы ранее имели место в той или иной степени. И в то же время такое массовое появление трещин в листах, причём, практически на многих предприятиях, раньше не отмечалось.

Технологи по производству хризотилцемента вынуждены рассматривать это, как возможное следствие изменения главного фактора, определяющего условия взаимодействия хризотила и цемента при создании и изменении хризотилцементной матрицы фракционного состава поставляемого хризотила.

Многие современные хризотилцементные заводы в мире применяют в качестве добавок к основным компонентам, образующих фиброцементные изделия, таких как хризотил и портландцемент, еще и золу, целлюлозу, полипропилен. При производстве фиброцементных изделий заводы используют золу от 15 до 30%, переработанные отходы своего производства от 2 до 3% и переработанную целлюлозу от 3 до 4%.

Согласно выше изложенному материалу, проблемы и задачи, стоящие перед хризотилцементной отраслью, в частности, для производства фиброцементных, волнистых и не волнистых кровельных листов (хризотилцементных изделий) и фасадных панелей: однородность и требуемый состав фракции хризотиловых волокон, степень их распушки, стойкость и равномерность цвета, образование высолов, трещин на листах и панелях.

Хризотил-асбестовая отрасль в мире развивается, выдерживает кризисы и рыночную конкуренцию. Производители горного льна, как и производители хризотилцементной продукции, в последние годы оптимизируют свои затраты и расходы на производство, логистику, снижают свои потери, модернизируют и расширяют свой ассортимент, обновляют новым и современным, улучшенным оборудованием.

Заводы и фабрики совершенствуют свою технологию, постоянно расширяют ассортимент продукции, улучшают ее качество.

В настоящее время в строительной массовой индустрии и в индивидуальном строительстве все больше повышается спрос на окрашенные хризотилцементные изделия (хризотилцементные листы, сайдинг), террасную доску.

В настоящей статье сделана попытка обобщить совокупные знания двух отраслей о влиянии состава хризотиловых смесок, цемента на свойства хризотилцемента и проанализировать, произошли ли какие-либо реальные перемены в качестве поставляемого хризотилового сырья в последние десятилетия.

Производство плоских хризотилцементных листов (шифера), напорных хризотилцементных труб требует обязательного расчёта смесок хризотилцемента по содержанию фракционного состава хризотилового волокна на лабораторном пневмоклассификаторе (ПК-2А) или гидроклассификаторе «Бауэр-Мак-Нетт» (БМН). Расчёты всех вариантов двух- и трехкомпонентных хризотилцементных смесок показывают, что применение более дорогих смесок вызывает снижение фактического расхода хризотил-асбеста. И наоборот, более дешевые типовые хризотилцементные смески с низкими группами хризотил-асбеста вызывают увеличение расходного коэффициента хризотил-асбеста в смеске, что в конечном итоге приводит к удорожанию производства хризотилцементных изделий.

В отрасли в последние десять лет хорошо отработана технология окраски шиферных изделий. Окрашенные хризотилцементные изделия, плоские и волнистые листы (шифер) имеют большую популярность в строительной отрасли стран СНГ, Средней и Юго-Восточной Азии, Африки. Применение полимерного покрытия для хризотилцементных листов при использовании гидрофобизаторов повысит качество и долговечность хризотилцементной продукции.

Библиографический список:

1. Комаров Ю.Т. 100-летний юбилей Брянского асбестоцементного завода. // Строительные материалы. – № 9. – Москва, 2008. – С. 34-35.

2. Whittaker E.D.V. Asbestos Structure and Properties // Reference to Textile Fiber Structure: Natural, Regenerated, Inorganic and Specialty Fibers. 2009, pp. 425-449.

3. Шкаредная С.А. Асбестосодержащие изделия и строительные материалы // С.А. Шкаредная, Т.М. Каскевич // Горно-геологический журнал. 2005. № 2. – С. 37-39.

4. Robert L. Virta. Asbestos: geology, mineralogy, mining and use//Geological Survey. 2022. – 28 p.

5. Пуненков С.Е. Хризотил-асбест и ресурсосбережение в хризотил-асбестовой отрасли // С.Е. Пуненков, Ю.С. Козлов // Горный журнал Казахстана. – № 1. – Алмата, 2022. – С. 5-10.

6. Summary data on mineral goods for 2022. USGS. Geological Survey. 2022. – 204 p.

7. Кагановський О.С., Градобоєв о. в., Плугін А. а. високоефективні композиційні матеріали на основі мінеральних і синтетичних волокон: проблеми виробництва хризотил-цементу. // Сб. наук. тр. Українського державного університету залізничного транспорту. – Харків: Укрдазт. 2013. Вип. 138. – С. 50-47.

8. Пуненков С.Е. Современное состояние и перспектива развития хризотил-асбестовой отрасли в Бразилии. // Строительные материалы. – № 5. – Москва, 2011. – С. 20-21.

9. Чесноков В.С. Хризотилцементные напорные трубы: практика применения в теплотрассах // В.С. Чесноков, В.А. Бабич // Строительные материалы. – № 9. – Москва, 2008. – С. 13-15.

10. Ободович О.М. збільшення ступеня распушки азбестових волокон за допомогою гідромеханічної обробки // О.М. Ободович, О.М. Недбайло, О.Г. Чернишин, А.Є. Недбайло // Кераміка: наука і життя. 2021. – № 1 (50). – С. 26-29.

11. Кухта Т.Н. Повышение долговечности полимерного покрытия асбестоцементных листов при использовании гидрофобизатора // Строительные материалы. – № 1. – Москва, 2010. – С.58-60.

12. Урецкая Е.А. Технологические особенности поверхностной гидрофобизации асбестоцементного шифера // Е.А. Урецкая, Т.Н. Кухта // Строительная наука и техника. – № 6 (21). – Минск, 2008. – С. 95-100.

УДК 539.163:504.062:504.064:504.(075.8) DOI:10.54073/GV.2024.1.96.014

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ УРАНА ИЗ ВТОРИЧНЫХ УРАНОВЫХ РУД




Назаров Ж.Т.,
проректор НГГГУ,
к.ф.-м.н., доцент

Аллаберганова Г.М.,
доцент кафедры
«Физика» НГГГУ,
PhD

Аллаяров Р.М.,
докторант НО АН РУз

Музафаров А.М.,
главный инженер ЦНИЛ
АО «НГМК», д.х.н., доцент

Ushbu maqolada balansdan tashqari uran otvallaridagi, uran tarkibli tashlanmalaridagi va uran parchalanish zanjiri radionuklidlari bilan ifloslangan jinslardagi ikkilamchi uran rudalaridan uranni ajratib olishning fizik-kimyoviy geotexnologiya usulining samaradorligi asoslangan. Ikkilamchi uran rudalaridan uranni ajratib olish uchun ishlab chiqilgan samarali fizik-kimyoviy geotexnologiyaning mohiyati bayon etilgan.

Yuqoridagi tadqiqotlar natijalari asosida ikkilamchi uran rudalaridan uranni ajratib olish bo'yicha taklif etilayotgan texnologiyaning samaradorligi va istiqbollari hamda ularni rekultivatsiyaqilish usullari baholangan.

Tayanch iboralar: *samarali usul, fizik-kimyoviy geotexnologiya, uran qazib olish, ikkilamchi uran rudalari, uran otvallari, uran tarkibli chiqindilar, tog' jinslari, uran parchalanish zanjirining radionuklidlari.*

В данной статье обоснована эффективность метода физико-химической геотехнологии извлечения урана из вторичных урановых руд – из забалансовых урановых отвалов, из ураносодержащих отходов хвостохранилищ и из горных пород загрязненных радионуклидами цепочки распада урана. Описана сущность разработанной эффективной физико-химической геотехнологии добычи урана из вторичных урановых руд.

На основании результатов вышеприведенных исследований оценена эффективность и перспективность предложенной технологии извлечения урана из вторичных урановых руд и методы их рекультивации.

Ключевые слова: *эффективный метод, физико-химическая геотехнология, извлечение урана, вторичные урановые руды, урановые отвалы, ураносодержащие отходы, горные породы, радионуклиды цепочки распада урана.*

В процессе добычи урана подземным шахтным способом образуются забалансовые урановые отвалы, а в процессе их переработки гидрометаллургическим способом образуются хвостохранилища ураносодержащих отходов [1-2]. Кроме этого в процессе добычи урана методом подземного выщелачивания (ПВ), загрязняются поверхностные почвы участков, где ведутся данные работы [3-4]. Руды забалансовых урановых отвалов, ураносодержащие отходы хвостохранилищ и загрязнённые поверхностные почвы участков ПВ урана условно называют вторичными урановыми рудами [5-8].

Повышенное содержание урана во вторичных урановых рудах можно выделить из этих вторичных руд пустой массы породной составляющей. При этом общий объём оставшейся продуктивной фракции в значительной части уменьшится за счёт вывода пустой породы, при этом количество урана снизится незначительно.

В связи с этим, привлечение к отработке вторичных урановых руд с разработкой эффективных методов физико-химической геотехнологии добычи урана из них представляет научно-практический интерес и является актуальной задачей физико-химической геотехнологии [9-12].

Целью работы является научное обоснование эффективность метода физико-химической геотехнологии извлечения урана из вторичных урановых руд.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

– определить концентрацию урана во вторичных урановых рудах, отобранных из урановых отвалов, из хвостохранилищ ураносодержащих отходов и из участков ПВ урана;

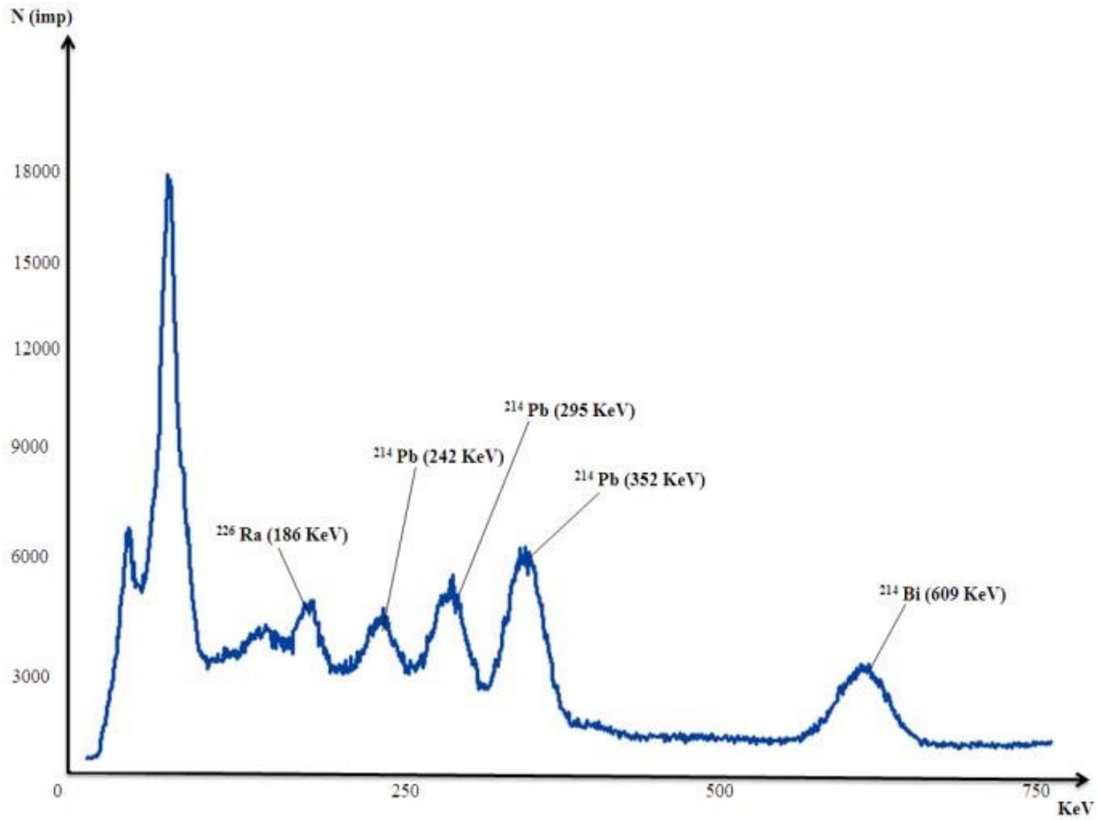
– изучить технологические особенности этих вторичных урановых руд, влияющих на эффективность метода физико-химической геотехнологии извлечения урана;

– усовершенствовать технологию рудоподготовки вторичных урановых руд для дальнейшего дифференцированного привлечения к переработке;

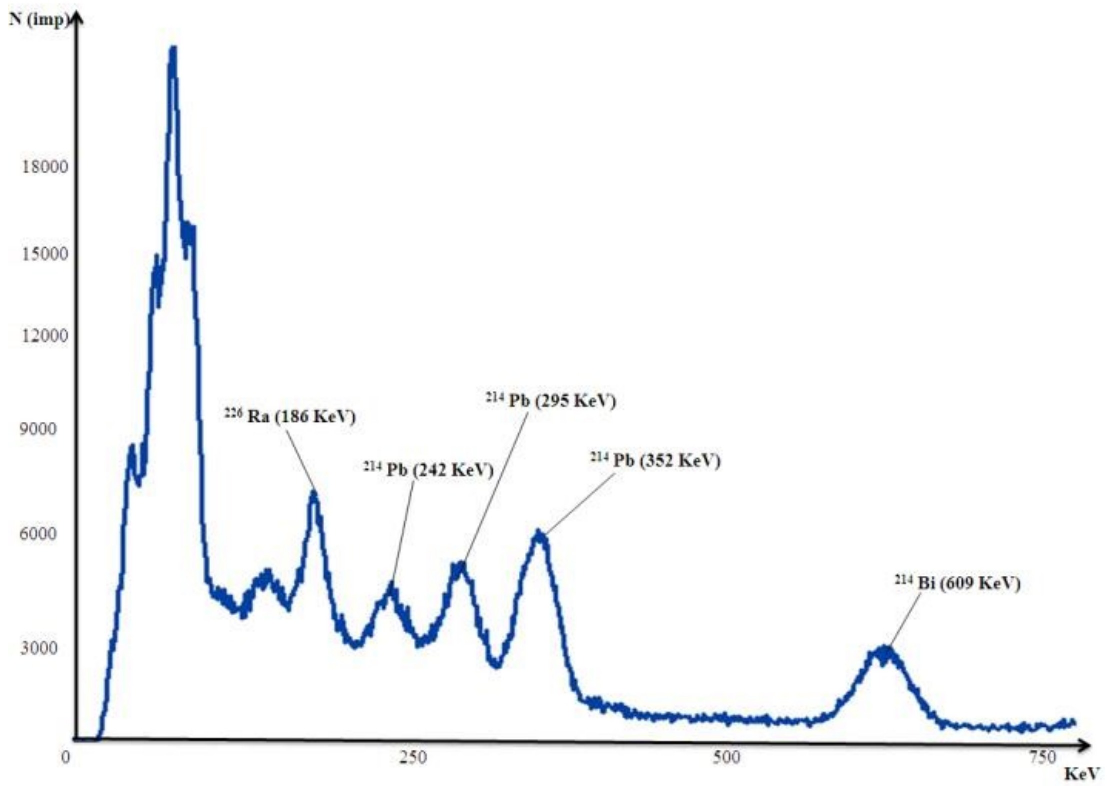
– установить взаимосвязь содержания урана в продуктивном сорте, гранулометрического состава руды, содержания серной кислоты в рабочем выщелачивающем растворе и показателя извлечения урана в продуктивный раствор, установить оптимальные параметры этих показателей;

– проверить эффективность разработанной комплексной технологии отработки вторичных урановых руд геотехнологическими методами.

Техника и методы эксперимента. В 120-ти отобранных пробах из вторичных руд определена концентрация урана с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра типа EDX-7000 фирмы «SHIMADZU» (Япония) и АРФ-7. (Россия). На данных спектрометрах определяли концентрацию более 40 элементов (от Be до U). Кроме этого в 120 отобранных пробах из вторичных руд гамма-спектрометрическим методом анализа определена



а)



б)

Рис. 1. Спектр гамма-спектрометрического анализа вторичных ураносодержащих руд с низкой (а) и высокой (б) активностью

Таблица 1

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа урана в 10 ураносодержащих вторичных руд

№ проб	Содержание урана в параллельных пробах, *г/т*				U_{cp}, *г/т*
	1	2	3	4	
1	138	133	134	137	136
2	135	130	134	131	132
3	124	129	131	132	129
4	161	159	167	160	162
5	119	121	127	123	123
6	138	141	139	137	139
7	153	149	147	156	151
8	143	139	142	145	142
9	213	216	214	219	215
10	224	229	231	232	229

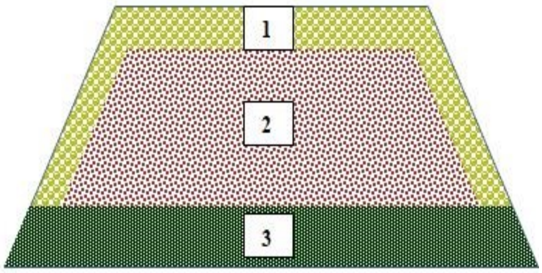


Рис. 2. Схематический вид формирования ураносодержащего отвала с учетом воздействия различных природных процессов: *1 – слой отвала образованного за счёт природного выветривания; 2 – слой химического выветривания отвала; 3 – слой техногенных наносов*

удельная активность естественных радионуклидов на гамма-спектрометре марки «ГАММА-ПРОГРЕСС».

Физико-химический геотехнологический метод добычи урана из вторичных руд основан в переводе урана из твёрдого состояния в жидкое с помощью водных растворов различных кислот. Коэффициент извлечения урана имеет прямо пропорциональную зависимость от содержания урана в исходных пробах. На основании этого факта в рамках данных исследований максимальное внимание сосредоточено на увеличении массовых количеств продуктивных сортов руд, привлекаемых к переработке методом физико-химической геотехнологии.

Для установления увеличения массовых количеств продуктивных сортов руд и влияния на показатель выхода продуктивных сортов при сортировке горнорудной массы от размера куска сортируемой руды проведены исследования. В результате исследования установлено, что доля машинного класса +25 и -25 *мм* разделилась примерно поровну 50 на 50%, при этом, класс крупности -25 *мм* имеет содержание урана на 50% выше, чем класса +25 *мм*. Во фракцию -25 *мм* извлекается около 70% урана. Для объяснения распределения урана по фракциям в процессе исследований установлено, что основным фактором, влияющим на эффективность физико-химической геотехнологии извлечения урана из ураносодержащих вторичных руд, является присутствие и количество кремнезёма (SiO_2) во вмещающих породах и рудах. Аналитическая формула определения количества кремнезёма (SiO_2) во вмещающих породах и рудах следующая:

$$\gamma = \frac{\alpha_1}{0,38 + 0,002\,\alpha + 0,0001\,\alpha^2} \qquad (1)$$

где *α* – содержание SiO_2, %.

На основе данной формулы можно определить количество кремнезема (SiO_2) в исследуемых пробах.

На этапе лабораторных исследование вовлечено в отработку 300,0 *кг* ураносодержащих вторичных руд с содержанием урана 0,032% и на основе технологии разделения фракции в них повышено в 1,67 раза содержание урана до 0,053%.

На основе этих данных изучена динамика извлечения урана в раствор в режиме активного выщелачивания при концентрации серной кислоты 10 *г/л*. Аналитическая формула данного процесса описывается формулой:

$$\gamma_U = \frac{\tau}{0,84 + 0,01\tau} \qquad (2)$$

где, *t* – время выщелачивания урана, *ч*.

В процессе исследований установлено, что для достижения извлечения 80-82% при выщелачивании руды с содержанием урана в 0,03-0,05% расход серной кислоты составил 25-30 *кг* на 1 *кг* урана.

Полученные результаты и их обсуждение. В рамках исследований разработки эффективного физико-химического геотехнологического метода добычи урана из вторичных руд изучено распределение урана в пробах ураносодержащих вторичных руд. Из инструментальных методов рентгенофлуоресцентный метод является оперативным и экспрессным методом детального изучения распределения урана во вторичных ураносодержащих рудах. Кроме него гамма-спектрометрический метод определения удельной активности естественных радионуклидов тоже является инструментальным, не требующим сложный процесс пробоподготовки.

На основании гамма-спектрометрического метода анализа (*рис. 1а, б*) проведены работы по определению удельной активности некоторых естественных радионуклидов во вторичных ураносодержащих рудах.

Как видно из *рис. 1а* и *б* методом гамма-спектрометрического метода анализа вторичных руд можно провести идентификацию удельной активности некоторых естественных радионуклидов содержащихся в данных пробах. На основании проведённых исследований рентгенофлуорес-центного анализа урансодержащих вторичных руд определено в 10-ти пробах содержание урана (*табл. 1*). Для подтверждения правильности определения урана взято 4 паралелльных проб и в них определено содержание урана.

Как видно из полученных результатов (*табл. 1*) содержания урана в исследованных ураносодержащих вторичных рудах, его концентрация изменяется в диапазоне от 123 *г/т* до 229 *г/т*. Погрешность определения урана при этом составляет не более ±3,5%. Данный метод определения урана во вторичных рудах является пригодным и вполне отвечает требований метрологии измерений.

Как показали результаты исследования состояния вторичных руд, в процессе выветривания отвалов, в значительной мере изменяется в них распределение урана по вертикали. Под воздействием различных природных процессов, уран содержащийся в верхних слоях отвалов выщелачивается и переходит под влиянием дождевых вод на более низкие горизонты отвалов. В процессе этих влияний в отвалах формируется зона техногенных наносов, обогащенная ураном. Но основании процесса миграции урана верхние горизонты отвалов подвергаются к обеднениям. А нижние части этих отвалов к обогащениям. Данное объяснение в схематическом виде можно отразить в следующим виде (*рис.1*): 1 – верхний слой отвала образован за счёт природного выветривания, и приблизительно составляет менее 5-6 *м*. На данном слое содержание урана на 30-40% меньше чем в нижних слоях.

Как видно из *рис. 2*, под слоем 1 образуется 2-ой слой называющийся слоем химического выветривания. Проведённые анализы показали, что в этом слое содержание урана достигает в диапазоне от 0,015 до 0,032% и является пригодным к переработке методом физико-химической геотехнологии с выделением продуктивного сорта. В 3-м слое техногенных наносов содержится ураносодержащая руда обогащенная ураном с содержанием более 0,12%. Данная руда может быть переработана гидрометаллургической техно-

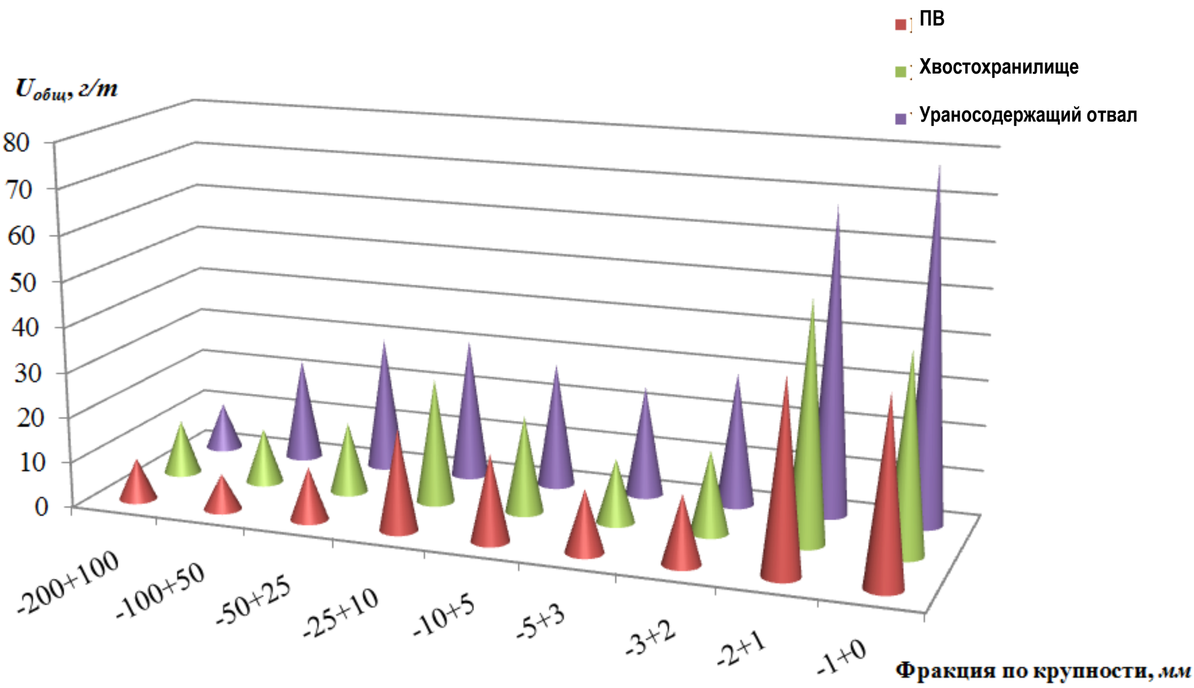


Рис. 3. Распределение урана по фракциям в пробах участков ПВ урана, хвостохранилищах и отвалах

логией (ГМТ) без предварительных подготовительных работ. Определено содержание урана в пробах вторичных руд отобранных из трёх объектов – из участков ПВ, из хвостохранилищ ураносодержащих отходов и из отвалов. В них узучено распределение урана по гранулометрическим фракциям. На основании полученных результатов построена гистограмма распределения урана по фракциям в пробах участков ПВ урана хвостохранилищ и отвалов.

Как видно из гистограммы (*рис. 3*) основная доля урана сосредоточена в мелких фракциях руды, то есть класс крупности в диапазоне от -25+10 *мм* до -1+0 *мм.* Во всех пробах трёх исследуемых объектов – участков ПВ урана, хвостохранилищах и отвалах содержание урана линейно взаимосвязано растёт с уменьшением размерности фракции. Хотя в исходных рудах содержание урана различно и изменяется в диапазоне от 110 *г/т* до 320 *г/т*.

Таким образом, результаты проведённых исследований показали, что метод физико-химической геотехнологии извлечения урана из вторичных урановых руд является эффективным. Изучение распределения урана в различных фракциях и применение процесса рудоподготовки ураносодержащих вторичных руд является экспериментальным основанием для оценки геотехнологических особенностей данных руд. Вовлечение в переработку урансодержащих вторичных руд позволяет рационально использовать отходы урана и увеличить объём урановых продуктов. На основе данного исследования определено, что на эффективность физико-химической геотехнологии извлечения урана из ураносодержащих вторичных руд отрицательно влияет присутствие кремнезёма (SiO_2) в пробах данных руд, а так же изучена динамика извлечения урана в рабочий раствор при концентрации серной кислоты.

Библиографический список:

1. Возжеников Г.С., Белышев Ю.В. Радиометрия и ядерная геофизика // Учебное пособие. – Екатеринбург, 2006. – 418 с.

2. Котляр В.Н., Баюшкин И.М., Данчев В.И. и др. Месторождения радиоактивных и редких металлов // Учебное пособие для ВУЗ. – М.:Атомиздат, 2001. – 371 с..

3. Аренс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 2004. – 320 с.

4.. Аллаяров Р.М., Назаров Ж.Т., Аллаберганова Г.М., Музафаров А.М. Разработка и внедрение эффективной технологии выщелачивания урана из урановых отвалов // Научный журнал UNIVERSUM: Технические науки. Выпуск 10 (103). Октябрь 2022. Часть 3. – С. 5-11.

5. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Петухов О.Ф. Исследование изотопного состава урана альфа-спектрометрическим методом // Горный Вестник Узбекистана. – Навои, 2005. – № 2 (21). – С. 94-98.

6. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Глотов Г.Н., Кист А.А. О вопросе нарушения коэффициента радиоактивного равновесия между изотопами урана // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2011. – № 2 (29). – С. 137-139.

7. Музафаров А.М., Саттаров Г.С. Радиоизотопы в природных водах Кызылкумского региона // Горный журнал. – М.: Руда и металлы, 2017. Спец выпуск. – С. 86-89.

8. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Ослоповский С.А. Радиометрические исследования техногенных объектов // Цветные металлы. – № 2. – М.: Руда и металлы, 2016. – С. 15-18.

9. Назаров Ж.Т., Аллаберганова Г.М., Пулатов Х.Л., Музафаров А.М. Анализ состояний горных пород и подземных вод в районе влияний уранового производства // «Kimyo, neft-gazni qayta ishlash hamda oziq-ovqat sanoatlarini rivojlanririshda innovatsion texnologiyalarni dolzarb muammolari» respublika ilmiy-texnikaviy anjumani maqolalar to'plami. – Toshkent, 25-noyabr, 2022 y. 63-68 b.

10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). – Ташкент, 2006. – 136 с.

11. Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Muzafarov A.M., Kholov D.M. Assessment of the influence of the process of underground uranium leaching on soil and groundwater /International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). November 2019. – Washington DC, pp. 34-39.

12. Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Muzafarov A.M., JurakulovA.R.Method for conducting of uranium isotopic analysis in various natural waters of uranium-bearing regions of Uzbekistan /International Journal of Academic Multidisciplinary Research (IJAMR). October 2019. – Washington DC, pp. 52-55.

УДК 621.78 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.015

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДОЭВТЕКТОИДНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Бердиев Д.М.,
заведующий кафедрой
«Обработка металлов давлением» ТГТУ
им. И. Каримова, д.т.н., профессор

Пушанов А.Н.,
докторант кафедры
«Обработка металлов давлением»
ТГТУ им. И. Каримова

Кузиев Г.Ш.,
докторант кафедры
«Обработка металлов давлением»
ТГТУ им. И. Каримова

Maqolada 20, 40X va 65G konstruksion po‘latlarga termosiklik ishlov berishda struktura shakllanishi xususiyatlari ko‘rib chiqilgan. Fazasiz qayta kristallanib termosiklik ishlov berilganda dislokatsiya zichligini oshishiga, dastlabki qayta kristallanish jarayonini o‘sishiga xizmat qiluvchi termik qoldiq kuchlanish shakllanadi. Fazali to‘liq qayta kristallanib termosiklik ishlov berilganda po‘lat namunasining o‘rta qism yuzalarida qayta kristallanish jarayoni turli xildagi jaddalikda o‘tadi.

Tayanch iboralar: *konstruksion po‘latlar, termosiklik ishlov berish, dislokatsiya zichligi, struktura, induksion qizdirish, qattiqlik.*

В статье рассматриваются особенности структурообразования при термоциклической обработке доэвтектоидных конструкционных сталей 20, 40Х и 65Г. Термоциклическая обработка безфазовой перекристаллизации формирует остаточные термические напряжения, обуславливающие повышение плотности дислокаций, развитие начальных стадий рекристаллизации. Термоциклическая обработка с полной фазовой перекристаллизацией приводит к развитию рекристаллизационных процессов различной интенсивности на поверхности в сердцевине стального образца.

Ключевые слова: *конструкционные стали, термоциклическая обработка, плотность дислокаций, структура, индукционный нагрев, твёрдость.*

Низколегированные и углеродистые стали длительное время были, и в обозримом будущем останутся основными конструкционными материалами для машиностроения, особенно, сельскохозяйственного. Однако, традиционные возможности повышения их эксплуатационных характеристик близки к предельным. Поэтому, наряду с изменением их химического состава (микролегирование, повышение металлургического качества и др.) большое внимание в последнее время уделяется разработке путей совершенствования структурно-фазового состояния стальных изделий методами нестационарного, термоциклического воздействия. Термоциклическая обработка (ТЦО) известна с середины 20 века [1-3]. Повышенный интерес к ней сейчас обусловлен широкими перспективами управления структурообразованием сталей и сплавов для повышения эксплуатационных свойств изделий [4-8]. Эффективность ТЦО с точки зрения достижимости свойств определяется режимом ТЦО, количеством циклов, скоростью нагрева и охлаждения, а также химическим составом стали. Анализ результатов выполненных работ показывает, что в основе отрабатываемых режимов ТЦО лежат закономерности фазовых превращений при нагреве и охлаждении стали, как в условиях полиморфного превращения, так и без него [4]. Работы в этой области свидетельствуют о достаточно широком использовании ТЦО в целях оптимизации структуры и свойств различных сплавов [5-8].

Являясь технологически более сложным процессом, по сравнению с традиционными операциями термической обработки, (ТЦО) может быть рекомендована к применению только в тех ситуациях, когда это обусловлено необходимостью достижения качественно нового уровня свойств особенно, если ТЦО удается совместить с другими операциями технологического цикла обработки изделий [4]. Ярким примером подобных изделий являются быстроизнашиваемые детали почвообрабатывающих агрегатов. Специфика этих деталей требует применения недорогих конструкционных сталей. Интенсификация почвообработки, характерная для мирового сельского хозяйства, предъявляет повышенные требования к долговечности этих деталей. Очевидно, что повышение долговечности этих деталей и агрегатов в целом было актуальным в XX веке, и остается актуальным в XXI веке [9]. Основным фактором повышения долговечности обсуждаемых деталей является повышение прочностных характеристик и абразивной износостойкости.

В статье представлены результаты выполненных исследований по упрочнению ряда конструкционных сталей для почвообрабатывающих агрегатов с применением термоциклического индукционного нагрева.

Индукционная термоциклическая обработка без фазовой перекристаллизации. Были выполнены исследования циклического нагрева стали 65Г (установка индукционного нагрева ВЧГ2-100/066) с последующим ускоренным охлаждением на воздухе. Охлаждение на воздухе с принудительной циркуляцией позволяет повысить скорость охлаждения выше традиционной нормализации. В этом случае появляется возможность получения более дисперсной тросто-сорбитной структуры. Такая обработка близка по своей сути к одинарной термической обработке по Минкевичу Н.А. Температура нагрева при термическом цикле была выбрана заведомо ниже точки A_1 (450, 570 и 700ºC). Это позволило оценить влияние термических напряжений и формируемого ими фазового наклепа без полной фазовой перекристаллизации (*табл. 1*).

Установлено, что структурные изменения при низкотемпературном ТЦО состоят в сфероидизации карбидной фазы.

Таблица 1

Изменение свойства стали 65Г после индукционного термоциклирования с последующим охлаждением на воздухе

№	Изменение свойств	Количество циклов				
		1 цикл	2 цикл	3 цикл	4 цикл	5 цикл
Нагрев до 450ºС						
1.	Твёрдость, *НВ*	269	255	241	241	255
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии, $\beta_{ср}10^{-3}$ *рад*	9,87	9,45	9,69	9,27	9,88
Нагрев до 550ºС						
1.	Твёрдость, *НВ*	241	229	241	207	207
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии, $\beta_{ср}10^{-3}$ *рад*	9,1	9,59	8,71	8,3	8,3
Нагрев до 700ºС						
1.	Твёрдость, *НВ*	229	217	207	255	285
2.	Среднее значение ширины рентгеновской линии, $\beta_{ср}10^{-3}$ *рад*	9,88	8,72	9,3	12,5	12,8

С повышением температуры ТЦО ожидаемая степень глобулярности цементита увеличивается за счёт повышения диффузионной подвижности углерода. Твёрдость и уровень напряжений 2-ого рода нелинейно зависят от параметров низкотемпературной ТЦО. Повышение температуры ТЦО от 450 до 700ºС (1 цикл) снижает твёрдость за счёт более интенсивной сфероидизации карбидной фазы. Аналогичная зависимость наблюдается для первых трёх (четырёх) циклов ТЦО. На пятом цикле для всех температур ТЦО фиксируется повышение твёрдости. Причём с повышением температуры твёрдость после пятого цикла растёт значительнее. Анализ кинетики изменения уширения рентгеновской линии позволяет понять причины указанного явления. Термические остаточные напряжения, характеризуемые уширением рентгеновской линии, нелинейно зависят от числа циклов ТЦО. Уменьшение остаточных напряжений после 2-го, 3-го цикла обусловлено релаксационными процессами. С повышением температуры эта тенденция проявляется более ярко. Так для 2-ого цикла ТЦО при 700ºС среднее уширение рентгеновской линии составило только 8,72, для аналогичного процесса при 400ºС уже 9,45. К пятому циклу при всех температурах ТЦО возрастают остаточные напряжения и обусловленное ими уширение рентгеновской линии. С повышением температуры напряжение ожидаемо возрастает из-за увеличения градиента температур. По этой же причине возрастает и твёрдость. Существенным является известный факт микропластической деформации при ТЦО из-за интенсивных теплосмен и различия термического расширения элементов гетерофазной струтуры.

Таким образом, происходит развитие дислокационной структуры, а повышенная температура ведёт к полигонизации. Полигонизационная структура, хотя и не имеет высокий уровень дефектности кристаллического строения, обладает высокой термической стабильностью. При повтором нагреве, выше точки фазового превращения, полигонизованные структуры обеспечивают создание структур с высокой плотностью дислокаций [10, 11]. Результаты испытаний на абразивное изнашивание в условиях незакреплённого абразивного материала согласуются с данными микро- и субмикроисследований образцов.

Индукционная термоциклическая обработка с фазовой перекристаллизацией. Был выполнен комплекс исследований по индукционной ТЦО ряда конструкционных сталей (сталь 20, 40Х) [12, 13]. Авторский опыт свидетельствует, что для быстропротекающих процессов термической обработки следует учитывать разницу структурных превращений на поверхности и в сердцевине изделий.

Для индукционной ТЦО при малых размерах образцов (10х10х55 *мм*) были обнаружены существенные различия в кинетике структурообразования в сердцевине и на поверхности. Был подтверждён факт полигонизации и рекристаллизации структуры стали в результате ТЦО. Для определения влияния фазового наклепа на структурообразование поверхности и сердцевины стали (20, 40Х) во время циклических фазовых превращений были выбраны образцы с крупнозернистой структурой (5 балла), полученной предварительным отжигом при 1000ºС в защитной атмосфере в течение 2 *ч*. Схема ТЦО была выбрана с полным прямым и обратным аустенитным превращением (нагрев выше A_3), а интенсивность теплосмен составила 1, 2, 4, 6 циклов со скоростью нагрева и охлаждения в циклах 30…40ºС/с и 3…5ºС/с соответственно. Было установлено, что индукционная ТЦО (4 и более) измельчает структуру до 9 (сталь 20) и 13 (сталь 40Х) балла. Однако, в структуре из-за объёмных полиморфных превращений происходит накопление напряжений 2-ого рода, которые вызывают микропластическую деформацию зёрен, повышающую плотность дефектов кристаллического строения. Пластическая деформация зёрен сопровождается рекристаллизацией, которая протекает с разной интенсивностью и проходит до определенной стадии.

На поверхности (сталь 20) образца (4 и более циклов) рекристаллизация наклёпанных зёрен доходит до собирательной стадии, что сопровождается увеличением диаметра отдельных зёрен (с 10 *мкм* до 125 *мкм*) и снижением твёрдости с HV 178 до HV 157 (*рис. 1*).

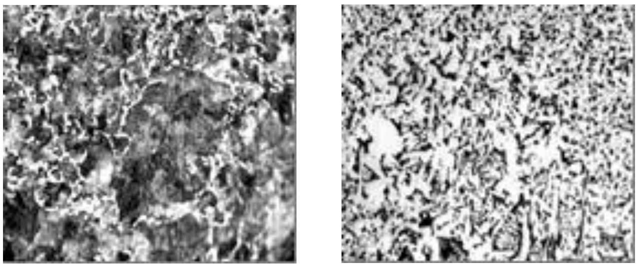
Такая картина характерна для слабодеформированного сплава, когда рост зёрен происходит за счёт слияния в одно крупное, путём «растворения» границ. Процесс слияния зёрен не требует значительных диффузионных процессов. Существенно, что слияние может происходить одновременно по всем поверхностям межзёренного раздела. На межзёренных границах происходит концентрация дислокаций. Их аннигиляция, по сути, и есть «растворение» границ зёрен. Для незавершенного процесса слияния характерна разнозернистость с небольшим количеством крупных зёрен и большим количеством мелких. Интенсивный рост зёрен в слабо деформированной структуре наблюдается при быстром индукционном нагреве, если процесс нагрева медленный, то процесс полигонизации успевает пройти и рост зерна, по механизму слияния, не происходит. В сердцевине (сталь 20, 40Х) формируется устойчивая полигональная структура и происходит «рекристаллизация на месте», сопро-

Рис. 1. Микроструктура поверхности образца после 6-ти циклов ТЦО (сталь 20). Х100

Таблица 2

Влияние режима ТЦО на размер кристаллитов стали 20

Вид обработки	Размер кристаллитов по рентгеноструктурному анализу, *нм*					
HKL	110	200	211	220	310	222
Полный отжиг	144	144	200	170	113	125
ТЦО, 4 цикла	261	212	240	200	171	220
ТЦО, 6 циклов	260	225	340	350	253	282



а) *б)*

Рис. 2. Микроструктура сердцевины после 4-х термоциклов и отжига: *а – сталь 40Х (х100); б – сталь 20 (х100)*

вождаемая ростом субзерн. Это подтверждается рентгеноструктурным анализом образцов, в которых наблюдается увеличение кристаллитов с 150 *нм* (отжиг) до 300 *нм* (6 циклов), (*табл. 2*). Последующий изотермический отжиг показал, что полигональные структуры довольно устойчивы и сохраняются длительное время, препятствуя протеканию обычной рекристаллизации. Было выявлено, что снижение твердости и изменения структуры стали начинаются только после 4 *ч* рекристаллизационного отжига. Структура сталей 20 и 40Х из мелкозернистой превращается в структуру, характеризующую вторичную стадию рекристаллизации. В сердцевине сталей происходит избирательный рост зерен, диаметр которых доходил до 1500 *мкм* и твердостью HV 120, а сохранившиеся в структуре мелкие зерна (диаметр 15 *мкм*) имели твердость HV 150…160. Такая структура и твёрдость характеризует полностью завершенный процесс рекристаллизации зерен с предварительной степенью деформации 3…8%, близкой критической (*рис. 2*). На контрольной группе отожженных образцов сталей (20, 40Х) подвергнутых повторному отжигу не обнаружено изменений в механических свойствах и микроструктуре.

Твёрдость зерен феррита (сталь 20) сохранялась в течение 4 *ч* в интервале HV 120…125, а размер зёрен не превысил 5 баллов.

Литературный анализ и собственные исследования позволили уточнить механизм микропластической деформации и структурной рекристаллизации среднеуглеродистых низколегированных сталей при ТЦО. Отсутствие выдержки при верхней температуре цикла, ведёт к тому, что рекристаллизация не успевает пройти полностью. К моменту достижения нижней температурной границы цикла, в объёме стали происходит накопление дефектов кристаллического строения и возрастает доля наклепанных нерекристаллизованных зёрен. Дополнительно к этому объёму добавляются зерна, в которых при обратном превращении аустенита в феррито-перлитную структуру создаются напряжения, релаксация которых происходит в результате микропластической деформации скольжением, возникающая из-за малой подвижности границ. Последующая ТЦО увеличивает количество нерекристаллизованных зёрен, способствует накоплению фазовых напряжений и, как следствие, повышению степени деформации зёрен. В результате на поверхности и в сердцевине протекает рекристаллизация различной интенсивности. На поверхности она доходит до собирательной стадии, а в сердцевине наблюдается только полигонизация и рост субзёрен.

На основании проделанных работ сделаны следующие выводы:

1. Индукционное ТЦО конструкционной стали без фазовой перекристаллизации в интервале температур 400-700ºC формирует остаточные термические напряжения, обуславливающие повышение плотности дислокаций, развитие начальных стадий рекристаллизации. Это обеспечивает формирование полигональной, термически устойчивой субструктуры и повышение твёрдости стали.

2. Индукционное ТЦО конструкционных сталей с полной фазовой перекристаллизацией в интервале температур 600-940ºC приводит к развитию рекристаллизационных процессов различной итенсивности на поверхности в сердцевине стального образца. Фазовый наклёп не устраняется полностью при нагреве и степень деформации зёрен возрастает с каждым циклом охлаждения. В результате после 4-х и более циклов ТЦО в поверхностном слое протекает собирательная рекристаллизация, которая формирует зёрна диаметром 60 *мкм*, на фоне мелких зёрен диаметром 16 *мкм*. В сердцевине (сталь 20) сохраняется мелкодисперсная структура (диаметр 8…12 *мкм*) и протекают процессы полигонизации и «рекристаллизация на месте», о чём свидетельствует укрупнение кристаллитов с 150 *нм* (отжиг) до 300 *нм* (6 циклов).

Библиографический список:

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин // В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Знание, 1999. – 241 с.

2. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов. – М.: «Металлургия», 1989. – 376 с.

3. Тихонов А.С. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов // А.С. Тихонов, В.В. Белов. – М.: Наука, 1994. – 168 с.

4. Биронт В.С. Теория термической обработки металлов. СФУ: ИЦМиЗ. – Красноярск, 2007. – 234 с.

5. Гурьев А.М. Термоциклическое и химико-термоциклическое упрочнение сталей // А.М. Гурьев, Л.Г. Ворошнин, Ю.П. Хараев // Ползуновский вестник. Часть 2, – № 2. – Россия – Барнаул, 2015. – С. 36-44.

6. Гурьев А.М. Циклическое тепловое воздействие при ТО и ХТО инструментальных сталей // А.М. Гурьев, Л.Г. Ворошнин // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – Барнаул: АГТУ, 2015. – № 3. – С. 37-44.

7. Евдокимов А.И. Циклическая закалка стали ХВГ // А.И. Евдокимов, М.Г. Зелин, В.А. Коротков // МиТОМ, 2012. – № 9. – С. 33-34.

8. Effect of cyclic heat treatment on microstructures and mechanical properties of directionally solidified Ti-46Al-6NB alloy / Hong-ze FANG [and ot.] // Trans. Nonferrous Met. Soc. China 25 (2015), pp.1872-1880.

9. Константинов В.М. Комплексное повышение долговечности корпуса почвообрабатывающего плуга // Упрочняющие технологии и покрытия – 2014. – № 12. – С. 3-7.

10. Бердиев Д.М., Юсупов А.А. Повышение износостойкости зубьев зубчатых колес циклической закалкой с индукционным нагреванием // Вестник машиностроения. – №3. 2020. – С. 50-53.

11. Berdiev D.M., Yusupov A.A. Improving the Wear Resistance of Gear Teeth by Cyclic Quenching with Inductive Heating // Russian Engineering Research. 2020. Vol. 40. No. 6, pp. 473-475.

12. Ткаченко Г.А. Электро-химико-термическая обработка крепежных элементов почвообрабатывающих машин // Г.А. Ткаченко, В.М. Константинов // Металлургия: Республ. Межведом. сб. науч. тр. // БНТУ. – Минск, 2018. – Вып. 31. – С. 358-371.

13. Константинов В.М., Ткаченко Г.А. Упрочнение быстроизнашиваемых деталей почвообрабатывающих плугов нитроцементацией с локальным циклическим индукционным нагревом // Упрочняющие технологии и покрытия. – ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», 2011. – № 2. – С. 44-50.

УДК 669.131.2
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.016

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ИЗНОСОСТОЙКОГО БЕЛОГО ЧУГУНА




Ахмедов Х.И.,
доцент кафедры
«Технология машиностроения»
НГГТУ, к.т.н.

Барановский К.Э.,
доцент кафедры
«Металлургия черных и цветных сплавов» БНТУ (Беларусь), к.т.н.

Урбанович Н.И.,
доцент кафедры
«Металлургия черных и цветных сплавов», БНТУ (Беларусь), к.т.н.

Жумаев А.А.,
доцент кафедры
«Технология машиностроения»
НГГТУ, PhD

Maqola ishqalanishga bardoshli oq cho‘yan asosida maxsus namunalar tayyorlash orqali ma’lum bir qotishmaga xos bo‘lgan mexanik xossalarni chuqur o‘rganishga bag‘ishlangan. Qotishmadagi murakkab tarkib va mikrostrukturani o‘rganish uchun SEM EVO Carl Zeiss NA 10 elektron mikroskopi yordamida keng qamrovli mikrostruktura tahlili o‘tkazildi. Bundan tashqari, tadqiqot qotishma qattiqligini chuqur o‘rganishni o‘z ichiga oladi, bu ham metall asosni, ham alohida karbid fazalarini qamrab oladi. Ushbu keng qamrovli tadqiqot ishqalanishga bardoshli oq cho‘yanning taniqli markalarini, xususan 300X32N2M2TL, 280X29NL va 330X17L markalarini qamrab oldi. Tadqiqotda asosan qotishma quyish usullarini optimallashtirish, xususan, quyma sovutgichlarning qotishma strukturasidagi karbid fazalarining shakllanishi va yo‘nalishiga ta’sirini baholash egalladi. Ushbu ilmiy tadqiqot quyma metodologiyalari va natijada paydo bo‘ladigan mikrostrukturaviy xossalar o‘rtasidagi nozik o‘zaro ta’sirlarni yoritishga qaratilgan bo‘lib, optimallashtirilgan quyish texnikasi orqali qotishma xossalarining potentsial yaxshilanishiga oydinlik kiritdi.
Tayanch iboralar: *yeyilishga bardoshli oq cho‘yan, karbid faza, yuqori legirlangan cho‘yan, abraziv yeyilish, xromli cho‘yan, struktura, kimyoviy tarkib, mikrostruktura, yeyilishga bardoshlilik, qattiqlik, kristallanish, mikroqattiqlik.*

Статья посвящена тщательному исследованию механических свойств, присущих тому или иному сплаву, путём создания специализированных образцов на основе износостойкого белого чугуна. С помощью электронного микроскопа SEM EVO Carl Zeiss NA 10 был проведён комплексный микроструктурный анализ для изучения сложного состава и расположения внутри сплава. Кроме того, исследование включало в себя тщательное изучение твёрдости сплава, охватывающей как металлическую основу, так и отдельные карбидные фазы. Это всестороннее исследование распространилось на известные марки износостойкого белого чугуна, в частности на варианты 300Х32Н2М2ТЛ, 280Х29НЛ и 330Х17Л. Центральное место в исследовании занимала оптимизация методов литья сплавов, в частности оценка влияния охладителей отливки на направление образования и ориентацию карбидных фаз в структуре сплава. Это академическое исследование было направлено на выяснение нюансов взаимодействия между методологиями литья и полученными в результате микроструктурными характеристиками, проливая свет на потенциальное улучшение свойств сплавов за счёт оптимизированных технологий литья.
Ключевые слова: *износостойкий белый чугун, карбидная фаза, высоколегированный чугун, абразивный износ, хромистый чугун, структура, химический состав, микроструктура, износостойкость, твёрдость, кристаллизация, микротвёрдость.*

В современных условиях развития горнометаллургического комплекса важным является повышение эффективности деталей, работающих на износ и трение, изготовленных из белого чугуна, путём повышения их механических и эксплуатационных свойств. Это возможно за счёт развития методов оптимизации сплавов, совершенствования методики их литья и технологии термообработки белого чугуна, приводя их в соответствие с современными требованиями промышленности к повышению эксплуатационной эффективности и механической устойчивости готовых изделий [1-2].

На металлургических предприятиях развитых стран мировой чёрной металлургии проводится ряд научно-исследовательских работ по получению качественных отливок из износостойких белых чугунов, в частности, износостойких хромистых чугунов. Япония, Китай, Индия, страны Европы и Американского континента являются ведущими производителями белых чугунов, выпуская 60-70% деталей от общемирового количества. В связи с ежегодным увеличением производства белого чугуна, увеличением спроса на качество деталей из износостойкого белого чугуна, было важно создать и внедрить технологию получения литых деталей из качественного белого чугуна с более низкой себестоимостью за счёт ресурсосбережения [4-6]. Также, как и во всем мире в Узбекистане предприняты комплексные меры по развитию металлургической и горнодобывающей промышленности, включая вопросы производства импортозамещающих деталей из износостойких чугунов [3-4].

Одним из ключевых, нерешенных факторов, определяющим повышенные эксплуатационные свойства этих сплавов, является карбидная фаза, сложным образом образующаяся на этапе затвердевания белых чугунов. Так, например, ранее авторами было установлено, что параметры затвердевания белых чугунов оказывают значительно большее влияние на их эксплуатационные характеристики по сравнению с другими литейными сплавами. Например, скорость охлаждения, направление кристаллизации играют решающую роль в определении и формировании эксплуатационных характеристик изделий, подчеркивая решающее значение механизмов затвердевания в формировании конечных свойств и функцио-

Таблица 1

Величина прочности камня при различных видах воздействий

№	Марка чугуна	Содержание химических элементов, % по массе							
		C	Si	Cr	Mo	Ni	Ti	P	S
1.	330Х17Л	3,40	0,6	16,5	0,5	0,6	-	≤ 0,01	≤ 0,01
2.	300Х32Н2М2ТЛ	2,60	1,7	32,0	1,7	0,6	2,2	≤ 0,1	≤ 0,1
3.	280Х29НЛ	2,55	1,5	28,0	-	0,6	1	≤ 0,1	≤ 0,1

нальности износостойких белых чугунов. Поэтому поиск и внедрение оптимальных технологических приемов изготовления отливок из износостойкого белого чугуна – первостепенная задача, наряду с важностью выбора состава сплава. Признание важности как технологических подходов, так и рецептуры сплавов подчеркивает целостный подход, необходимый для использования повышенных механических и эксплуатационных свойств износостойкого белого чугуна [5-6].

Существующая проблема в промышленном контексте также остаётся ключевой, но нерешённой научной задачей.

В настоящее время литейное производство ПО НМЗ АО «НГМК» уделяет повышенное внимание выпуску отливок из высокохромистого белого чугуна [7-8].

Повышение износостойкости деталей из хромистого чугуна представляет собой многогранную задачу, охватывающую различные аспекты, такие как адаптация состава износостойкого чугуна к конкретным условиям эксплуатации, определение технологических параметров литья и разработка оптимальных протоколов литья. Следовательно, определение оптимальной технологии производства отливок из легированного чугуна является ключевой задачей, наряду с важностью выбора состава сплава. Сложность заключается в фундаментальной связи между составом металлической системы и последующими свойствами сплава, подчеркивая важнейшую роль этих взаимосвязанных элементов в определении присущих материалу свойств [9-11].

Целью настоящей работы является выбор состава износостойкого белого чугуна, обеспечивающего эффективность производства деталей, работающих на износ в условиях горно-металлургического комплекса Узбекистана.

Для достижения основной цели в работе решены следующие задачи:

– проведён сопоставительный анализ химического состава, механических свойств (твёрдости), структуры чугунов марок 280Х29НЛ, 300Х32М2Н2ТЛ и 330Х17Л;

– проведено экспериментальное апробирование в промышленных условиях технологии литья с использованием холодильников в процессе последующей кристаллизации сплавов;

– изучены структура, свойства износостойких чугунов, полученных традиционными методами литья в условиях ПО НМЗ АО «НГМК», а также с использованием холодильников.

Методы исследования и использованные материалы.

Сплавы отобраны из-за их применения в критических компонентах горнодобывающего и перерабатывающего оборудования, выдерживающих абразивный износ. Примечательно, что они находят применение при изготовлении важных компонентов, таких как подающие диски, подложки и дробильные пластины [12-13].

Процесс производства сплава осуществляли в индукционной печи ёмкостью 2,5 *т* с использованием шихты, состоящей из 400 *кг* чугуна, 300 *кг* феррохрома (марка ФХ 100А), никеля от 1 до 2 *кг* (в зависимости от конечного состава сплава), 3-5 *кг* ферромарганца и 25 *кг* ферросилиций марки ФС45. Температуру плавления поддерживали на уровне 1400ºC, превосходя температуру, необходимую для полного перехода сплава в жидкое состояние, на 150º–200º. Для процесса литья была выбрана температура 1380ºC, исходя из сложившейся практики литья и для уменьшения полной усадки отливки.

В работе исследованы износостойкие белые чугуны марок: 280Х29НЛ, 300Х32М2Н2ТЛ и 330Х17Л (*табл. 1*).

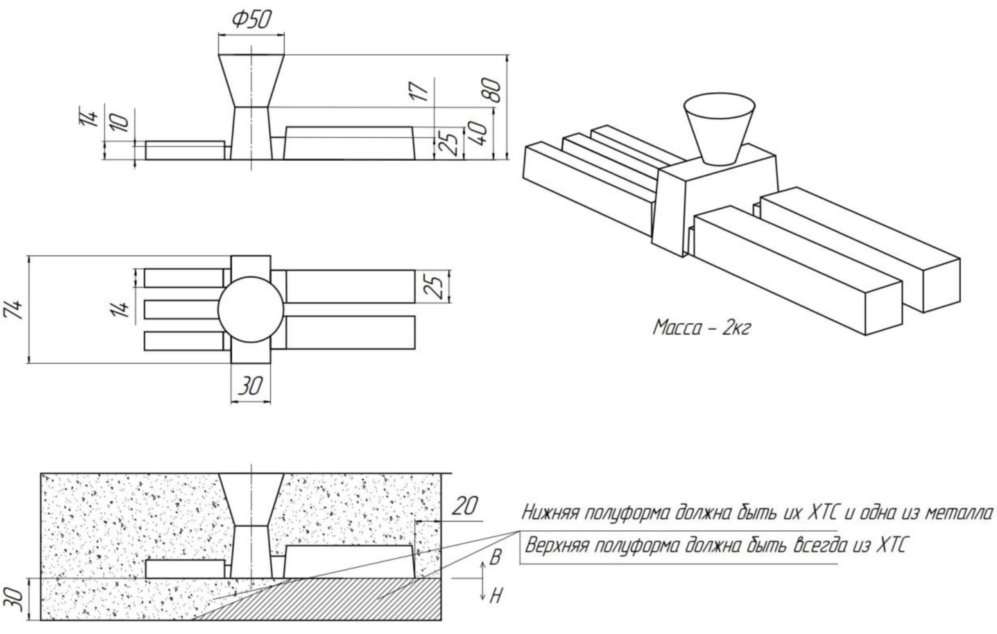


Рис. 1. Эскиз образцов для определения прочности на изгиб и свойств ударной вязкости

а)

б)

Рис. 2. Образцы, приготовленные для определения механических свойств коррозионностойкого белого чугуна: *а) литье в песчаную форму; б) литьё с помощью литейных холодильников*

Скорость охлаждения во время литья различалась от 100ºС/*мин* для литья в песчаной форме до 235ºС/*мин* для литья с помощью литейных холодильников. Сплавы не подвергали рафинированию, шлак удаляли с поверхности расплава в течение 5-10 *мин* после снижения температуры расплава до уровня литья. Механические свойства оценивали по ГОСТ 1497-84.

Образцы отливали в песчано-металлические формы для определения механических свойств коррозионно-стойкого белого чугуна (*рис. 1*).

Эскиз пробы для образцов на ударную вязкость и прочность на изгиб.

Литые образцы извлекали из формы и тщательно очищали с целью определения механических свойств сплава (*рис. 2*).

Для определения механических свойств образцов использовали электроэрозионный станок ДМ 80 Cormak, применяемый на Навоийском машиностроительном заводе, изготавливаемый в США.

Для проведения исследований отлиты образцы (*рис. 3*) из белых износостойких чугунов на индукционной печи ИЧТ-2,5 (пр-во Россия).

Химический состав отливок, приготовленных в промышленных условиях, определены эмиссионным спектральным методом на приборе Spectro-Lab–M (пр-во Германия).

Для структурного анализа готовили образцы травлением реагентом, содержащим 15 *мл* азотной кислоты, 15 *мл* соляной кислоты и 15 *мл* глицерина. Травление проводили в течение 10 *мин* при температуре реагента 60ºС.

Микроструктуру образцов исследовали с помощью электронного микроскопа SEM EVO Carl Zeiss NA 10 для исследования состава структурных составляющих.

Измерения твёрдости осуществляли прецизионными приборами: твёрдость HRC измеряли твердомером Роквелла KB 150 R.

Микрошлифы тщательно готовили на шлифовально-полировальном аппарате NERIS (производство Латвия). Образцы прошли точную процедуру полировки наждачной бумагой с размером зерна от 180 до 1500 *микрон*. Затем поверхности микрошлифов были тонко отполированы с использованием алмазной пасты ASM зернистостью 1/0, 2/1 и 3/2.

Чугунные образцы, предназначенные для испытаний, были изготовлены с использованием глиняных форм. Оценку износостойкости проводили в условиях сухого трения. Следует отметить, что хромистый чугун 330Х17Л является распространенной износостойкой разновидностью чугуна на территории Республики Узбекистан. Кроме того, сложнолегированный хромистый чугун с содержанием никеля, молибдена и титана, получивший название 300Х32Н2М2ТЛ, демонстрирует оптимальные механические характеристики и доказал свою эффективность в горнодобывающей отрасли, в частности, при производстве детали «наковальня», используемой в дробилке КЭВ 96. Никелированный чугун 280Х29НЛ также обладает высокими механическими свойствами и зарекомендовал себя в горнодобывающей промышленности, в частности при изготовлении наковальни дробилки КЭВ 96.

Рис. 3. Образцы белых износостойких чугунов: *1 – 280Х29НЛ; 2 – 300Х32Н2М2ТЛ; 3 – 330Х17Л*

Таблица 2

Относительная износостойкость и механические свойства хромистых чугунов (литье в земляные формы)

Марка чугуна	300Х32Н2М2ТЛ	330Х17Л	280Х29НЛ
Твёрдость на поверхности в литом состоянии HRC	58-61	57-62	46-47
Твёрдость в сердцевине в литом состоянии HRC	52-53	47-48	40-41

Таблица 3

Относительная износостойкость хромистого чугуна 330Х17Л (литье в земляные формы и с помощью литейных холодильников)

Марка чугуна	330Х17Л (литье в земляные формы)	330Х17Л (литье в металлические формы)
Твёрдость на поверхности в литом состоянии HRC	46-47	59-64
Твёрдость в сердцевине в литом состоянии HRC	43-44	54-55

Результаты исследования и их анализ. Результаты измерения твёрдости сплавов представлены в *табл. 2*. Сравнение высокохромистых марок чугуна, в частности 280Х29НЛ с 330Х17Л и 300Х32Н2М2ТЛ, показывает заметные различия в износостойкости и твёрдости. Сплав 280Х29НЛ, хотя и экономичен, но обладает худшей износостойкостью и твёрдостью по сравнению с аналогами

330Х17Л и 300Х32Н2М2ТЛ. Это несоответствие можно объяснить различиями в составе и микроструктуре сплава, где повышенное содержание хрома или других легирующих элементов в 330Х17Л и 300Х32Н2М2ТЛ, вероятно, способствует повышению износостойкости и твёрдости.

Такие факторы, как наличие карбидов, размер зерна и распределение фаз внутри микроструктуры, существенно влияют на механические свойства. Дальнейший анализ может углубиться в изучение конкретных легирующих элементов, их процентного содержания и их влияния на образование различных фаз внутри микроструктуры. Кроме того, понимание скоростей охлаждения во время литья, процессов термообработки или конкретных микроструктурных особенностей может дать более глубокое понимание наблюдаемых различий в износостойкости и твёрдости между этими сплавами.

Полученные данные свидетельствуют о том, что совокупное содержание легирующих элементов в составе сплава достигает ориентировочного диапазона 18-20%. Следовательно, это означает, что значительная часть микроструктуры содержит карбидные фазы, составляющие не менее 10-15%. Значительное присутствие легирующих элементов играет решающую роль в формирование карбидов в микроструктурной матрице сплава. Эти карбидные фазы, являясь прямым следствием состава сплава, вносят значительный вклад в общие характеристики и свойства материала. Преобладание карбидов, составляющих значительный процент микроструктуры, потенциально влияет на твёрдость, прочность и износостойкость.

Использование холодильников в процессе литья сыграло важную роль в значительном повышении износостойкости, причём наблюдаемое улучшение составляет от 20% до 30% по сравнению с образцами, отлитыми в традиционных земляных формах (*табл. 3*).

Понимание и управление распределением и морфологией карбидной фазы имеют решающее значение для оптимизации характеристик сплава для конкретных применений. Промышленные эксперименты предоставили убедительные доказательства того, что выравнивание этих карбидных фаз по отношению к поверхности трения является важным фактором, значительно повышающим износостойкость сплава.

Явное повышение износостойкости означает существенное улучшение характеристик сплава, что объясняется, прежде всего, оптимизированной микроструктурой, достигаемой за счёт методов контролируемого, направленного охлаждения. Более того, твёрдость образцов, отлитых с использованием литейных охладителей, значительно возросла, достигнув 59-64 HRC. Наблюдаемые улучшения износостойкости и твёрдости, особенно в образцах, отлитых с использованием литейных охладителей, подчеркивают ключевую роль оптимизированных методов охлаждения в настройке микроструктуры сплава. Эта улучшенная микроструктура со стратегически ориентированными и распределенными карбидами является свидетельством глубокого влияния методов литья на механические и эксплуатационные характеристики износостойких чугунных деталей.

Микроструктурное исследование чугуна 330Х17Л, представленное на *рис. 4*, даёт ценную информацию о влиянии методов литья на структуру сплава и последующую износостойкость.

При сравнении литья в глиняные формы (а) и использования литейных охладителей (б) выявляются заметные различия в микроструктурных характеристиках. Кроме того, соответствующие данные (*рис. 4*) подчеркивают различия в относительной износостойкости, достигаемой при различных методах литья. Микроструктура чугуна 330Х17Л при отливке в глиняные формы (а) обнаруживает некоторую шероховатость и меньшую утонченность по сравнению со структурой, полученной с помощью литейных охладителей (б). Использование литейных охладителей способствует заметному улучшению микроструктурных особенностей, о чём свидетельствует более мелкое и фрагментированное расположение.

Эта улучшенная микроструктура является результатом ускорения скорости охлаждения, чему способствуют литейные охладители, способствующие зародышеобразованию и кристаллизации, что приводит к более тонкой структуре сплава. Данные таблицы, связанные с *рис. 4*, дают количественную оценку относительной износостойкости чугуна 330Х17Л при различных условиях литья. Примечательно, что при использовании литейных охладителей сплав демонстрирует заметное улучшение износостойкости в 1,5–2 раза по сравнению с литьём в глиняные формы. Это существенное улучшение можно объяснить более мелкой микроструктурой, характеризующейся повышенной твёрдостью и улучшенной стойкостью к абразивному износу. Влияние методов литья на микроструктурное измельчение и последующую износостойкость подчеркивает важность контролируемых процессов охлаждения для оптимизации характеристик износостойких чугунов.

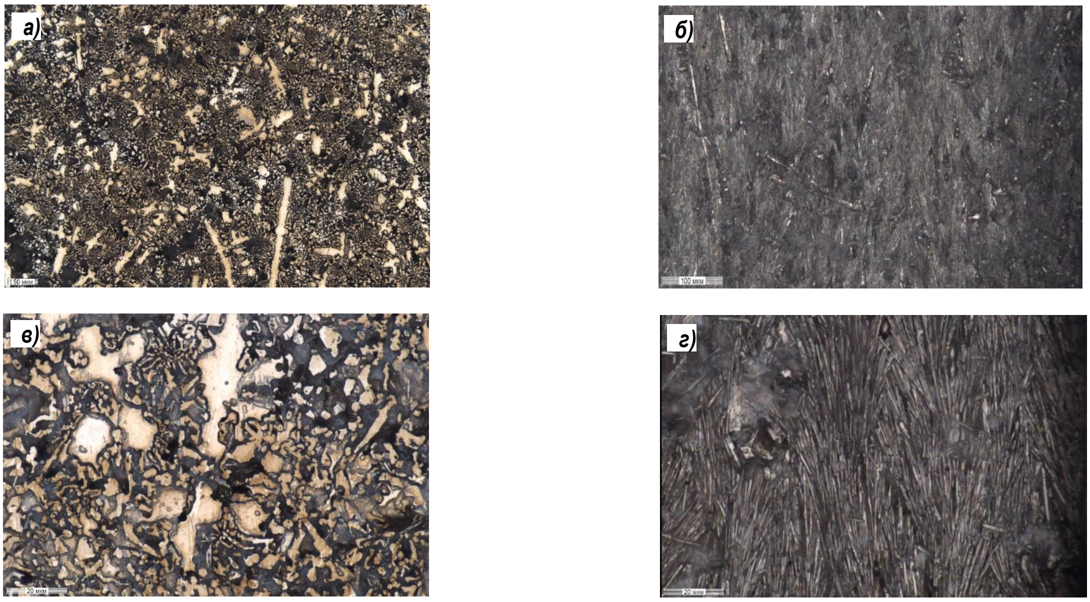


Рис. 4. Структура чугуна 330Х17Л: *а – литье в земляную форму ×200; б – литье в металлическую форму ×200; в – литье в земляную форму ×1000; г – литье в металлическую форму ×1000*

Повышение износостойкости деталей из хромистого чугуна, достигаемое за счёт использования литейных охладителей во время литья, открывает дополнительные возможности за счёт тщательной оптимизации условий литья. Примечательно, что на процесс формования отливок с использованием литейных охладителей существенное влияние оказывают важнейшие параметры литья, в частности температура разливки расплава и продолжительность заполнения формы. Вариации этих параметров оказывают заметное влияние на формирование литейных структур и, как следствие, на износостойкость получаемых деталей. Исследование влияния параметров проводили специально при изготовлении отливок, в частности «питающего диска», при этом каждая отливка весила около 35 *кг*. Систематическое манипулирование этими критическими параметрами литья даёт очевидный потенциал влияния на эволюцию литейных структур. Это, в свою очередь, открывает перспективы повышения износостойкости получаемых деталей из хромистого чугуна. Всесторонний анализ этих параметров имеет решающее значение, предлагая путь к совершенствованию процесса литья и оптимизации износостойких свойств конечных отливок.

Расплав идентичного состава вводили в формы при различных температурах 1450, 1500 и 1550ºС. Постоянное время заполнения формы поддерживалось на уровне 13±1 *секунды*, при этом заливку осуществляли сверху. Эти контролируемые эксперименты с различными температурами заливки имеют решающее значение для выяснения нюансов влияния температурных условий на процесс литья и, следовательно, на получаемую микроструктуру и свойства отливок. Точность поддержания времени заполнения в узком диапазоне обеспечивает надёжность сравнительного анализа воздействия различных температур, предлагая ценную информацию о сложном взаимодействии между термическими параметрами и результатами литья.

Для эффективного проведения оценки износа дробилки КЕВ 96 на месте из деталей были отобраны точные образцы, уделяя особое внимание верхним активным областям этих компонентов для тщательного тестирования. На *рис. 5* подробно представлены сложные детали, относящиеся к дробилке с «питающего диска» модели KEV 96, а также конкретные образцы, использованные в целях испытаний. Выбор этих образцов из критических функциональных областей компонента дробилки имеет решающее значение, поскольку позволяет провести углубленный анализ характеристик износа и характеристик материалов в реальных условиях эксплуатации. Такая тщательная стратегия отбора проб позволяет провести тщательную оценку долговечности материалов, предлагая бесценную информацию об их надёжности и пригодности к эксплуатации в сложных промышленных условиях.

Испытания в лабораторных условиях показали, что легирование хромом резко увеличивает износостойкость. Чугун, дополнительно легированный никелем, имел ту же износостойкость, что и чугун базового состава. При литье чугуна, легированного хромом, угар этого элемента составил 50%, а сплав имел низкую жидкотекучесть.

Для определения износостойкости деталей, отлитых в земляную форму и кокиль были проведены испытания в производственном объединении «Навоийский машиностроительный завод» АО «НГМК».

На основании предельных работ сделаны следующие выводы:

1. Производство деталей из экономно-легированного чугуна 330Х17Л с использованием холодильников, является приоритетной технологией промышленных предприятий Узбекистана. Установлено, что использование такой технологии улучшает способность деталей, используемых в горно-металлургическом комплексе, противостоять износу. Использование более легированных чугунов 280Х29НЛ и 300Х32Н2М2ТЛ по твёрдости менее предпочтительно.

2. Выявлено, что использование холодильников оптимизирует микроструктуру чугуна 330Х17Л, которая в свою очередь повышает его износостойкие свойства. Кроме того, экономичность сплава в сочетании с его улучшенными эксплуатационными характеристиками делает более приемлемым для промышленного производства деталей с повышенным сроком службы. В свою очередь, увеличение долговечности чугуна также обеспечивает повышенную экономическую эффективность его применения.

3. Использование деталей из экономно-легированного чугуна 330Х17Л с применением холодильников представляет собой научно-обоснованное решение, обеспечивающее повышенную износостойкость деталей при абразивном износе. Такое решение отвечает отраслевым требованиям горно-металлургического комплекса Узбекистана к долговечности деталей.

Библиографический список:

1. Гарбер М.Е. Износостойкие белые чугуны: свойства, структура, технология, эксплуатация. – Москва: Машиностроение, 2010. – 280 с.
2. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. – Москва: Металлургия, 1983. – 176 с.
3. Емелюшин А.Н., Мирзаев Д.А., Мирзаева Н.М. Металловедение, физика и механика применительно к процессу обработки графитированных материалов. Структура и износостойкость инструментов. – Москва: Машиностроение, 2002. – 200 с.
4. Барановский К.Э., Ильюшенко В.М., Дувалов П.Ю. Получение отливок из износостойких чугунов в комбинированных формах и кокилях // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Материалы VI МНТК. Минск, ФТИ НАН Беларуси, 14-16 сентября 2011г. – С. 18-22.
5. Жумаев А.А., Барановский К.Э., Мансуров Ю.Н., Ахмедов Х.И. Результаты исследования структуры отливок из белых износостойких чугунов // Черные металлы, № 2 (1082). – Москва: Руда и металлы, 2022. – С. 4-10.
6. Барановский К.Э., Урбанович Н.И., Басалай И.А., Ильюшенко В.М., Дувалов П.Ю. Износостойкость хромистых чугунов // Сб. докл. XIII МНТК «Чтения памяти В.Р. Кубачека». Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности. Екатеринбург, 16-17 апреля 2015 г. – С. 310-314.
7. Жумаев А.А., Мансуров Ю.Н., Маматкулов Дж.Дж., Абдуллаев К.С. Фазовые превращения в сплавах железа с углеродом, легированных редкоземельными и переходными металлами // Черные металлы, № 11 (1067). – Москва: Руда и металлы, 2020. – С. 22-29.
8. Марукович Е.И. Получение отливок из износостойких хромистых чугунов в комбинированных формах // Е.И. Марукович, В.М. Ильюшенко, П.Ю. Дувалов. Перспективные материалы и технологии. Под ред. В.В. Клубовича. – Витебск, 2013. Гл. 1. – С. 9–35.
9. Жумаев А.А., Мансуров Ю.Н., Куликов В.Ю., Ахмедов Х.И. Легирование чугунов марок 280Х29НЛ и 330Х17Л с целью повышения их качества. // Черные металлы, № 2 (1094). – Москва: Руда и металлы, 2023. – С.4-9.
10. Марукович Е.И. Исследование формирования в кокиле отливок из специальных износостойких чугунов для изготовления деталей центробежных дробилок // Е.И. Марукович, В.А. Пумпур, Г.П. Короткин, П.Ю. Дувалов // Сб. тр. Междунар.науч.техн. конф. «Литейное производство и металлургия 2015. Беларусь», 21–22 октября 2015 г. – С. 23-31.
11. Shamelkhanova N.A., Uskenbayeva A.M., Volochko A.T., Korolyov S.P. The Study of the Role of Fullerene Black Additive During the Modification of Ductile Cast Iron // Materials Science Forum. – Switzerland, 2017. – Vol. 891, pp. 235-241.
12. Жумаев А.А., Мансуров Ю.Н., Маматкулов Дж.Дж., Улугов Г.Д. Оптимизация состава и структуры износостойких белых чугунов, используемых в горнодобывающей промышленности // Черные металлы, № 12 (1068). – Москва: Руда и металлы, 2020. – С. 4-10.
13. Кудря А.В., Соколовская Э.А., Ахмедова Т.Ш., Пережогин В.Ю. Информативность морфологии структур твердых сплавов для прогноза качества наплавок // Цветные металлы. № 12 (858). – Москва: Руда и металлы, 2017. – С. 78-83.

UO‘K 629.341; 544.6.076.32
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.017

QAYTA ISHLANGAN VANADIY BESH (V_2O_5) OKSIDINI VANADIY OQUVCHAN AKKUMULYATOR ELEKTROLITLARI UCHUN FOYDALANISH IMKONIYATI




Iskandarov Sh.Ch.,
U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti tayanch doktaranti

Berdiev U.F.,
U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti kichik ilmiy xodimi

Xoliqov M.M.,
NDPI «Informatika» kafedrasi tayanch doktaranti

Ashurov X.B.
U.A. Arifov nomidagi Ion-plazma va lazer texnologiyalari instituti direktori, t.f.d., professor

So‘ngi yillarda katta hajmda energiya saqlash texnologiyalariga, vanadiy oqim akumulyatorlariga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda. Oxirgi bir necha o‘n yilikda vanadiy elektrolitlarini tadqiq qilish sezilarli darajada ortgan bo‘lsada, elektrolitlarning energiya zichligi, vanadiyni eruvchanligi va barqarorligini yanada takomillashtirish kerak. Vanadiy oqim akkumulatorlarining eng muhum tarkibiy qisimlaridan biri bu elektrolitlardir. Vanadiy elektrolitlar hujayra xususiyatlarining ishlashiga va ishlab chiqarishda iqtisodiy samaradorlikga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli vanadiy elektrolitilarini tayyorlashda tozaligi yuqori vanadiy (V_2O_5) besh oksidi juda muhum xom ashyo hisoblanadi. Energiya zichligi va ish xarorati oralig‘ini oshirish uchun ko‘plab usullar taklif etilgan. Xususan, elektrolitlar tarkibidagi qo‘shimchalar, vanadiy oqim akkumulatorlarining energiya zichligi, ish harorati oralig‘iga (5-40 ^{0}C) va shu turdagi energiya saqlovchi texnologiyalarda keng qo‘lanilishiga sezilarli darajada salbiy ta’sir qiladi. Ushbu maqolada sulfat kislota ishlab chiqarishda katalizator sifatida ishlatilgan, qayta ishlangan vanadiy besh oksid (V_2O_5) ni, vanadiy oqimi akkumulatorlari uchun elektrolit sifatida foydalanish imkoniyatlari o‘rganildi.

***Tayanch iboralar**: Vanadiy oksidi, vanadiy oqim akkumulyatorlari, elektrolitlar, qayta tiklanuvchi energiya manbalari.*

В последние годы возрастает интерес к крупномасштабным технологиям хранения энергии и ванадиевым проточным аккумуляторам. Хотя исследования ванадиевых электролитов значительно расширились за последние несколько десятилетий, необходимы дальнейшие улучшения плотности энергии, растворимости ванадия и стабильности электролитов. Одним из наиболее важных компонентов проточных ванадиевых аккумуляторов является электролит. Ванадиевые электролиты оказывают значительное влияние на производительность элемента и эффективность производства. Таким образом, высокочистый пентаоксид ванадия (V_2O_5) является очень важным сырьем для получения ванадиевых электролитов. Было предложено много методов для увеличения плотности энергии и диапазона рабочих температур. В частности, добавки к электролиту оказывают существенное негативное влияние на энергоемкость проточных ванадиевых аккумуляторов, диапазон рабочих температур (5-40 ^{0}C) и их широкое применение в технологиях накопления энергии данного типа. В данной статье исследованы возможности использования вторичной пятиокиси ванадия (V_2O_5), которая применялась в качестве катализатора в производстве серной кислоты, в качестве электролита для ванадиевых аккумуляторных батарей.

***Ключевые слова:** оксид ванадия, ванадиевые проточные аккумуляторы, электролиты, возобновляемые источники энергии.*

So‘ngi vaqtlarda ijtimoiy hayotning va jaxon iqtisodiyotining jadallik bilan o‘sishi tabiiyki elektr energiyaga bo‘lgan talabni sezilarli darajada oshirdi [1]. Butun dunyo bo‘ylab ishlab chiqariladigan elektr energiyaganing to‘rtdan uch qismini 80% qayta tiklanmaydigan qazib olinadigan yoqilg‘idan, ya’ni 28,9% ko‘mirdan, 21,4% tabiiy gazdan va 31,1% neftdan olinadi [2].

Energiya manbalarining qayta tiklanmaydigan (yoki qazilma boyliklari) turini cheklanganligi va ekalogik salbiy ta’siri hammaga ma’lum [3-4]. Qayta tiklanuvchi energiya resurslari (gidroelektr, shamol, quyosh, geotermal, issiqlik va to‘lqin energiya) toza energiya manbalari hisoblanadi [5-6].

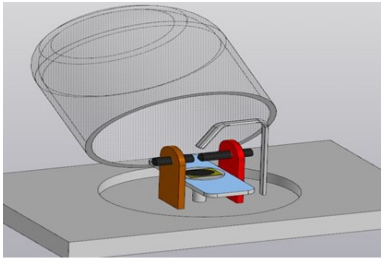
Ammo, qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan olinadiga elektr energiya doimiy emasligi (tabiat xodisalariga bog‘liqligi) katta xajmli energiya saqlash tizimlari va texnologiyalariga bo‘lgan ehtiyojni ortishiga olib kelmoqda [7].

Energiya saqlash texnologiyalari asosan ikki turga: mexanik va kimyoviy usullarga bo‘linadi. Mexanik usullar katta geografik sharoitlarni talab qiladi [8-9]. Kimyoviy saqlash usullarining ko‘p turlari mavjud bo‘lganligiga qaramasdan katta xajmli energiya saqlashlar uchun to‘liq vanadiy oksidlanish-qaytarilish oqim batareyalari (ing. VRFB) juda qulay.

Mazkur akkumulatorlarning zaryad va razryad tezligi yaxshiligi, ekologik xavfsizligi, qulay moslashuvchanligi va uzoq muddat foydalanish imkoniyati sababli istiqbolli texnologiya hisoblanadi [10-11]. Ammo, VRFB elektrolitlarining energiya zichligini oshirish ustida ko‘plab ishlar qilinishiga qaramasdan, elektrolitlarning energiya zichligi hali xam past darajada saqlanib qolmoqda, bu VRFB ni qo‘llashda sezilarli darajada cheklaydi [12-13].

Mazkur muammoning yechimi sifatida foydalaniladigan vanadiy oksidi (V_2O_5) ning tozalik darajasiga va uning tarkibidagi qo‘shimcha elementalarga bog‘liq [14].

Shu sababli, amalda VRFB akkumulatorlarida o‘ta toza, 99,99% li vanadiy oksididan tayyorlangan standart elektrolitlar ishlatiladi [15]. Buning natijasida tannarx bilan bog‘lik muammo yuzaga keladi (ya’ni



1-rasm. VUP-4 qurulmada uglerod qatlam o'stirish

elektrolitlar VRFB akkumulator tannarxining 30-40% ni tashkil kiladi [16]. Ushbu muamolarni hisobga olgan holda, qayta ishlangan vanadiy besh oksiddan elektrolit sifatida foydalanish mumkin.

Sulfat kislota ishlab chiqarishda vanadiy besh oksidi (V_2O_5), SO_2 oksidni SO_3 oksidiga aylantirish reaksiyasida katalizator sifatida keng qo'laniladi. Sulfat kislota dunyodagi eng muhim kimyoviy va eng ko'p ishlab chiqariluvchi mahsulotlardan biridir. Jahonda sulfat kislota ishlab chikarish hajmi 2020 yil 284,4 *mln metrik tonnani* tashkil etgan bo'lsa, 2026 yilga kelib 311 *mln metrik tonnaga* yetishi mumkin.

O'zbekistonda hozirgi vaqtda yiliga 3 *mln t* sulfat kislota ishlab chiqarilmoqda. Navoiy tog'kon-metallurgiya kombinatida (450 000 *t*), AJ «Ammofos-Maksam» (500 000 *t*), AJ «Maksam-Chirchiq» (273 000 *t*), Olmaliq kon-metallurgiya kombinati (478 000 *t*) va boshqa bir qator korxonalarda sulfat kislota ishlab chiqarmoqda. Ushbu mahsulotlarni ishlab chiqarish uchun 180 *t* katalizatorga ehtiyoj bor.

Birgina Navoiy viloyati Uchquduq tumanidagi sulfat kislota zavodiga 60 *t* katalizator ishlatiladi [20]. Sulfat kislota ishlab chiqarishda foydalanib bo'lingan katalizator chiqindilari ekologik muamolarga sabab bo'lmoqda [17].

Ushbu maqolada sulfat kislota ishlab chiqarishda katalizator sifatida ishlatilgan vanadiy besh oksid (V_2O_5)ni, vanadiy oquvchi akkumulatorlari uchun elektrolit sifatida foydalanish imkoniyatlari o'rganildi. Skanerlovchi elektron mikroskop (JSM-IT200), JXA-8800R Superprobe elektron zond mikroanalizator yordamida element tarkibianiqlandi. Rentgen fazoviy analiz natijalari EMPYREAN PANanalytical (Malvern, Worcestershire, United Kingdom) difraktometr yordamida va InVia Raman spektrometri yordamida V_2O_5 kukunining molekular bog'lanishilari muhokama qilingan.

Uslub va qurilmalar:

1. Dastlab vanadiy besh oksid (V_2O_5) kukuni tarkibini aniqlash uchun JSM-IT200 markali Scanning Electron Microscopy (SEM)dan foydalanildi. Buning uchun biz (V_2O_5) kukunni sochilib ketishning oldini olish maqsadida, taglikka ikki tomonlama yelimlanuvchi uglerodli skotchdan foydalandik. (V_2O_5) kukun namunasini skotch ustiga sepib, skotchga yopishgan (V_2O_5) kukunini skanerlovchi elektron mikroskop yordamida kerakli rejimda skanerlaylab, namuna tasvirini va tarkibidagi elementlarni aniqlaymiz.

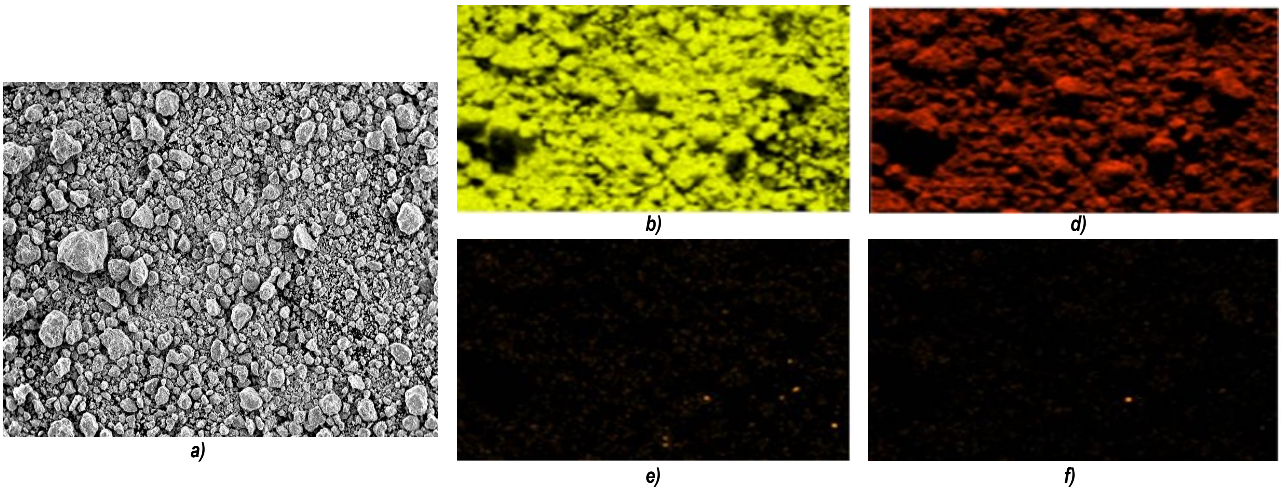
2. Xuddi shu (V_2O_5) kukunning tarkibidagi qo'shimcha elementlarni aniqlash uchun ikkinchi usul JXA-8800R Superprobe elektron zond mikroanalizator (Jeol, Yaponiya) yordamida ham amalga oshirildi. Ushbu qurulmada kislorod atomlari ekranga nur qaytarish hisobiga ekranda tasfirni ko'rish imkoniyatini cheklagani bois, biz o'lchanadigan namuna ustiga vakuum universal post – 4 (VUP-4) qurulma yordamida uglerod yupqa qatlam o'stirib olamiz. Buninng uchuni biz taglik sifatida qalinligi 1 *mm*, diametri 25 *mm* doira ko'rinishidagi latun taglikdan foydalandik. *1-rasmda* VUP-4 qurilmasi elektrod tizimi keltirilgan.

1-rasmda VUP – 4 10^{-4} *Pa* vakuum sharoitida uglerodli yupqa qatlam olish maqsadida, diametri 6 mm bo'lgan uglerod elektrodlardan foydalanildi. Bunda elektrodlar tizimi orasida vakuum yoy razryadini [18] yuzaga keltirish uchun qo'zg'atuvchi (podjik) tizimi asosida yoy razryadi yuzaga keltirildi. Razryad davomiyligi t = 10 *sek*. qilib belgilab olinib, 3-4 *nm* qalinlikdagi uglerodli qatlam o'stirildi. Shundan keyin tayyor namunani JXA-8800R Superprobe elektron zond mikroanalizator yordamida element tahlil qilindi.

3. RFA natijalari EMPYREAN PANanalytical (Malvern, Worcester-shire, United Kingdom) difraktometrida, CuKα (λ = 1,54 Å) nurlanishda olindi. Bu tajribada tezlashtiruvchi generator kuchlanishi 45 *kV*, tok emis-siyasi esa 40 *mA* ko'rsatkichlarda o'rnatildi. Rentgennogramma Bragg-Brentano nurlari dastasi geometriyasida 2θ = 7° dan 90° gacha bo'lgan oraliqda doimiy ravishda 0,36 *grad/min* tezligida skanerlandi.

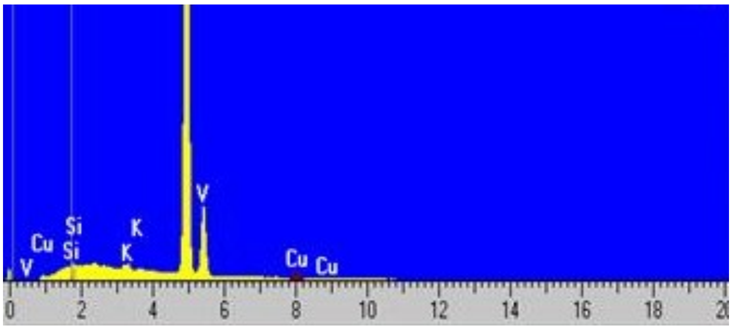
4. Namunalarning Raman spektrlari InVia Raman spektrometrida («Renishaw», Velikobritaniya), xona xaroratida olindi. Qo'zgalish manbasi sifatida: Cobolt CW 532 *nm* DPSS lazerining, 532 *nm li* to'lqin uzunligida va nominal energiyasi 100 *mVt·µ*, 1800 *liniy/mm* davriylikda difraksion panjarada, qayd etuvchi moslama sifatida esa Renishaw CCD Camera shtatli detektordan foydalanildi. *Natija va muhokama:* Vanadiy oksid tarkibidaga qo'shimcha elementlar mavjudligini tekshirish uchun biz ikki xil usuldan foydalandik.

Birinchi usul JSM-IT200 markali Scanning Electron Microscopy (SEM) yordamida tekshirildi. *2a-rasmda* 500 *µm* o'lchamdagi (V_2O_5) kukunning umumiy ko'rinishi tasvirlangan. Ushbu tasvirdagi *2b-rasmda* vanadiy elementi butun sir bo'yicha taqsimlangan va *2d-rasmda* kislorod elementi butun yuza bo'yicha taqsimlangan. Bundan ko'rinadiki namu-namizning asosiy miqdorini butun xajm bo'ylab kislorod va vanadiy tar-qalgani ko'rinib turibdi.



a) b) d) e) f)

2-rasm. (V_2O_5) kukuni skanerlovchi elektron mikroskop tasviri: *a – vanadiy oksidini 500 µm o'lchamdagi umumiy tasviri; b – vanadiy; d – kislorod; e – kremniy; f – alyuminiy elementlarining ko'rinishi*



3-rasm. JXA-8800R Superprobe elektron zond mikroanalizator yordamida olingan tasvir va elementlar grafigi

1-jadval

Rux kekini yuqori haroratda tanlab eritish bo'yicha tajribalar natijalari

Scanning electron microscopy (SEM)	V	O	Si	Al	K	Umumiy, %
	33,39	66,22	0,12	0,21	0,05	99,61
JXA – 8800R «Superprobe» (Jeol)	V	O	Si	Cu	K	Umumiy, %
	38,65	59,72	0,25	0,98	0,28	98,37

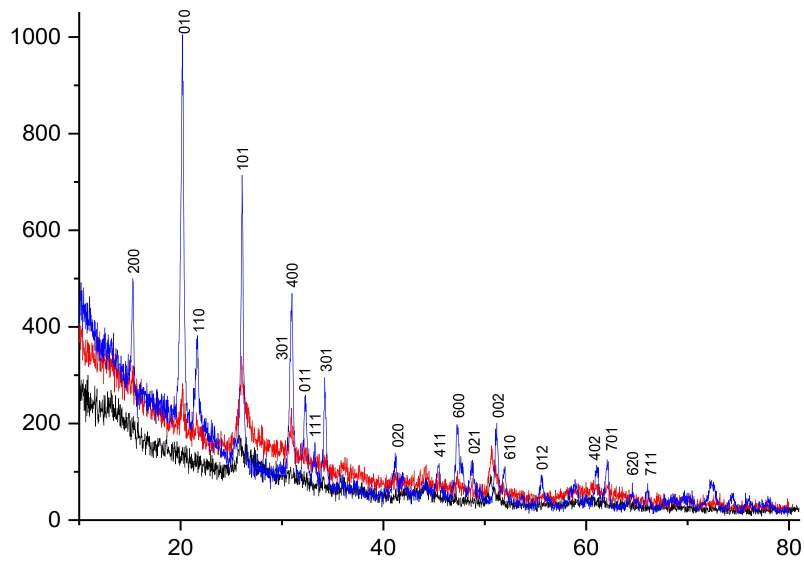
2e-rasmdagi namuna yuzasining ma'lum joylarida kichkina nuqtachalar shaklida kremniy elementini namoyon bo'lgan, xuddi shunday tasvirni, *2f-rasmda* alyuminiy elementini kuzatishimiz mumkin. Ushbu rasmlarni xammasi 100 *µm* o'lchamdagi tasviri.Ushbu (V_2O_5) kukuni tarkibini aniqlash uchun ikkinchi usul JXA-8800R Superprobe elektron zond mikroanalizator (Jeol, Yaponiya). Yordamida amalga oshirildi.

3-rasimda tasvirda vanadiy oksidi kukuninng 200 *µm* o'lchamdagi tasviri keltrilgan, na'munaning qora rangda bo'lishining sababi, qurulma (JXA-8800R) na'muna yuzasida kislarod elementi evaziga ekranda tasvirni ko'rish imkoniyati yo'qoladi. Qurilmadan tushayotgan nurni to'liq yutilishi uchun yuqorida aytib o'tilgan vakuum-yoy usuli yordamida na'muna yuzasiga 3-4 *nm* qalinlikda uglerodli qatlam o'stirildi. b) namunamizning tarkibidagi elementlarning pikilari keltirilgan. Ushbu grafigimizdan ko'rinib turibdiki namunamiz tarkibida, vanadiy elementining piki intinsivligi yuqori buning sababi namunaning tarkibiy qismini asosan vanadiy elementidan iboratligidadir. Ushbu rasmda ko'rinib turibdiki, fonoviy rejimda Mis (Cu), Kremniy (Si), Kaliy (K) elementlarini ham kuzatishimiz mumkin. Mis (Cu) elementni bo'lishiga sabab biz taglik sifatida latundan foydalandik, ushbu taglik hisobiga 0,98% Mis (Cu) piki nomoyon bo'lgan. Yuqorida ikki xil usul yordamida aniqlangan qayta ishlangan V_2O_5 tarkibiy taxlili quyidagi *1-jadvalda* keltirilgan. Skanerlovchi elektron mikroskop yordamida aniq-langan (V_2O_5) kukuni tarkibida namoyon bo'lgan Alyuminiy (Al) elementi kuzatilishiga sabab etalon taglik fondan ayirib tashlanmagani hisobiga ekanligi aniqlandi. Ushbu jadvaldan ko'rinib turibdiki qolgan elementlar keltirilgan ikki usulda ham kukuni tarkibidagi elementlar bir birini takrorlaydi. Qayta ishlanga (V_2O_5) kukunining tozalik darajasi yuqori (SEM) 99,61% (JXA-8800R Jeol) 98,37% kukuni mavjudligi va konsentratsiyasi bir birini takrolashini aniqlandi.

Elektrolitlar tarkibidagi aralashmalarining VRFB ishlashiga ta'siri bo'yicha juda kam maqolalar nashir etilgan bo'lsada, ma'lumki, bazi aralashmalar zararli ta'sirga ega bo'lishi mumkin. Masalan Cu va Ni kabi ba'zi metallar zaryadlash vaqtida manfiy elektrodga to'planib, vodorod evalyutsiyasiga olib keladi. Shu sababli elektrolit tarkibidagi aralashmalarni sezilarli darajada kamaytirish maqsadga muvofiq

Shunday qilib natijalar shuni ko'rsatadiki, qayta ishlangan (V_2O_5) kukuni tarkibi elektrolit sifatida ishlatishda salbiy ta'sir qiluvchi elementlar Cu va Ni kuzatilmadi. Xulosa qilib aytganda qayta ishlanga (V_2O_5) kukunimizning tozalik darajasi yuqori va tarkibidagi elementlar elektrolit sifatida ishlatilishiga sezilarli ta'sir qilmaydi.

Qayta ishlanga (V_2O_5) kukunining fazoviy analizini XRD rentgen difraktometr yordamida aniqlandi. *4-rasmda* (V_2O_5) kukunining termik ishlov berilmagan dastlabki namuna grafigi hamda T = 393 K va T = 573K temperaturada termik ishlov berilgandagi difraktogrammasi solishtirigan.



***4-rasm. Maxaliy V_2O_5 oksid kukuni difroktagrammasi:** — dastlabki na'muna; — T = 393 K. t = 5 soat, — T = 573 K. t = 5 soat*

Rasmdan ko'rinadiki, qora chiziq bilan ko'rsatilgan cho'qqilar dastlabki ishlov berilmagan (V_2O_5) kukunining difraktogrammasi, bunda bir nechta yondosh elementlarining kukun tarkibida mavjudligi evaziga qo'shimcha fon hosil bo'lgan (asosan suv molekulalari hiso-biga). Bu dastlabki namuna difraktogrammasidagi 2θ = 26,41; 2θ = 44,13; 2θ = 50,58; burchaklarida chiqqan cho'q-qilar intensivligi sezilarli darajada yuqori emas. Buning sababi kukunning namligi va shu bilan bir qatorda amorf xusu-siyatga ega ekanligida xisobiga yondosh fonli cho'qqilar xosil bo'lishi kuzatildi.

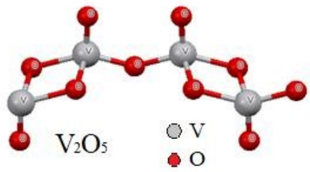
Dastlabki (V_2O_5) namunadagi namliklikni yo'qotish maqsadida kukunga termik ishlov berildi. Ushbu namunamizga SNOL – markali qizdiruvchi pechka yordamida T = 393 K temperaturadi t = 5 *soat* davomida termik ishlov berildi. Termik ishlov berilgan kukunni difraktogrammasi rasmdagi qizil chiziq bilan ko'rsatilgan. Namunaga termik ishlov berilgandan so'ng (V_2O_5) kukunida bir kancha intensivligi yuqori bo'lgan cho'qqilar xosil bo'lishini kuzatildi. Bunga sabab yuqorida aytib o'tganimizdek kukun tarkibidagi namlikni kamayishi va yengil elimentlarning kukun tarkibidan uchib ketishi oqibatida yuzaga keladi. Bunda cho‘qqilar 2θ = 14,96; 2θ = 20,19; 2θ = 26,02; 2θ = 30,93; 2θ = 44,21; 2θ = 47,31; 2θ = 50,65; burchaklarda nomoyon bo‘ladi. Cho‘qqilar intensivligi amorflikning kamayishi xisobiga oshishi kuzatiladi.

SNOL – markali qizdiruvchi pechka yordamida yanada yuqoriroq T = 573 K temperatura bilan t = 5 *soat* davomida termik ishlov berildi. Buning natijasida T = 573 K temperaturada termik ishlov berilgan namunamizda esa mutlaqo kristallikka ega bo‘lgan, kristallik fazoviy guruxi Pmmn bo‘lgan ortorombik xususiyatli kristall panjaraga ega (V_2O_5) kukuniga olindi, bir nechta yangi cho‘qqilar yuzaga kelishi va kukun tarkibida namlik yo‘kolishini kuzatildi. Bu namunamizda 2θ = 15,32; 2θ = 20,19; 2θ = 21,66; 2θ = 26,07; 2θ = 30,98; 2θ = 32,37; 2θ = 33,26; 2θ = 34,21; 2θ = 41,17; 2θ = 54,51; 2θ = 47,26; 2θ = 48,65; 2θ = 51,17; 2θ = 51,99; 2θ = 55,56; 2θ = 58,89; 2θ = 61,02; 2θ = 62,07; 2θ = 64,54; 2θ = 66,06; burchaklarda (V_2O_5) kukuni cho‘qqilari kuzatildi. 573 K temperaturada ishlov berilgan kukunning krisstall panjara tugunlarida joylashuvi *5-rasmda* Kristall panjara markazida vanadiy va atrofida kislorodni tutib turgan kristallashuv ko‘rsatilgan, kiristallashish ortorombik ideal xususiyatni nomoyon qilishi kuzatildi.

Ushbu natijalar asosida shuni ta’kidlash mumkinki dastlabgi ishlov berilmagan namunaga nisbatan, 393 K, 593K temperaturalarda termik ishlov berilgan namunalarning cho‘qqilar sonining geometrik progressiya asosida ko‘payib borishi aniqlandi. Natijalar shuni ko‘rsatadiki 593 K temperaturada termik ishlov berilgan namuna intensivligi, dastlabki ishlov berilmagan na’muna intisivligidan 5 baravarga va 393 K temperaturada termik ishlov berilgan namunadan esa 2,8 baravarga oshishi kuzatildi.

Raman spektrlari xona xaroratida InVia Raman spektrometri yordamida (V_2O_5) kukunining molekular bog‘lanishi o‘rganildi.

Raman spektroskopik o‘lchovlar ichki va tashqi rejimlarga mos keladigan yuqori va past to‘lqin soni soxalarda joylashgan ($3A_g+2B_{1g}+B_{2g}+B_{3g}$) ruxsat etilgan rejimlarning shakli va chastotasi yordamida muhokama qilindi. Ichki rejimlar 500-1000 *sm*$^{-1}$ to‘lqin uzunligi oralig‘ida V-O elastik (cho‘zilish) tebranishlaridan iborat va tashqi rejimlar 100-500 *sm*$^{-1}$ to‘lqin uzunliklari oralig‘idagi V-O-V egilish tebranishlarini o‘z ichiga oladi. V_2O_5 kristall kukuni ($3A_g+2B_{1g}+B_{2g}+B_{3g}$) Raman aktiv rejimlarni namoyish etdi va bu mos ravishda 6-rasm piklar 145, 195, 284, 303, 406, 481, 527, 700 va 995 *sm*$^{-1}$ diapazonlardagi to‘lqin uzunligida aniqlandi. Ushbu piklar ning mikrokristal kukunlari uchun olingan natijalarning intinsivligi va to‘lqin soni bo‘yicha mosligi aniqlandi [19]. 6-rasmda V_2O_5 kristall kukunining Raman spektri keltirilgan. 995 sm^{-1} diapazondagi pik V = O bog‘ning elastikligini xarakterlaydi. 700 *sm*$^{-1}$ dagi ikkinchi pik burchak kislorodidan kelib chiqadigan ikki karrali koordinatlangan kislorod *(V_2-O_B)* elastik rejimiga to‘g‘ri keladi. 527 *sm*$^{-1}$ dagi uchunchi pik uch karrali koordinatlangan (V_3-O_C) bilan bog‘liq. 406 *sm*$^{-1}$ dagi pik mos ravishda uch koordinatali kislorod (V_3-O_C) va V-O_B-V bog‘lanishlarining egilish tebranishlarini bildiradi. 284 *sm*$^{-1}$ dagi pik O_C-V -O_B bog‘inig egilish tebranishi bilan bog‘liq. 145 *sm*$^{-1}$ va 193 *sm*$^{-1}$ da yana ikkita Raman piklari ko‘rsatilgan, ular panjara tebranishlariga mos keladi.



5-rasm. V_2O_5 oksidining molekular tuzilishi

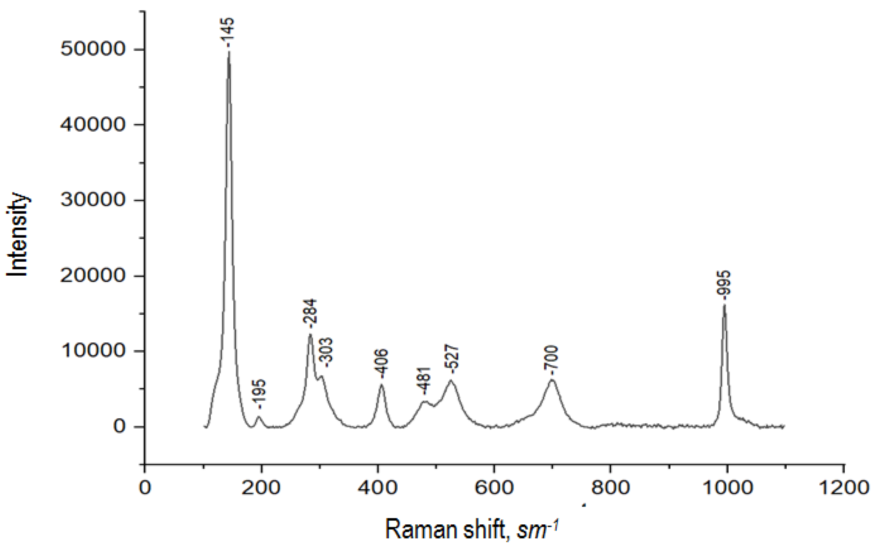
Natijalar shuni ko‘rsatadiki, qayta ishlanga vannadiy oksid kukuni, 406 *sm*$^{-1}$(V_3-O_C) va V-O_B- V ko‘rinishida kislarod bilan egilish tebranishini yuzaga keltiradi. 995 *sm*$^{-1}$ to‘lqin uzunligida elastiklik (cho‘zilish) xususiyatini yuzaga keltiradi va vannadiy qirralarida kislorod bilan birikadi.

Xulosa: Navoiy tog‘kon metalurgiya kombinatida (NTKMK) sulfat kislota ishlab chiqarishda katalizator sifatida ishlatilgan vanadiy besh oksid (V_2O_5)ni, vanadiy oquvchi akkumulatorlarida elektrolit sifatida foydalanishda uchun qayta ishlangan (V_2O_5) ni tarkibini Skanerlovchi elektron mikroskop va JXA-8800R Superprobe elektron zond mikroanalizator yordamida element tarkibi o‘rganildi. Qayta ishlanga V_2O_5 kukunining fazoviy analizini XRD rentgen difraktometr yordamida aniqlandi.

InVia Raman spektrometri yordamida V_2O_5 kukunining molekular bog‘lanishi o‘rganildi. Shunday qilib, olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, qayta ishlangan V_2O_5 kukuni tarkibi elektrolit sifatida ishlatishda salbiy ta’sir qiluvchi elementlar yaniy Cu va Na kuzatilmadi.

Xulosa qilib aytganda qayta ishlanga V_2O_5 kukunimizning tozalik darajasi yuqori va tarkibidagi qo‘shimcha elementlar elektrolit sifatida ishlatilishiga sezilarli ta’sir qilmaydi.

Ushbu natijalar asosida shuni ta’kidlash mumkinki dastlabgi ishlov berilmagan namunaga nisbatan, 393 *K*, 593 *K* temperaturalarda termik ishlov berilgan namunalarning cho‘qqilar sonining geometrik progressiya asosida ko‘payib borishi aniqlandi.



6-rasm. V_2O_5 kukunining Raman spektrlari

Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki 593 K temperaturada termik ishlov berilgan namuna intensivligi, dastlabki ishlov berilmagan na’muna intisivligidan 5 baravarga va 393 *K* temperaturada termik ishlov berilgan namunadan esa 2,8 baravarga oshishi kuzatildi.

Natijalar shuni ko‘rsatadiki, qayta ishlanga vannadiy oksid kukuni, 406 sm^{-1}(V_{3}-O_C) va V-O_B-V ko‘rinishida kislarod bilan egilish tebranishini yuzaga keltiradi. 995 sm^{-1} to‘lqin uzunligida elastiklik (cho‘zilish) xususiyatini yuzaga keltiradi va vannadiy qirralarida kislarod bilan birikadi.

Bibligrafik ro`yxat:

1. Ahmad T., Zhang D. A critical review of comparative global historical energy consumption and future demand: The story told so far // Energy Reports, No. 6, 2020, pp. 1973-1991.

2. International Energy Agency // Energy and climate change, world energy outlook special report 2015.

3. Li G., Zakari A., Tawiah V. Energy resource melioration and CO_2 emissions in China and Nigeria: efficiency and trade perspectives // Resour Policy. No. 68, 2020, 101769.

4. Ricardo Guerrero-Lemus, Jose´ Manuel Martınez-Duart // Renewable Energies and CO_2. 2012, pp. 9-31.

5. Xu Q., Lan P., Zhang B., Ren Z., Yan Y., Energy sources, part A: Recovery, utilization, and environmental effects // Energy Sources, vol. 35, Mar. 2013, pp. 848-858.

6. Panwara N.L., Kaushik S.C., Kothari Surendra. Role of renewable energy sources in environmental protection: a review // Renew Sustain Energy Rev 2011, vol. 15, pp. 1513-1524.

7. Hicks J., Ison N. An exploration of the boundaries of community in community renewable energy projects, navigating between motivations and context // Energy Policy, 2018, pp. 523-534.

8. Moran E.F., Lopez M.C., Moore N., Müller N., Hyndman D.W. Sustainable hydropower in the 21st century // Proceedings of the National Academy of Sciences, 2018, pp. 11891-11898.

9. Sabihuddin S., Kiprakis A.E., Mueller M.A. Numerical and graphical review of energy storage technologies // Energies 8 (1) 2015, pp. 172-216.

10. Ashurov Kh.B., Abdurakhmanov B.M., Iskandarov Sh.CH., Turdaliev T.K., Solving the problem of energy storage for solar photovoltaic plants (review) // Applied Solar Energy, Vol. 55. No. 2, 2019, pp. 119-125.

11. Kim K.J., Park M.S., Kim Y.J., Kim J.H., Dou S.X., Skyllas-Kazacos M. A technology review of electrodes and reaction mechanisms in vanadium redox flow batteries // Journal of Materials Chemistry, 2015, pp. 16913-16933.

12. Skyllas-Kazacos M., Cao L., Kausar N., Mousa A. Vanadium Electrolyte Studies for the Vanadium Redox Battery: a review // ChemSusChem, 9 (13), 2016, pp. 1521-1543.

13. Cunha A., Martins J., Rodrigues N., Brito F.P. Vanadium redox flow batteries: a technology review // International Journal of Energy Research, 39 (7), 2014, pp. 889-918.

14. Hu P., Zhang Y., Liu T., Huang J., Yuan Y., Xue N. Source separation of vanadium over iron from roasted vanadium-bearing shale during acid leaching via ferric fluoride surface coating // Journal of Cleaner Production, 2018, pp. 399-407.

15. Dmello R., Milshtein J.D., Brushett F.R., Smith K.C. Cost-driven materials selection criteria for redox flow battery electrolytes // Journal of Power Sources, 2016, pp. 261-272.

16. Li M.J., Zhao W., Chen X., Tao W.Q. Economic analysis of a new class of vanadium redox-flow battery for medium- and large-scale energy storage in commercial applications with renewable energy // Applied Thermal Engineering. No. 114, 2016, pp. 802-814.

17. Вохидов Б.Р., Уткирова Ш.И., Муртозаева М.М. Тенденция развития ванадской сепарации из сырья в Узбекистане // Международная научно-практическая конференция «Инновационные подходы в современной науке». Москва, 2022. – С. 4-7.

18. Arustamov V.N., Ashurov K.B. Structure and parameters of vacuum arc cathode spots. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 78 (6), 2014, pp. 558-562.

19. Benmoussa M., Ibnouelghazi E., Bennouna A., Ameziane E.L. Structural, electrical and optical properties of sputtered vanadium pentoxide thin films // Thin Solid Films. No. 265 (1-2), 1995, pp. 22-28.

UO'K 622.271.326

DOI:10.54073/GV.2024.1.96.018

QOTUVCHI ARALASHMALARNING REOLOGIK XOSSALARINI ANIQLASH



Mislibayev I.T.,
NDKTU Konchilik fakulteti dekani, t.f.d., professor

Alimov Sh.M.,
TDTU Olmaliq filiali, Konchilik ishi kafedrasi katta o'qituvchisi

To'ychiboyev Z.I.,
NDKTU «Noyob va radioaktiv metallar rudalarini qazib olish, qayta ishlash texnikasi va texnologiyasi» kafedrasi assistenti

Ushbu maqolada to'ldiruvchi aralashmalarning reologik xossalari birlashtiruvchi va qayishqoqligini oshiruvchi qo'shimchaning sarfi va mayda zarralarga bo'linganlik darajasiga, suv sarfiga, to'lg'azmalarning yirikligiga va solishtirma og'irligiga bog'liqligi, to'lg'azma aralashmaning harakatchanligi va qatlamlarga ajrashi biriktiruvchi eritmaning yopishqoqligiga bog'liqligi o'rganilgan. Shuningdek, tavsiya etayotgan portland sement, kichik fraksiyadagi qum, marmar ishlab chiqarish chiqindisi va ko'mir kulidan iborat to'ldiruvchi aralashmaning qayishqoqligini aniqlangan.

Tayanch iboralar: *to'ldiruvchi aralashma, reologik xususiyatlar, qatlamlanish, birlashtiruvchi, qayishqoqlik, aralashmaning tarkibiy materiallari, qatlamlarga ajratish, Suttard viskozimetri, aralashmaning harakatchanligi.*

В данной статье рассмотрена зависимость реологических свойств смесей от расхода связующего и вязкость добавки, а также степень фрагментации, расхода воды, размера и удельного веса наполнителей, а также подвижности смеси наполнителей и разделения на слои. Также определена вязкость рекомендуемой смеси наполнителя, состоящей из портландцемента, песка мелкой фракции, отходов мраморного производства и угольной золы.

Ключевые слова: *смесь наполнителей, реологические свойства, расслоение, связующее, вязкость, компоненты смеси, вискозиметр Саттарда, подвижность смеси.*

Aralashmaning reologik xususiyatlari – harakatchanlik yoki qayishqoqlik, yoyilish burchagi va qatlamlarga ajralishidir. Bu xossalar to'lg'azma ishlari texnologiyasida muhim ahamiyatga ega. To'lg'azma aralashmaning qattiqligi tayyorlash joyidan qazib olingan bo'shliqgacha quvur bilan tashishda harakat mobaynida minimal qarshilikni ta'minlash kerak, shuningdek, qazib olingan bo'shliqdagi shipning ostini maksimal to'liq to'ldirishi kerak, bu yangi tayyorlangan aralashmaning yoyilish burchagiga yoki tabbiy qiyaligiga bog'liq.

Aralashmaning qatlamlanishi yoki to'ldiruvchi material bo'laklarining yirikligi bo'yicha farqlanishi sun'iy massivning mustahkamlik xususiyatlarini pasaytiradi, shuning uchun ular minimal bo'lishi kerak [1, 2].

To'ldiruvchi aralashmalarning reologik xossalari birlashtiruvchi va qayishqoqligini oshiruvchi qo'shimchaning sarfi va mayda zarralarga bo'linganlik darajasiga, suv sarfiga, to'lg'azmalarning yirikligiga va solishtirma og'irligiga bog'liq. Qayishqoqlikning mezoni santimetr bilan o'lchanadigan tushush burchagi 30° bo'lgan 300 *g* og'irlikdagi standart konusning yangi tayyorlangan aralashmasiga botish chuqurligi bo'lishi mumkin.

Aralashmaning yoyilib ketish burchagi graduslarda o'lchanadi va bevosita o'lchashlar orqali o'rnatiladi.

Aralashma namunasi gorizontal metall plita ustiga qo'yiladi. Bunday holda, aralashmaning yoyilib ketishi o'z vaznining ta'siri ostida sodir bo'ladi.

Aralashmaning tarkibiy materiallarini qatlamlarga ajratish darajasini eritma yuzasidagi suv quyqumining hajmiga qarab va qotgan aralashma namunasining ko'ndalang kesimidagi to'lg'azma materiallari miqdorining o'zgarishi bo'yicha vaznli usulda baholash mumkin. Differensiyalash mezoni sifatida suvning cho'kish koeffitsientini qabul qilinishi mumkin, u bo'ladi:

$$\lambda = \frac{q_0}{q} \cdot 100\,\%, \tag{1}$$

bu yerda λ – suvning cho'kish koeffitsienti, %;

q_o – eritmaning qotish jarayoni boshlangunga qadar cho'kkan suv miqdori, *l*;

q – sinov aralashmasi namunasini tayyorlash uchun umumiy suv sarfi, *l*.

Namunadagi to'lg'azmaning taqsimlanishi quyidagicha aniqlanadi. Past mustahkamlili (0,5-1,0 kG/sm^2) sementlangan aralashmaning namunasi gorizontal tekislikda ikkita bir xil qismga kesiladi. Keyin namunalar to'lg'azma sement moddasidan ajratilguncha parchalanadi, u suv bilan yuviladi va tarozida tortiladi [3].

Aralashmani qatlamlarga ajralish koeffitsienti quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\psi = \frac{P_2 - E}{E} \cdot 100\,\%, \tag{2}$$

o'z navbatida,

$$E = \frac{P_1 + P_2}{2} = \frac{Q}{2}, \tag{3}$$

bu yerda P_1 – to'ldiruvchi material namunasining yuqori yarmida to'lg'azmaning og'irlik miqdori, *g*;

P_2 – xuddi shunday, to'ldiruvchi material namunasining pastki yarmida, *g*;

Q – to'ldiruvchi material sinov namunasining umumiy og'irligi, *g*.

Qatlamlarga ajralish koeffitsienti uchun yakuniy hisoblash formulasi quyidagicha yozilishi mumkin:

$$\psi = \left(\frac{2P_2}{Q} - 1 \right) \cdot 100\,\%, \qquad (4)$$

Qotuvchi to‘lg‘azma uchun birlashtiruvchi va suvning optimal sarfi aralashmaning kerakli qayishqoqligini ta’minlash sharti bilan belgilanadi, so‘ngra mustahkamlik shartlariga muvofiq tekshiriladi. Agar aralashmaning mustahkamlik xususiyatlari nomaqbul bo‘lsa, unda suv-biriktiruvchi nisbatini doimiy ravishda ushlab turgan holda biriktiruchi sarfini oshirish kerak, ammo bu har doim ham ijobiy effekt ko‘rsatmaydi. To‘ldiruvchi materialning ma’lum darajada to‘yinganligiga erishgandan so‘ng, sement sarfining yanada oshishi materialning mustahkamlik xususiyatlarini oshirmaydi, chunki u to‘ldirgich zarralari orasidagi sement toshining qatlam qalinligining haddan tashqari oshishiga bog‘liq emas. Bunday hollarda biriktiruvchining faolligini oshirish yoki faolroq biriktiruvchini topish kerak [4].

Biriktiruvchi eritmaning minimal talab qilinadigan miqdori biriktiruvchi eritma qatlamini to‘ldirgich zarralarini bir-biridan birlashtiruvchi eritma bilan ajratish uchun inert materialning (masalan, qum) butun g‘ovak hajmini biroz ortig‘i bilan to‘ldirish asosida o‘rnatilishi mumkin. Biriktiruvchi eritmaning sarfi quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$Q_p = iz \cdot \frac{V_\Pi}{100}, \qquad (5)$$

bu yerda Q_p – biriktiruvchi eritmaning miqdori, m^3;

V_n – biriktiruvchi eritma bilan to‘ldiruvchi materialning to‘yinganlik koeffitsienti;

z – to‘ldiruvchining g’ovaklig‘i, %;

i – 1 m^3 to‘lg‘azma aralashmasi uchun to‘ldiruvchining sarfi, m^3.

Laboratoriya tadqiqotlari natijalariga ko‘ra, quvurlarda o‘z oqimi bilan tashishiladigan to‘lg‘azma aralashmasining to‘yinganlik koeffitsientini 1,9-2,1 sifatida qabul qilish tavsiya etiladi.

To‘lg‘azma aralashmaning harakatchanligi va qatlamlarga ajrashi biriktiruvchi eritmaning yopishqoqligiga bog‘liq bo‘lib, u shunday bo‘lish kerakki, to‘ldirgich zarralari muallaq xolatda bo‘lish kerak.

To‘ldiruvchi sifatida kichik zarra(dona)lar hajmi va past solishtirma og‘irlikdagi materialdan foydalanish tavsiya etiladi. Biroq, to‘ldiruvchi zarrachalarning kattaligi kamayishi bilan ularning solishtirma yuzasi oshadi, buning natijasida ularni ma’lum bir qalinlikdagi qatlam bilan qoplash uchun biriktiruvchi eritmaning sarflanishi ortadi.

Suv-sement eritmalarining yopisqoqligi suv va sement sarfiga, ya’ni suv-sement nisbati og‘irligiga bog‘liq, u quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$k = \frac{W}{q_B}, \qquad (6)$$

bu yerda W – suv sarfi, *kg*

$q_в$ – biriktiruvchi modda sarfi, *kg*.

Suv-sement eritmaning yopishqoqligi optimal bo‘ladi, agarda uning asosida tayyorlangan to‘lg‘azam aralashmasi minimal zarur harakatchanlikka (plastiklik) ega bo‘lsa.

Aralashmaning optimal qayishqoqligi, dinamik yopishqoqlik funktsiyasi va to‘lg‘azma quvur bo‘ylab harakatlanayotganda paydo bo‘ladigan urinma kuchlanishlarining kattaligi sifatida aniqlanishi mumkin, ya’ni.

$$\Pi_{см} = f(\eta, \tau), \qquad (7)$$

bu yerda η – aralashmaning dinamik yopishqoqligi;

τ – urinma kuchlanish.

Aralashmaning qayishqoqligi biriktiruvchi eritmaning sarfi ko‘payishi bilan ortadi. Biroq, tejash uchun suv-sement eritma istemoli to‘yinganlik koeffitsienti bilan cheklangan [5].

Suv sarfining yanada ortishi *П′* konusning botish chuqurligini oshiradi va aralashmaning yuzasida hosil bo‘lgan suv materiallarining sezilarli qatlamlarga ajralishini ko‘rsatadi. Agar suv quyqasi(loyqasi)ni olib tashlasak, konusning aralashmaga botish chuqurligi *П* keskin kamayadi va suv istemoli me’yordan kam bo‘lsa, aralashma haddan tashqari yopishqoq bo‘ladi va uni quvir orqali etqazib bo‘lmaydi.

Optimal konstitentli aralashmaning oqib ketish burchagi suv-biriktiruvchi nisbati 0,7-1 oralig‘ida o‘zgarganda 4 dan 17,5° gacha bo‘ladi. Suv sarfining kamayishi oqib ketish burchagining oshishiga olib keladi, ortiqchasi esa qatlamlarga ajralishga olib keladi, bu shuningdek oqib ketish burchagini oshiradi, uni suvdagi qumning tabiiy joylashish burchagiga yaqinlashtiradi.

Biz tavsiya etayotgan portland sement, kichik fraksiyadagi qum, marmar ishlab chiqarish chiqindisi va ko‘mir kulidan iborat to‘ldiruvchi aralashmaning qayishqoqligini aniqlaymiz.

Barcha laboratoriya tadqiqotlarida aralashtirish vaqti 10 *daqiqa* deb qabul qilingan. Aralashtirib bo‘lingandan keyin darhol Suttard viskozimetri bilan aralashmaning harakatchanligi aniqlanadi (*1-rasm*).

Tadqiq qilinayotgan aralashma tarkibi, materiallarning solishtirma sarfi va uning harakatchanligi *1* va *2-jadvallarda* keltirilgan.

Laboratoriya tadqiqotlari natijalari shuni ko‘rsatadiki, qotuvchi aralashmada biriktiruvchi ya’ni sement miqdorini oshirib borish uning harakatchanligini oshiradi, ammo bunda qotuvchi aralashmaning tan narxi juda yuqori bo‘ladi.

Qotuvchi aralashmaga maydalangan marmar chiqindilarini qo‘shish uning reologik xususiyatlarini yaxshilash bilan bir paytda aralashmaning harakatchanligini oshiradi, hamda aralashmaning tashuvchi quvurlarni yemirish (abrazivlik) xsusiyatini sezilarli darajada kamaytiradi. Shuningdek, qimmat turadigan biriktiruvchi, ya’ni sement miqdorini

a) **b)**

1-rasm. To‘ldiruvchi materialning harakatchanligini aniqlash: *a – Suttard viskozimetri; b – tajriba jarayoni*

1-jadval

Puch tog’ jinslari tosh qumi va ko‘mir kulidan foydalangan holda to'ldirish aralashmalarining harakatchanligi

Tarkib raqamlari	1 m^3 aralashmadagi materiallar miqdori, *kg*				Aralashmaning harakatchanligi, *sm*
	Portland sement markasi 400	5 *mm* dan kichik fraksiyadagi qum	Ro‘mir kuli	Suv, *l*	
1	100	1200	200	280	7-7,5
2	150	1200 1400 1400	200	280	7,5-8
3	200	1200	200	280	8-9
4	250	1200	200	280	9-10
5	300	1200	200	280	10-11

2-jadval

Puch tog' jinslari tosh qumi, ko‘mir kuli va marmar ishlab chiqarish chiqindisidan foydalangan holda to'ldirish aralashmalarining harakatchanligi

Tarkib raqamlari	1 m³ aralashmadagi materiallar miqdori, kg					Aralashmaning harakatchanligi, *sm*
	Portland sement markasi 400	5 mm dan kichik fraksiyadagi qum	Ro‘mir kuli	Marmar ishlab chiqarish chiqindisi	Suv, *l*	
1	200	1000	200	100	280	11-12
2	200	1000	200	150	280	11-13
3	200	1000	200	200	280	12-14
4	200	1000	200	250	280	14-15
5	200	1000	200	300	280	14-16

kamaytirish hisobiga aralashma tan narxining sezilarli darajada kamayishiga olib keladi. Tadqiqotlar ko‘satishicha qotuvchi aralashma qazib olingan bo‘shliqda bir tekisda tarqalishi uchun uning harakatchanligi 12-15 sm bo‘lishi kerak.

Olib borilgan laboratoriya tadqiqotlarining ko‘rsatishicha qotuvchi aralashma tarkibiga 13-15% maydalangan marmar chiqidisi qo‘shilganda uning reologik xsusiyatlari va harakatchanligi optimal darajada bo‘ladi.

Bibligrafik ro`yxat:

1. *Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. – М.: Недра, 1994. – 125 с.*

2. *Гертман В.П., Атманских С.А., Светлаков К.Н. Влияние расхода воды и зернового состава заполнителей на качество закладки // Горный журнал. – № 5. – М.: Руда и металлы, 1992. – С. 28-31.*

3. *Цыгалов М.Н., Слащилин И.Т., Замосковцева Г.Д. Влияние материалов на качество монолитной закладки. – № 5. – М.: Руда и металлы, 1991. – С. 27-28.*

4. *Шапошник С.Н. Разработка ресурсосберегающей технологии закладочных работ на основе оптимизации компонентов закладочной смеси: Автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Алматы, 2009. – 34 с.*

5. *Mislibayev I.T., Alimov Sh.M. Kovuldi konida qazib olingan bo‘shliqni to‘ldirish texnologiyasini takomillashtirish. «Zarafshon voxasini kompleks innavasion rivojlantirish yutuqlari, muammolari va istiqbollari» mavzusidagi IV Xalqaro ilmiy-amaliy anjumani materiallari. – Navoiy, 16-17 noyabr, 2023 y. 41-42 b.*

УДК 539.172.3 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.019

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОТО-ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С ОБРАЗОВАНИЕМ ИЗОМЕРНЫХ ЯДЕР И ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ЭЛЕМЕНТНОМ АНАЛИЗЕ РУД




Курбанов Б.И.,
заведующий лабораторией
Института ядерной физики АН РУз.,
д.т.н., профессор

Музафаров А.М.,
главный инженер ЦНИЛ НГМК,
д.х.н., доцент

Журакулов А.Р.,
доцент кафедры
«Физика» НГГТУ, PhD

Шовдирова С.Л.,
ассистент кафедры
«Ядерная физика и теплофизика»
ТФ НИЯУ МИФИ

Maqolada elektron tezlatgichda hosil qilingan 8,5 MeV energiyali tormozlanish nurlanishi ta'sirida uyg'onuvchi metastabil yadrolaning gamma-nurlanishi spektrometriyasi bo'yicha element tahlili o'tkazishga bag'ishlangan tadqiqot ishlari natijalari keltirilgan. Kumush – 107 m, va 109m, volfram – 183m, ittriy – 89m, reniy – 187m izomer holatdagi atom yadrolarining foto-yadro reaktsiyalari bo'yicha spektrometrik ma'lumotlar olingan va olingan ma'lumotlar rudalarni saralash muammosini yechishda qo'llash imkoniyatlari baholangan.

Tayanch iboralar: *foto-yadro reaktsiyalari, metastabil yadrolar, oltin tarkibli rudalar, bo'sag'a energiyasi, tormozlanish nurlanishi, yarim o'tkazgichli detektor, gamma-kvantlar, element tahlili, ruda, model aralashma.*

В работе приводятся результаты исследования, посвященные элементному анализу по спектрометрии гамма-излучения метастабильных ядер, возбуждённых под воздействием тормозного излучения электронного ускорителя с энергией 8,5 МэВ. Получены спектрометрические данные по фотоядерным реакциям изомеров – атомных ядер серебра – 107m и 109m, вольфрама – 183m, иттрия – 89m, рения – 187m и оценены возможности использования этих данных в решении задач элементного анализа для рудо-сортировки.

Ключевые слова: *фотоядерные реакции, метастабильные ядра, золотосодержащие руды, пороговая энергия, тормозное излучение, полупроводниковый детектор, гамма-кванты, элементный анализ, руда, модельная смесь.*

В последние годы растёт интерес к ядерно-физическим исследованиям элементного состава вещества и материалов. Особенно в горно-металлургической и нефтехимической промышленности и других отраслях увеличивается спрос на высокочувствительные, экспрессные, селективные и надёжные методики и способы определения элементного состава для повышения эффективности производства, получения отвечающих требованиям продуктов и изделий. Одной из развитых отраслей экономики Узбекистана на сегодняшний день является горно-металлургическая промышленность, в которой ежегодно добывают более 100 *млн м³* руды ценных металлов. Рудо-сортировка является важным этапом горно-металлургического производства золота и других ценных металлов. Для рудо-сортировки необходимы экспрессные и высокочувствительные методы аналитического контроля элементного состава вещества.

Методология. Среди аналитических методов самыми молодыми и высокопроизводительными считаются ядерно-физические методы анализа. Среди них на сегодняшний день сравнительно малоизученным, но по своим возможностям перспективным для рудо-сортировки можно считать метод элементного анализа основанный на использование гамма-спектрометрии коротко-живущих изомеров образующихся при фото-ядерных реакциях.

В результате взаимодействия гамма-квантов с атомными ядрами по реакции X^{A} (γ, γ') X^{Am}, образуются гамма-излучающие изомеры [1, 2]. По этой фото-ядерной реакции в некоторых элементах, имеющих атомный вес больше 33, образуются изомеры с достаточно большим периодом полураспада. Вероятность протекания фото-ядерных реакций, с образованием изомерных ядер, имеют пороговый характер, т.е. для каждого атомного ядра фото-ядерная реакция под воздействием высокоэнергетических гамма-квантов, происходит при наличии энергии не менее пороговых значений.

Основными ядерно-физическими характеристиками образования изомеров, т.е. метастабильных состояний атомных ядер и аналитических методов элементного анализа на их основе являются сечения фотоядерной реакции, значения порога энергии для протекания фото-ядерной реакции, период полураспада изомера, образующихся при фото-ядерных реакциях, выходы и энергии испускаемых гамма-квантов.

Изомерия атомных ядер обусловлена особенностями структуры ядер. Изомерные состояния атомных ядер химических элементов образуются в тех случаях, когда переход ядра в состояние с меньшей энергией путём испускания гамма-кванта затруднён. Изомеры особенно часто встречаются в определенных областях значений A (острова изомерии) A = 50; 82; 126 [3, 4].

В зависимости от основных фундаментальных свойств атомных ядер: заряд ядра и его массы определяется для них значением пороговой энергии реакции (γ, γ'). Важное значение имеет выход гамма-квантов при этой реакции и интенсивность гамма-излучения. Пороговый характер этой реакции позволяет путём вариации энергии гамма-излучения, облучающего образец, исключить возможность протекания реакции на атомных ядрах исследуемого образца, имеющих более высокий порог реакции, чем у атомного ядра анализируемого элемента [5, 6]. Это позволяет обеспечивать высокую селективность анализа, исключая некоторые мешающие реакции.

С уменьшением атомного номера увеличиваются значения пороговой энергии данной реакции, что также способствует селективному определению содержания конкретного элемента. Для практического применения реакции (γ, γ') для элементного анализа, целесообразно использовать гамма-излучения с энергией меньше 20 *МэВ*. Как показывают результаты анализа литературы, посвящённых гамма-активационному анализу при энергии выше 12 *МэВ* увеличиваются разновидности протекающих фотоядерных реакций, т.е. происходят кроме реакции (γ, γ'), ещё такие реакции как (γ, n); (γ, p); (γ, f) [8, 9]. Протекание этих ядерных реакций усложняет гамма-спектр, который излучает образец, что приводит к проблемам идентификации спектра и учёта влияния мешающих элементов в аналитических работах.

Атомное ядро является сложной квантовой системой, состоящей из достаточно большого числа частиц и характеризующейся целым рядом различных степеней свободы. Поэтому для описания некоторых его свойств используется статистический подход. К таким свойствам относятся в первую очередь возбуждённые состояния ядер. Одной из их характеристик является плотность этих состояний, определяющая её зависимость от нуклонного состава, энергии возбуждения и углового момента ядра. Изучение этих зависимостей от различных ядерно-физических характеристик (нуклонный состав, деформация, энергия возбуждения) является одним из направлений исследований свойств возбуждённых ядер, которое позволяет получать важную информацию о структуре возбуждённых ядер.

Экспериментальная часть.

Ядерно-аналитическая аппаратура и техника эксперимента для исследования возможности определения элементного состава по фото-ядерным реакциям в общем случае состоит из следующих блоков: исследуемый образец; весы для взвешивания исследуемого образца и эталонного образца; линейный ускоритель электронов формирующий тормозное излучение необходимой энергией; тракт удаления от места облучения до места измерения гамма-спектров образца; спектрометр гамма-излучения изомеров, образованных в исследуемых образцах; система обработки гамма-спектров и вычисления содержания искомых элементов и система радиационной защиты персонала. Экспериментальные исследования в данной работе проводились на базе линейного ускорителя электронов типа УЭЛР-8-10А, который даёт тормозное излучение с энергией 8,5 *МэВ*.

Вес образца берётся относительно большим, около 500 *г*. Конструкция экспериментальной установки имеет вертикальное расположение. На высоте 12 *м* исследуемый и эталонный образец взвешиваются и перемещаются вертикально под воздействием силы тяжести и останавливается на позиции облучения пучком тормозного излучения энергией 8,5 *МэВ*. Длительность облучения выбирается исходя из периода полураспада изомеров, которые образуются при фото-ядерной реакции в исследуемых и эталонных образцах.

Путём приготовления модельных смесей на основе матрицы золото- и серебросодержащих сульфидных руд с различными содержаниями Au, Ag, W, Y, Re были проведены экспериментальные исследования и найдены коррелляционные связи интенсивности гамма-излучения, испускаемые метастабильными ядрами, образованные при фото-ядерной реакции от содержания искомого элемента в модельных образцах. Модельные смеси были приготовлены путём смешивания известного количества искомых элементов по методике приготовления аттестованной смеси.

Спектрометрическая система состояла из полупроводникового детектора из особо чистого германия с разрешающей способностью 1,7 *кэВ* при линии 1333 *кэВ* радионуклида ^{60}Co. Использовали современную спектрометрическую программу Genie-2000 для обработки гамма-спектров.

По неупругому рассеянию тормозного излучения с энергией 8,5 *МэВ* при обеспечении плотности потоков тормозного излучения не менее 10^{13}-10^{15} *фотон*/(*см*^{2}·*с*) происходит фотоядерная реакция с возбуждением изомерного состояния всего нескольких элементов: иттрия (^{89}Y), золота (^{197}Au), серебра ($^{107,\ 109}$Ag), вольфрама (^{183}W) и др. При обработке гамма-спектров облученных тормозным излучением образцов установили, что изомер ^{107m}Ag с периодом полураспада 44,3 *с* имеет аналитическую линию с энергией 93,2 *кэВ*, а изомер ^{109m}Ag с периодом полураспада 39,6 *с* имеет гамма-линию с энергией 88 *кэВ*.

В результате следующих реакций образуются короткоживущие изомеры серебра:

$$^{107}Ag\ (\gamma,\ \gamma')^{107m}Ag\ ;\quad ^{109}Ag\ (\gamma,\ \gamma')^{109m}Ag \qquad (1)$$

Последовательно облучали образцы с известным содержанием серебра, т.е. эталонные образцы и исследуемые образцы, относительным методом была определена массовая доля серебра в пробах. Оптимальными временными режимами при определении содержания серебра, учитывая период полураспада изомеров ^{107m}Ag и ^{109m}Ag расчётным путём выбраны следующие режимы облучения, охлаждения и измерения: время облучения $t_{обл}$ = 40 *с*; время охлаждения $t_{охл.}$ = 2 *с*; время измерения $t_{изм.}$ = 38 *с*. Общее время для определения содержание серебра в одном образце составляет 80 *с*.

В результате фото-ядерной реакции:

$$^{183}W\ (\gamma,\ \gamma')\ ^{183m}W \qquad (2)$$

образуется короткоживущий изомер вольфрама – ^{183m}W.

Для определения содержания вольфрама можно использовать интенсивность гамма-линии с энергией 108 *кэВ* от изомера ^{183m}W. Период полураспада данного изомера составляет $T_{1/2}$ = 6 *с*. Оптимальными временными режимами при определении содержания вольфрама, учитывая период полураспада изомера вольфрама расчётным путём выбраны следующие режимы облучения, охлаждение и измерения: время облучения $t_{обл}$ = 20 *с*; время охлаждения $t_{охл.}$ =2 *с*; время измерения $t_{изм.}$= 18 *с*. Общее время для определения содержания вольфрама в одном образце составляет 40 *с*.

В результате фото-ядерной реакции:

$$^{89}Y\ (\gamma,\ \gamma'\ )\ ^{89m}Y \qquad (3)$$

образуется изомер иттрия.

Для определения содержания иттрия можно использовать интенсивность гамма-линии с энергией 910 *кэВ* от изомера ^{89m}Y. Период полураспада данного изомера составляет $T_{1/2}$ = 16 *с*. Для иттрия расчётным путём выбраны следующие режимы облучения, охлаждения и измерения: время облучения $t_{обл}$ = 20 *;* время охлаждения $t_{охл.}$ = 2 *с*; время измерения $t_{изм.}$ = 18 *с*.

Обработка результатов измерений.

Число зарегистрированных гамма-квантов от искомого элемета определяется соотношением:

$$N = \eta \cdot m \cdot C; \qquad (4)$$

где *C* – массовая доля элемента в пробе, *g/t*;

m – масса пробы, *g*;

η – эталонировочный коэффициент, который учитывает колебания параметров режима анализа (временные режимы, эффективность регистрации гамма-квантов, выход гамма-активационных реакций и т.д.), рассчитываются при анализе эталона.

При анализе проб и эталонов измеряется количество гамма-квантов N зарегистрированных в соответствующих аналитических окнах.

Площадь фотопика элемента вычисляют по формуле:

$$N = N_{общ} - N_{фон} \qquad (5)$$

где *N* – число импульсов от аналитических пиков элемента в спектре;

$N_{общ}$ – общее число импульсов на окошках, на которых расположен аналитический пик элемента в спектре;

$N_{фон}$ – число импульсов фонового излучения на окошках, на которых расположены пики элемента в спектре.

Эталонировочный коэффициент или чувствительность по определению элемента вычисляют по формуле:

$$\eta = (N)^{эт} / (P^{эт} \cdot C^{эт}) \qquad (6)$$

где $(N)^{эт}$ – суммарная площадь фотопиков элемента в эталонном образце;

$P^{эт}$ – масса эталонного образца, *g*;

$C^{эт}$ – содержание элемента в эталонном образце, *g/t*

$C^{эт}$ = 129,1 *g/t*;

η – чувствительность определения элемента, *imp/(g/t).*

Содержание элемента, в *g/t* в пробах вычисляют по упрощенной с практической точки зрения эмпирической формуле, связывающую концентрацию элемента, массу пробы и стандарта, площадь аналитического пика элемента эталонного и исследуемого образцов:

$$C_x = C_{эт} (N_x / N_{эт}) / (P_{эт} / P_x) \qquad (7)$$

где N_x – суммарная площадь аналитических пиков элемента измеряемой пробы, imp;

$N_{эт}$ – суммарная площадь аналитических пиков элемента эталонного образца, *imp*;

$C^{эт}$– содержание элемента в эталонном образце, *g/t*;

$P_{эт}$ – масса эталона, *g*;

P_x – масса анализируемой пробы, *g*;

Если учесть формулу (6), то последняя формула приобретает следующий вид:

$$C_x = N_x / \eta \cdot P_x \quad (g/t) \qquad (8)$$

Таким образом экспериментально изучены фото-ядерные реакции на атомном ядре серебра, вольфрама, иттрия и рения в модельных смесях и получены экспериментальны данные.

На основе исследований получены спектрометрические данные по фотоядерным реакциям атомных ядер серебра, вольфрама, иттрия и рения, и оценены возможности использования этих данных для задач рудосортировки.

Библиографический список:

1. Бурмистенко Ю.Н. Фотоядерный анализ состава вещества. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 200 с.
2. Гангрский Ю.П. Международное совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра // Тез. докл. – Москва, 2003. – 184 с.
3. Гангрский Ю.П., Тончев А.П., Балабанов Н.П. Возбуждение изомерных состояний в фотоядерных реакциях // – Дубна: ЭЧАЯ, 1996. – Т. 27. Вып. 4. – С. 1043-1098.
1. Данагулян А.С., Оганесня Г.О., Бахшиян Т.М., Авакян Р.О., Аветисян А.Э.,.Керобян И.А., Даллакян Р.К.. Получение медицинских радиоизотопов 111In, 117mSn, 124Sb и 177Lu в фотоядерных реакциях. – М: «ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА», 2015. – С. 483-488.
2. Бахшиян Т. М., Обсуждение изомерных отношений в (p, n) и (d, 2n) реакциях. – М: «ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА» 2016. – С. 2-7.
3. Данагулян А.С., Оганесян Г.О., Бахшиян Т.М., Мартиросян Г.В., Особенности изомерных отношений в ядерных реакциях с различными налетающими частицами. – М: «ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА», 2016. – С. 220-228.
4. Данагулян А.С., Оганесян Г.О., Бахшиян Т.М.,. Керобян И.А., Анализ изомерных отношений среднетяжелых ядер. – М: «ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА», 2016. – С. 461-467.
5. Авакян Р.О., Аветисян А.Э, Керопян И.А. и др., Экспериментальная установка для исследования возможности производства радиоактивных изотопов для медицинских целей на базе линейного ускорителя. – Армения: Физика, 2012. – С. 9-16.
6. Handbook on photonuclear data for applications. Cross sections and spectra, IAEA-TENDOC, pp. 1178, 2000.

UO‘K 621.9
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.020

PLANETAR KESKICH BILAN BOSIM OSTIDAGI MAGISTRAL QUVUR DEVORINI KESIB TESHIK OCHISHDA KESISH KUCHI VA KESISH TEZLIGINI ANALITIK TAHLIL QILISH




Mardonov B.T.,
NDKvaTU rektori,
t.f.d., professor

Toirov M.Sh.,
«Mashinasozlik texnologiyasi»
kafedrasi dotsenti, PhD

Karimov K.A.,
I. Karimov nomidagi TDTU
«Nazariy mexanika va mexanizm va mashinalar nazariyasi» kafedrasi
professori, t.f.d.

Axmedov A.X.,
I. Karimov nomidagi TDTU
«Nazariy mexanika va mexanizm va mashinalar nazariyasi» kafedrasi
professori, t.f.d.

Ushbu maqolada keltirilgan ma’lumotlar turli markali po‘latlardan tayyorlangan bosim ostidagi po‘lat quvurlarning sirtiga teshik ochib, shu ochilgan teshikka yangi quvur tarmog‘ini ulash jarayonini olib borishda amalga oshirilayotgan kesish jarayonida kesish kuchi va tezligi, o‘tkazilgan amaliy tahlillar natijasida keltirilgan. Bosim ostidagi magistral quvurlar sirtiga teshik ochish jarayonini olib borish, tavsiya etilayotgan moderinizatsiyalangan ratsional qurilmada olib borilganligi sababli kesish kuchi o‘tkazilgan amaliy tajribalar natijasida hisoblangan. Kesish kuchi past uglerodli polatlar va past, yuqori legirlangan po‘latlardan tayyorlangan quvurlarga nisbatan olib borilgan.

Tayanch iboralar: *magistral quvur tarmoqlari, bosim ostidagi magistral quvurlar sirtiga teshik ochish, kesish tezligi, past va yuqori legirlangan po‘latlar, kesish kuchi, kesish tezligi, planetar keskich, yangi konstruksiyadagi teshik ochish qurilmasi.*

Информация, представленная в этой статье является результатом практического анализа силы и скорости резания в процессе вырезки отверстий на поверхности стальных трубопроводов находящихся под давлением, изготовленных из различных марок стали, при подключении новой трубопроводной линии к расточенному отверстию на стенках магистральных трубопроводов. Сила резания рассчитывалась по проведенным результатам экспериментальных практических работ, так как она проводилась на поверхности магистральных трубопроводов под давлением в предлагаемом рациональном устройстве.

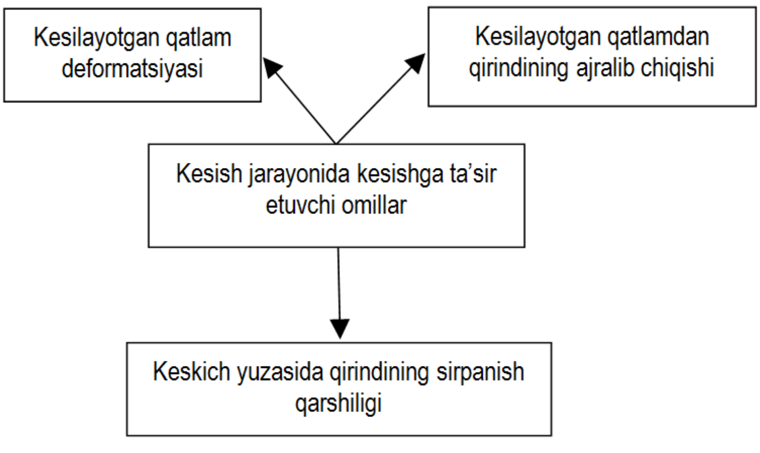
Ключевые слова: *линия магистральных трубопроводов, растачивание отверстий на поверхности магистральных трубопроводах находящихся под давлением, скорость резания, низко и высоколегированные стали, сила резания, скорость резания, планетарный резец, новый предлагаемый станок для вырезки отверстия на поверхности магистральных трубопроводов.*

Ma’lumki, metallarni kesish jarayonida kesayotgan keskichga kesilayotgan metall aktiv kuch bilan qarshilik ko‘rsatadi, natijada ishlov berayotgan keskichga, dastgohda va zagatovkada tebranishlar paydo bo‘ladi, foydalanilgan dastgoh va keskichlarning ish samaradorligini to‘g‘ri baholash uchun ishni to‘g‘ri tashkil etish talab etiladi, shuning uchun har-bir bajarilayotgan texnologik jarayon uchun kesish rejimi jarayonini keltirilgan sxema shaklida tuzilib jarayon to‘g‘ri tanlab olinishi shart (*1-rasm*).

Professor Zvorikin K.A. tomonidan kesish jarayonida, kesish kuchini aniqlash uchun gidravlik dinomometr qollanilgan, unda eni h = 4 *mm* bo‘lgan kesib tushiruvchi keskich bilan keshish kuchi aniqlanib o‘rganilgan.

Uglerodli polatlardan tayyorlangan, qattiqligi HB = 220-230 *MPa* bo‘lgan zagatovkagalarga kesib ishlov berish jarayoni olib borilgan izlanishlarda, kesish chuqurligi t = 0,3 *mm* bo‘lganda keskichga tushayotgan kesish kuchining o‘rtacha qiymati P_x = 0,35 *kH*; P_y = 0,45 *kH*; P_z = 1 *kH*; qilib belgilagan [1].

Rossiya Federatsiyasi Ivanovo davlat politexnika universiteti olimlari Mojin N.A., Avrelkin V.A., Fedulov Y.A. olib borgan ekspremental tatqiqotlar natijasi shuni ko‘rsatdiki uglerodli konstruksion po‘latlarni kesib ishlov berganimizda K_p (qattiqlik koeffitsenti) 2,5ga teng bo‘ladi, boshqa konstruksion po‘latlar uchun esa uning kimyoviy tarkibiga qarab 2,3-2,8 gacha o‘zgarib turadi, shuning uchun uglerodli polatlar uchun ham



1-rasm. Kesish jarayonida keskichga tasir etuvchi kuchlarning sxematik ko‘rinishi

1-jadval

Karonkali keskich bilan teshik ochganda keckich tig‘iga tushiruvchi kesish kuchini tasvirlovchi jadvali

Quvur materialining markalari	Quvur ishlab chiqarilayotgan standartlar, DSt	K_p,	σ_v ortacha qiymati, kgs/mm^2 (MPa)	f_n, mm^2	1ta keskich uchun, kgs (H)	2ta keskich uchun, kgs (H)
0,9Г2С	19281-89	2,5	49 (490)	0,2	24,5 (2,45)	49 (4,9)
Ст20	4041-71	2,5	40 (400)	0,2	20 (2,0)	40 (4,0)
12Х18Н10Т	5582-75	2,5	53 (530)	0,2	26,5 (2,65)	53 (5,3)
08Х22Н6Т	5582-75	2,5	60 (600)	0,2	30 (3,0)	60 (6,0)
10Х17Н13М2Т	5582-75	2,5	51 (510)	0,2	25,5 (2,5)	51 (5,1)

2-jadval

Taklif etilayotgan keskichning kesish kuchini umumiy ko‘rsatgichlari

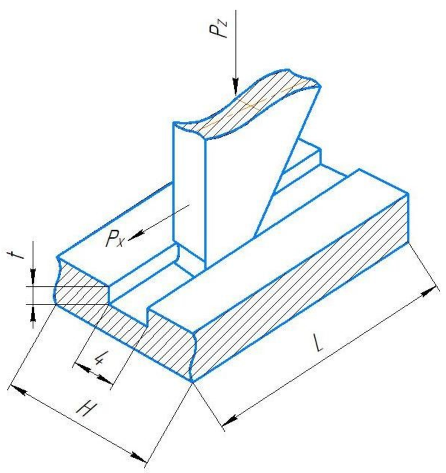
Kesilayotgan materialning markasi	Kesuvchi kallak valiga tushuvchi kesish kuchi, kgf (H)
0,9Г2С	49 (4,9)
Ст20	40 (4,0)
12Х18Н10Т	53 (5,3)
08Х22Н6Т	60 (6,0)
10Х17Н13М2Т	51 (5,1)

o‘rtacha koeffitsentni 2,5 deb hisoblash maqsadga muvofiq deb topildi. Misol, kesish chuqurligi t = 3 mm va uzatishlar soni (podacha) 0,2 mm bo‘lganda, kesilayotgan qatlamning ko‘ndalang kesim yuzasi S = 1,5 mm^2 bo‘lganda va nisbiy mustahkamlik chegarasi σ_v = 0,61 GPa bo‘lgan uglerodli po‘lat Ст45 ga kesib ishlov berilganda kesish kuchi quyidagicha hisoblanadi: 2,5 · 0,61 · 1,5 = 2,3 $кН$ [2, 3].

Kesish kuchini topish uchun quyidagi soddalashtirilgan formuladan foydalanamiz:

$$P = K_p \cdot \sigma_v f_n \tag{1}$$

2-rasm. Quvur devorini teshuvchi parma va quvur devorini kesib teshik ochuvchi karonkali planetar keskichning kesuvchi tig‘i



3-rasm. Karonkali planetar keskich yordamida magistral quvur devorini kesishning sxematik shakli

K_p – koeffitsent, 2,3-2,8 ga teng; σ_v – materialning mustahkamlik darajasi; f_n – kesilayotgan qatlamning ko‘ndalang kesim yuzasi.

Kimyoviy tarkibi turlicha bo‘lgan metallardan tayyorlangan quvurlarda kesish jarayonini karonkali planetar keskich bilan teshik ochganda keckich tig‘iga tushiruvchi kesish kuchi hisoblab topilgan (*1-jadval*), keskichning kesish burchaklari teng yonli 90º bo‘lganda (kesib tushiruvchi keskichning geometrik shakli) kesish kuchini *1, 2* formula orqali hisoblab topamiz va jadval shakliga keltiramiz (*2-jadval*). Quvur devorini kesish jarayonini nuqsonsiz sifatli bajarish uchun, quvur materialining mexanik xossalarini sinovdan quyidagicha o‘tkazamiz:

1) σ_t – oquvchanlikning nisbiy chegarasi, kgs/mm^2;

2) σ_v – uzilishga qarshilikning nisbiy chegarasi, (mustahkamlik chegarasi) kgs/mm²;

3) δ_5 – cho‘zilishning nisbiy mustahkamlik chegarasi, %;

4) ψ — siqilishning nisbiy mustahkamlik chegarasi, %;

5) α_n – zarbiy qovushqoqlikning nisbiy mustahkamlik chegarasi $kg{\cdot}sm/cm^2$,

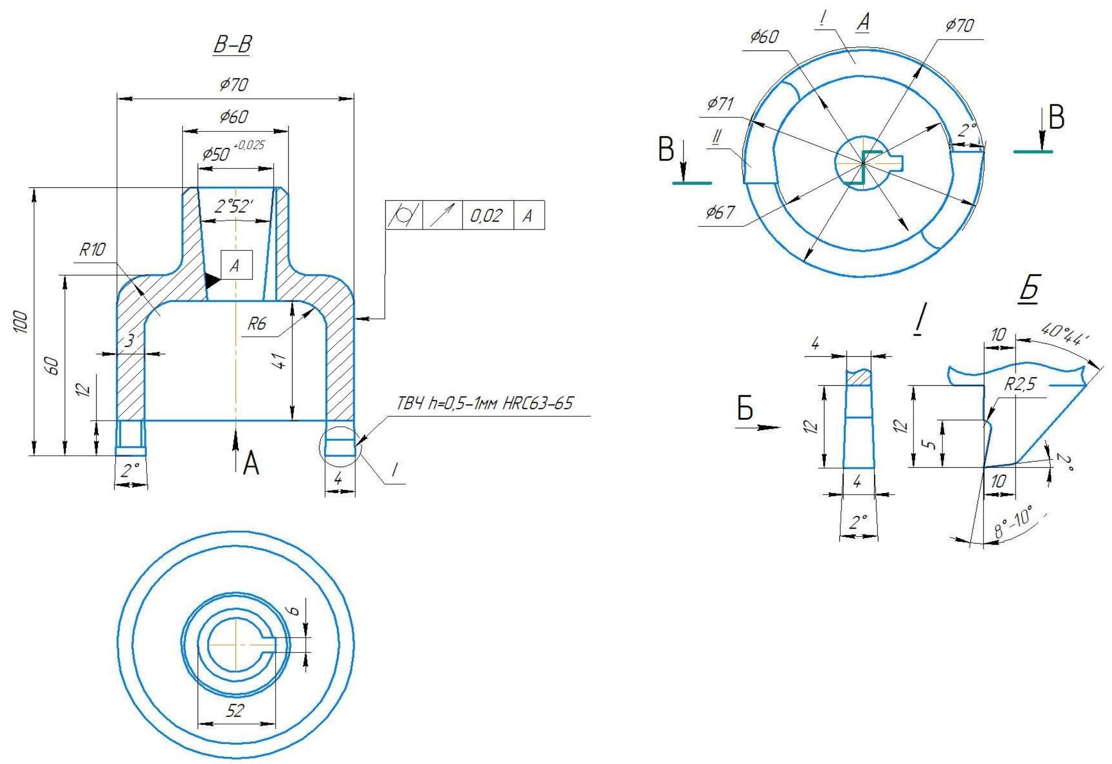
6) HB – materialning nisbiy qattiqligi, MPa.

Burchaklari 90º bo‘lgan (kesib tushuruvchi) keskich bilan quvur devoriga (*2-rasm*) aylana chuqurlikni hosil qilamiz, bundan maqsad qurilma bilan quvur devorini kesayotganimizda tebranishlarni oldini va yo‘nalish berish uchun oddiy standart parma ornatiladi, kesish jarayonida parma Z o‘qi bo‘ylab tekis yo‘naladi va uning ortidan burchaklari 90º bo‘lgan kesib tushiruvchi keskich bilan quvur devori kesadi (*3, 4-rasmlar*) [4, 5, 6].

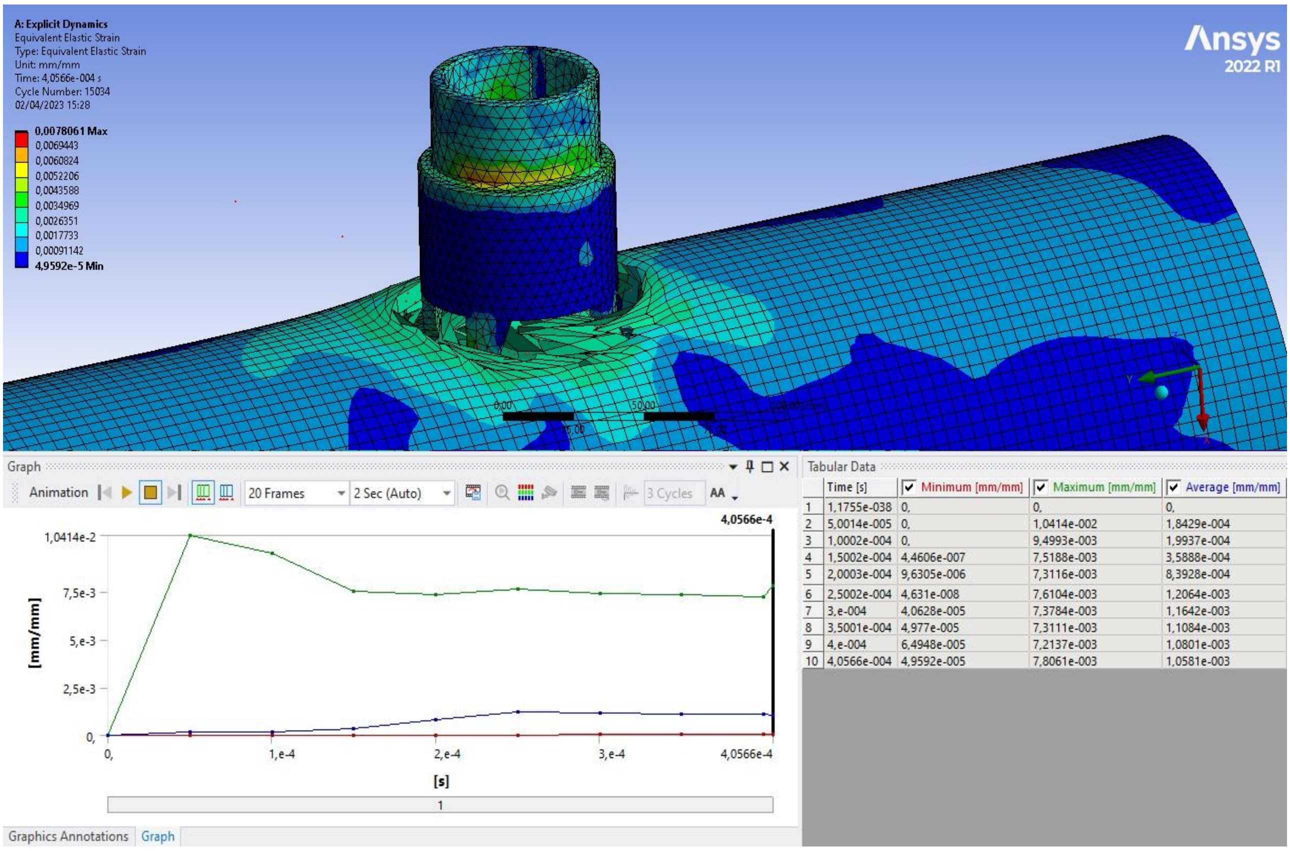
Tavsiya etilayotgan karonkali planetar kesuvchi keskich Z o‘qi bo‘ylab vertikal harakatlanib quvur devorini kesganda, tebranishlar chastotasi X va Y oqi boylab turg‘un va tinch holatda bo‘llishi ANSES dasturda tahlil qilindi, shu bilan bir qarorda o‘tkazilgan tajriba amaliyotlarda ham olingan natijalar, dasturlash natijasida olingan natijalar bilan solishtirma taqqoslanganda bir xil natijalar kuzatildi.

Keltirilgan natijalar, tavsiya etilayotgan karonkali planetar keskich bilan ANSES dasturida quvur devorini kesish jarayonini sinovdan o‘tkazilgan holati keltirilgan (*5-rasm*).

Quvur va prokat tunika metalini, (*6, 7-rasm*) da tavsiya etilayotgan karonkali planetar kesuvchi keskich bilan P6M5 markali tezkesar po‘latdan yaxlit qilib HRC 62-63 qattiqlikda termik ishlov berib tayorlaganligimiz sababli karonkali keskichdagi keskichlar tig‘ining geometrik parametrlari ko‘rsatilgan o‘lchamlarda formula (3) orqali hisoblanib tayyorlandi (*3, 4-rasm*).



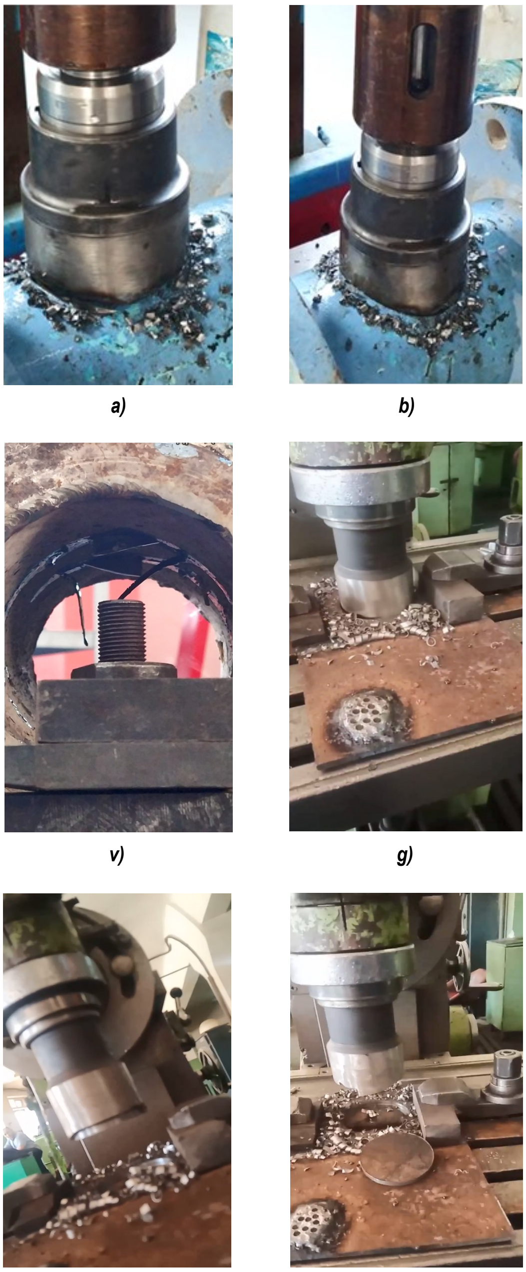
4-rasm. Taklif etilayotgan keskichning 2D chizmasi



	Time [s]	Minimum [mm/mm]	Maximum [mm/mm]	Average [mm/mm]
1	1,1755e-038	0,	0,	0,
2	5,0014e-005	0,	1,0414e-002	1,8429e-004
3	1,0002e-004	0,	9,4993e-003	1,9937e-004
4	1,5002e-004	4,4606e-007	7,5188e-003	3,5888e-004
5	2,0003e-004	9,6305e-006	7,3116e-003	8,3928e-004
6	2,5002e-004	4,631e-008	7,6104e-003	1,2064e-003
7	3,e-004	4,0628e-005	7,3784e-003	1,1642e-003
8	3,5001e-004	4,977e-005	7,3111e-003	1,1084e-003
9	4,e-004	6,4948e-005	7,2137e-003	1,0801e-003
10	4,0566e-004	4,9592e-005	7,8061e-003	1,0581e-003

5-rasm. Taklif etilayotgan keskichni ANSS dasturidagi kesish jarayonining 3D tahlili

6-rasm. Taklif etilayotgan keskichning umumiy korinishi



a) *b)* *v)* *g)* *d)* *e)*

7-rasm. Tezkesar polatdan tayyorlangan tavsiya etilayotgan karonkali planetar keskich bilan tajriba o'tkazish jarayoni: *a, b, v – quvur devorini kesish jarayoni; g, d, e – metall tunika materialiga teshik ochish jarayoni*

Metallarni kesish jarayonida P_z – kesgichga tasir etuvchi asosiy kuch R bo'lib, barcha kuchlar yig'indisining 90-92% tashkil etadishini *(4, 5, 6 formula)* orqali topamiz. Aylanish momenti va kesish quvvati aynan shu kuch orqali hisoblab topiladi. Quvur devorini keshish jarayonida kesuvchi kallakka tushuvchi kuch (N) quyidagi emperik formula orqali hisoblab topamiz va keltirilgan sxema asosida joylashtiramiz (*8-rasm*):

$$P_z = 9{,}81 \cdot C_p \cdot t^X \cdot S^Y \cdot K \cdot H = N; \quad (2)$$

C_P – zagatovka materiali va kesish sharoitiga bog'liq bo'lgan koeffitsent; *t* – kesish chuqurligi, *mm; S* – keskichning bosib o'tgan yo'li, *mm/ayl; K* – o'zgaruvchan koeffitsent.

K o'zgaruvchan koeffitsent bo'lib, har doim ham bir xil bo'lavermaydi va kesish jarayoni olib borilayotga sharoitga qarab koeffitsentlar yig'indisi hisoblab topiladi:

$$K = K_m \cdot K_\gamma \cdot K_f \cdot K_R \cdot K_v \cdot K_h \cdot K_{m.s.s.} \quad (3)$$

K_m; K_y; K_f; K_r; K_v; K_h; $K_{moylash,\ sovutish,\ suyuqliklari}$ bu ko'rsatilgan koeffitsentlar ishlov berilayotgan zagatovka sirtining tekisligi, keskichning oldingi plandagi burchagi, keskich radiusi, kesish tezligi, keskichning emirilish darajasi va MSSni qo'llashda haroratni nazorat qilish koeffitsenti [7].

Kesish jarayonida sarflanayotgan quvvatni topish uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$N_e = P_z \cdot \frac{V}{1000} Vt \quad (4)$$

P_z – kesish kuchi, *N* ; *V* – kesish tezligi, *m/min*; N_e – kesish jarayonida sarflanayotgan quvvat.

Qurilmada o'rnatilgan elektr yuritgichning quvvatini hisoblab topish uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$N_{el.yuritma} = \frac{N_e}{\eta} \quad (5)$$

Qurilma valining aylanish momentini topish uchun quyidagi formulaga murojat qilamiz:

$$M_{ayl} = P_z \frac{D}{25} \cdot H \cdot m \quad (6)$$

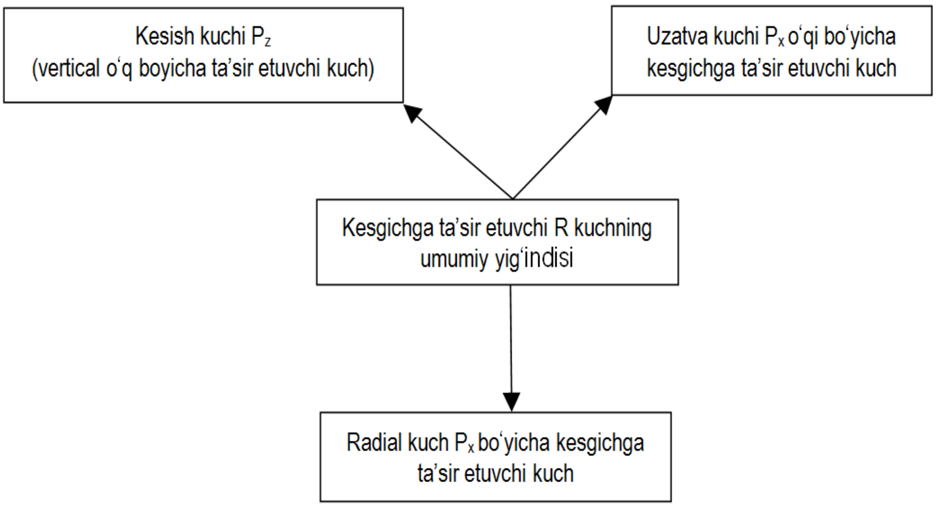
D – teshish kerak bo'lgan diametr.

Kesish tezligining optimal tezligini topish uchun quyidagi omillarni inobatga olish zarur:

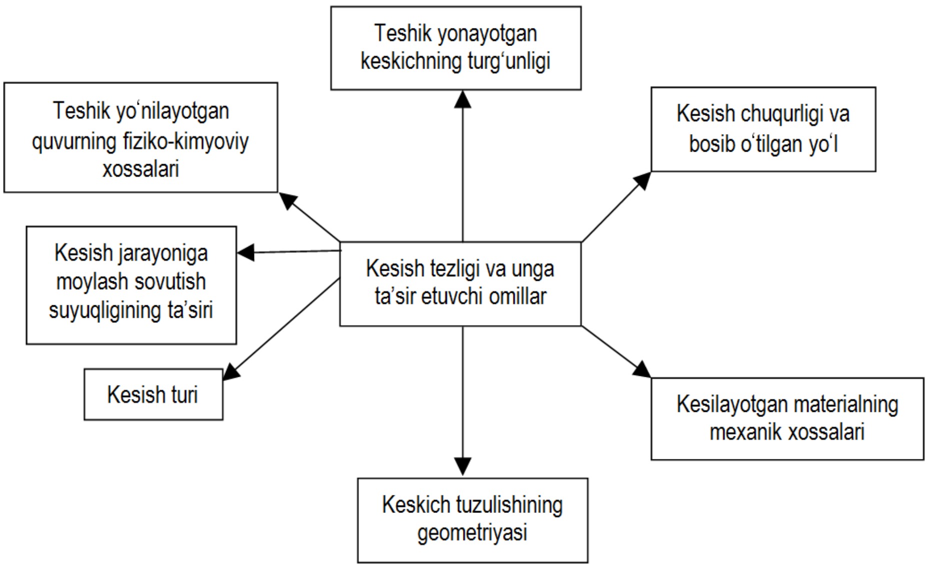
– teshik yo'nilayotgan quvurning fizik-mexanik xossalari;
– teshik yo'nayotgan keskichning turg'unligi;
– kesish chuqurligi va yo'nib otilgan yoli;
– keskich materialining xossasi;
– keskich tuzulishining geometriyasi;
– kesish turi (yo'nish);
– moylash sovitish suyuqligining ishtiroki.

Quvur devorida teshik ochish jarayonida kesish tezligiga optimal tasir etuvchi omillarni (7) orqali hisoblab sxematik ko'rinishini quyidagicha tasvirlaymiz.

Kesish tezligiga tasir etuuvchi asosiy omillar bu quvur metalining σ_v - mustahkamlik chegarasi va uning qattiqligi *HB* bo'lib, keskichga tasir



8-rasm. Kesish jarayonida o‘qlar boyicha tasir etuvchi kuchning sxematik ko‘rinishi



9-rasm. Quvur devoriga teshik ochish jarayonida kesish tezligini optimal amalga oshirish uchun zarur bo‘lgan texnologik jihozlarning sxematik ko‘rinishi

etuvchi birinchi omillar hisoblanadi. Kesish chuqurligi va uzatma yo‘lining ortishi bilan kesilgan qatlamning hajmi oshadi buning natijasida keskichga tushayotgan kuch miqdori ortadi va shu bilan bir qatorda kesish zonasida issiqlik ajralib chiqish ortib boraveradi, bunday holatning vujudga kelishi, quvur devoriga teshik ochish jarayonida keskichning tez ishdan chiqishiga olib keladi, shuning uchun kesish chuqurligi miqdori oshganda kesish tezligi(podacha)ni kamaytirish tavsiya etiladi va buni quyidagi sxema shaklga keltiramiz (*8 va 9-rasm*) [8, 9].

Quvur sirtida teshik ochish jarayonida, kesish tezligi quyidagi imperik formula bilan hisoblab topiladi:

$$V = C_v \cdot \frac{K}{T^m} \cdot t^X \cdot S^Y \ \frac{m}{\min} \tag{7}$$

C_v – kesish jarayonida ishlov berilayotgan material uchun qo‘llaniluvchi koefisient;

T – keskich turg‘unligi, *min*.

Yuqorida keltirilgan tahlillar va amalga oshirilgan natijalar keltirilgan qurilma orqali amalga oshirilsa, tez va qisqa fursatlarda barcha magistral quvurlarga ishchi bosimini tushirmasdan turib yangi quvur tarmogini ulash uchun teshik ochish imkoniyati yaratiladi (*10-rasm*).

Xulosa:

– yangi qurilgan va qurilayotgan kop qavatli uylarni suv quvurlarini magistral quvur tarmoqlariga ulashda vaqt va material tejamkorligiga erishiladi;

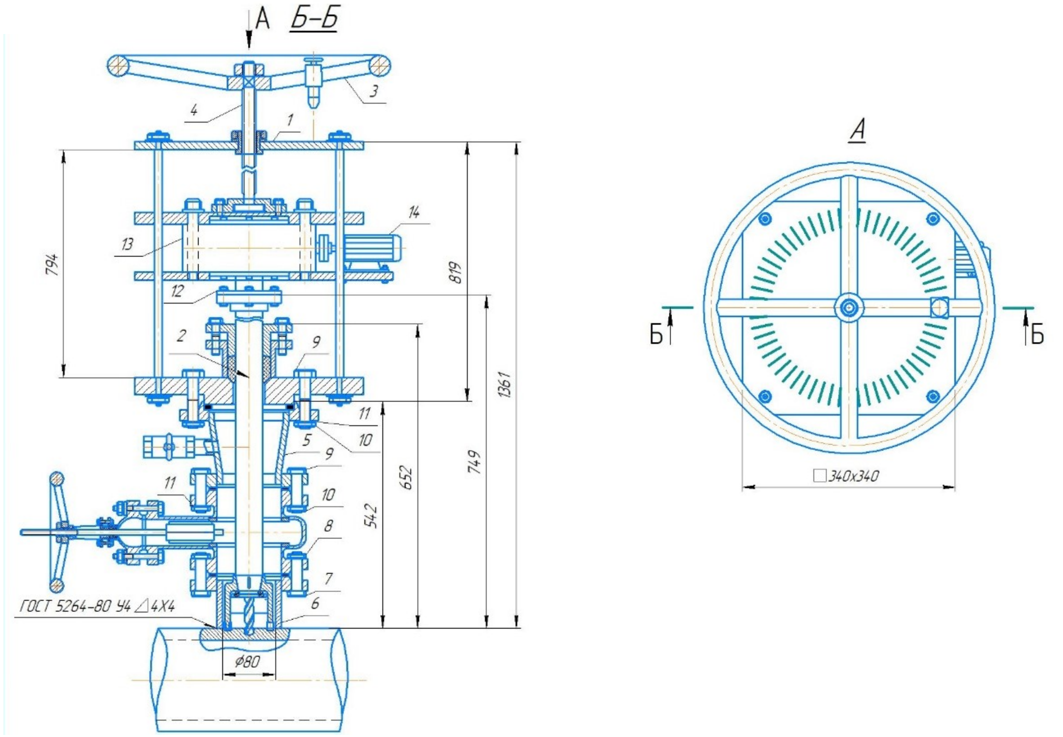
– xorijiy davlatlarda ishlab chiqarilgan shu tipdagi qurilmalarni sotib olish bartaraf etiladi va valyuta tejamkorligiga erishiladi;

– mahalliy mashinasozlik korxonalarida ishlab chiqarish uchun murakkab texnologiyalarni talab etmaydi;

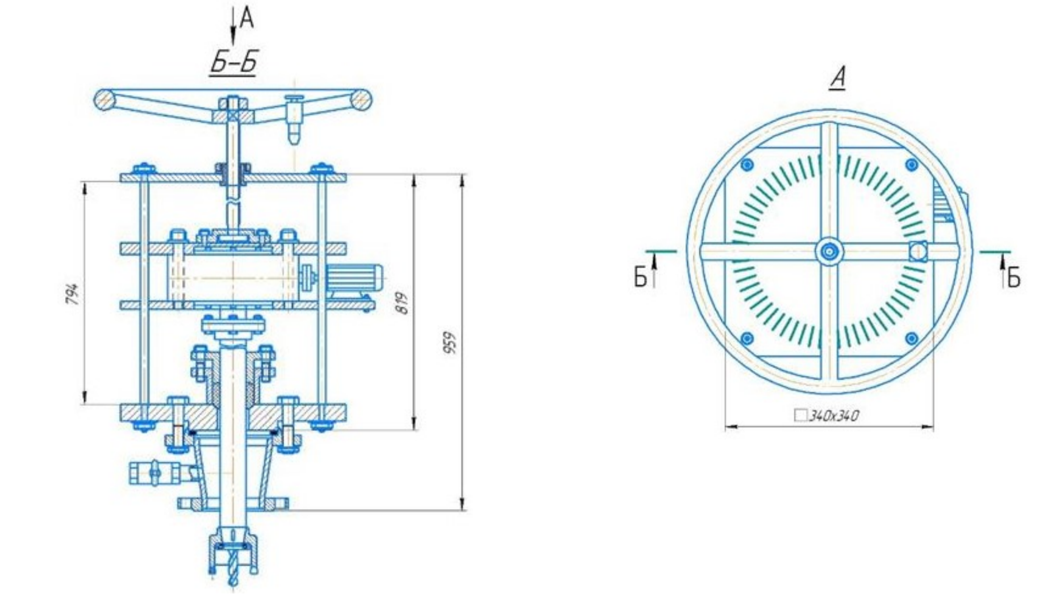
– tavsiya etiluvchi qurilma bilan magistral quvur tarmoqlariga teshik ochish ishlari olib borilganda ishchi kuchini tejalishiga olib keladi;

– magistral quvur tarmoqlari sirtiga flanetsli shtutser paybandlanganda sifatli payvand choklari yaratiladi.

а)



б)



10-rasm. Bosim ostidagi magistral quvur devoriga teshik ochuvchi qurilma chizmasining umumiy ko'rinishi: *a – taklif etilayotga karonkali keskich bilan quvur devoriga teshik ochish jarayonining umumiy ko'rinishi; b – taklif etilayotga karonkali keskichni harakarga keltiruvchi qurilmaning umumiy ko'rinishi*

Bibliografik ro'yxat:

1. Антошечкин Б.М. Реологические свойства в процессах разливки и прокатки. Препринт // Б.М. Антошечкин В.Г. Бурдуковский.: издательство Уро РАН. – Екатеринбург, 1996. – 116 с.

2. Арляпов А.Ю., Галин Н.Е, Ким А.Б., Сбоев В.Н. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент». – Томск, 2012. – 35 с.

3. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. Учебник. 3-е изд. // Б.Н. Арзамасов В.И., Макарова Г.Г,. Мухин. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2001. – 648 с.

4. Бобров В.Ф., Грановский Г.И., Зорев Н.Н. Развитие науки о резании металлов. – Москва: Машиностроение, 2017. – С. 152-164.

5. Бойко В.М., Муравьёв В.И. Повышение эксплуатационных характеристик инструментальных сталей . – Москва, 2003. – С. 3-5.

6. Безъязычный В.Ф. Расчет режимов резания: Учебно-методическое пособие. – Москва: Машиностроение, 2010. – 270 с.

7. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. – Москва: Техносфера, 2004. – 384 с.

8. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: Учеб. для техн. вузов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 448 с.

9. Полетика М.Ф. Теория резания. Часть I. Механика процесса резания: учебное пособие. – Томск: Изд. ТПУ, 2001. – 202 с.

UOʻK 621.355 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.021

AKKUMULYATOR BATAREYALARINI GURUHLI ZARYADLASHDA HAR BIR BATAREYANI FAOL MUVOZANATLASH ORQALI OPTIMALLASH


Qarshibayev A.I.,
NDKTU Energo-mexanika
fakulteti dekani, «Elektr energetikasi»
kafedrasi professori, t.f.d.

Murodov X.Sh.,
NDKTU «Elektr energetikasi»
kaefedrasi katta o'qituvchisi

Maqolada yuqori quvvatli, guruhli ketma-ket ulangan, bir xil kuchlanishli qoʻrgʻoshin-kislotali geliyli akkumulyator batareyalarining zaryadlash, zaryadsizlashda passiv va faol muvozant usullarini ko'rib chiqilgan. Akkumulyator batareyalarini faol usulda zaryadlash, zaryadsizlash jarayonining modeli Matlab/Simulinkda tekshirilgan. Akkumulyator batareyalarining passiv va faol usulda zaradlashdagi afzalliklar va kamchiliklar tahlil qilingan. Akkumulyator batareyalarining ekspluatatsiya davridan soʻng uning elektrotexnik parametrlarining oʻzgarishi tahlil qilingan. Faol va passiv usul bilan zaryadlanish jarayanlari solishtirilib ularning zaryadlashdagi rejimlarini optimallashtirish tomonlari oʻrganilgan. Asosiy masala boʻlib akkumulyator batareyalarining (AKB) asosiy parametrlarini nazorat qilish va energiya samaradorligini oshirishdan iborat boʻladi. Hozirgi kunda koʻplab zamonaviy obyektlar yoki avtonom obyektlarda boʻladigan baxtsiz hodisalar, buzulishlar va boshqa kritik vaziyatlar orqali elektr ta'minotidan uzulish orqali katta miqdordagi material yo'qotishlar yuzaga kelmoqda. Bu muammmolarni hal qilishda qoʻshimcha ravishda majmuaviy elektrotexnik qurilmalarni joriy etish bunda elektr energiyasini ishlab chiqish, saqlash, oʻzgartirish va uzatishni talab etadi.

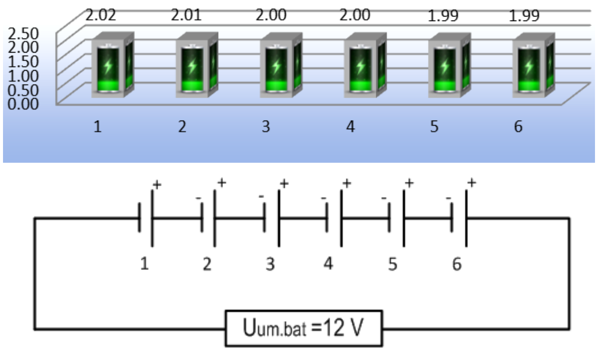
Tayanch iboralar. *Akkumulyator batareyasi, kuchlanish, muvozanat, nomuvozanat, passiv zaryadlash, faol zaryadlash, zaryadlash darajasi, zaryadsizlanish chuqurligining koʻrsatkichi, guruhli zaryadlash.*

В статье рассматриваются пассивные и активные методы балансировки при зарядке, разрядке свинцово-кислотных гелиевых аккумуляторных батарей большой ёмкости с групповым последовательным подключением одинакового напряжения. Модель процесса активной зарядки, разрядки аккумуляторных батарей проверена в Matlab/Simulink. Проанализированы преимущества и недостатки зарядки аккумуляторных батарей как пассивным, так и активным способом. Проанализировано изменение электротехнических параметров аккумуляторных батарей после периода их эксплуатации. При сравнении процессов зарядки активным и пассивным способом изучаются аспекты оптимизации их режимов в зарядке. Проанализировано изменение электротехнических параметров аккумуляторных батарей после периода их эксплуатации. Ключевым вопросом будет контроль основных параметров аккумуляторных батарей (АКБ) и повышение энергоэффективности. В настоящее время большие материальные потери происходят из-за отключения электроэнергии в результате несчастных случаев, поломок и других критических ситуаций, которые происходят на многих современных объектах или автономных объектах. В дополнение к решению этих проблем внедрение комплексных электротехнических устройств требует разработки, хранения, преобразования и передачи электроэнергии.

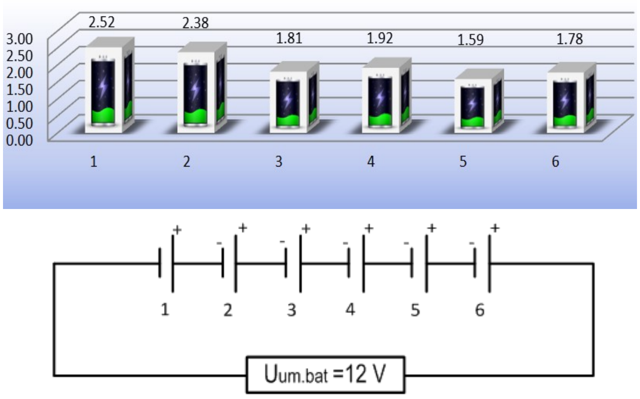
Ключевые слова. *аккумуляторная батарея, напряжение, баланс, дисбаланс, пассивная зарядка, активная зарядка, уровень заряда, индикатор глубины разряда, групповая зарядка.*

Koʻplab zamonaviy energiya yigʻuvchi manbalar sifatida hozirgi kunda ham katta quvvatdagi qoʻrgʻoshin-kislota asosidagi akkumulyator batareyalar amalda qoʻllanilib kelinmoqda. Elektr ta'minoti tizimida akkumulyator batareyalaridan transportda, aviatsiya-kosmik qurilmalarida, suv texnikalarida, statsionar obyektlarda foydalanishda keng foydalanilib kelinmoqda. Birinchi navbatda oʻta muhim iste'molchilarni shuningdek ularning texnologik jarayonlarini va butun ishlab chiqarish majmualarini boshqarish tizimlarini elektr energiyasi bilan uzluksiz ta'minlashda akkumulyator batareyalari qoʻllanilib kelinmoqda. Energiyani saqlash tizimi bozor iqtisodiytida taraqqiy boʻlib bormoqda. Muhim masala boʻlib akkumulyator batareyalarining (AKB) asosiy parametrlarini nazorat qilish va energiya samaradorligini oshirish dolzarb masalalardan biri boʻlib qolmoqda. Hozirgi kunda koʻplab zamonaviy obyektlar yoki avtonom obyektlarda boʻladigan baxtsiz hodisalar, buzilishlar va boshqa kritik vaziyatlar orqali elektr ta'minotidan uzulish katta miqdordagi material yoʻqotishlarni yuzaga keltirmoqda. Bu muammmolarni hal qilishda qoʻshimcha ravishda majmuaviy elektrotexnik qurilmalarni joriy etish bunda elektr energiyasini ishlab chiqish, saqlash, oʻzgartirish va uzatishni talab etadi [1-3].

Asosiy ishlab chiqariladigan yoki mos holda elektr qurilmalaridagi AKB elektr energiyasi iste'mlchilar talabini hisobga olgan holda ekspluatatsiya qilinadi. Yuqori quvvatli elektr energiyasi iste'molchilari uchun katta quvvatli elektr energiyasi manbalari talab etiladi. Elektr energiyasini uzluksizligini ta'minlash maqsadida oʻta muhim iste'molchilar uchun zaxiralovchi energiya manbalarini qoʻllash muhim vazifa boʻlib bormoqda. Bunda katta quvvatli iste'molchilarni zaxiralovchi bir emas koʻplab AKBlardan foydalaniladi. Hozirda yuqori quvvatda ishlovchi bir necha A·soatdan 3000 A·soatgacha boʻlgan sigʻimlarda mavjud boʻlgan AKBlar mavjud. Katta quvvatli AGM+GEL texnologiyalari maxsus AKBlar qoʻllanilmoqda bunda ularning ishlash muddatlari 20 yilgacha yetkazilgan va ularning sikllar soni 3000 tagacha yetkazildi. Chuqur zaryadsizlanish darajasi juda kichik boʻlib, oʻz-oʻzini



1-rasm. Ketma-ket ulangan AKB larning yangi holatda to'la zaryadlanishdagi kuchlanish qiymatlari



2-rasm. Ketma-ket ulangan AKB larning bir necha yil ekspluatatsiya davridan o'tgandan so'ng to'la zaryadlanishdagi kuchlanish qiymatlari

zaryadsizlash juda kichik qiymatlarda ishlab chiqarilmoqda va qo'llanilib kelinmoqda [4].

Guruhli AKB lari ketma-ket va parallel ulangan holda ishlatiladi. Bunda ularni zaryadlanishi va zaryadsizlanishi bir tomondan amalga oshiriladi. Ko'p elementli AKBlari asosida zaryadlash va zaryadsizlanishni amalga oshirish juda murakkab tizim hisoblanadi. Elementlar soni oshib borishi uning nazorat va boshqaruv tizimini murakkablashtiradi, shu bilan bir qatorda ularning zaryadlanish va zaryadsizlanish jarayonida har bir elementdagi elektrotexnika parametrlarini nazoratini olib borish shu orqali monitoring qilish imkoniyatining mavjud emasligi AKB larining ishlash muddatini kamayishiga sabab bo'lmoqda. Buning asosiy sababi bir xil kuchlanishli AKBlarini vaqt o'tishi bilan to'la zaryadlanish kuchlanishining o'zgarib borishi va bu holatda zaryadsizlanish tokining har xil bo'lishi AKBlarning zaryadlanish darajasining pasayishiga va zaryadsizlanish chuqurligi ko'rsatkichining oshishishiga olib keladi.

Hozirgi kunda energiyadan foydalanish juda keskin o'sib bormoqda. Quvvati 2 *MVt* gacha bo'lgan katta quvvatli tayanch nimstansiyalar mavjud bo'lib, ulardagi akkumulyatorlar soni 1000 dan ortib ketadi. Ekspluatasiya tajribasi shuni ko'rsatadiki akkumulyatorlarning texnik xususiyatlari, bir-biridan farq qiladi bu esa umumiy samaradorlikga salbiy ta'sir qiladi (sig'imining kamayishiga, uzoq muddat ishlashining pasayishiga va boshqalarga). Shuning uchun ham AKB larning diognostika qilish, muvozanatlashuvni ta'minlash va nazorat tizimini takomillashtirish dolzarb hisoblanadi [5, 6].

Nazorat tizimi, muvozanatlashuv shartlari va diagnostika tizimlarini hozirgi vaqtda siklli zaryadlanuvchi batareyalarda mavjud tizimlarning zaruriy qismi hisoblanadi. Bunday rivojlanishning asosiy yo'nalishlari AKB tizimlarining massa o'lchov ko'rsatkichlarini kamaytirish, AKBlarni boshqarishning yanada samarali algoritmlarini ishlab chiqish, energiya sarfini kamaytirish va batareyalarni qizishini oldini olishga qaratilgan. Guruhli batareyalardan foydalanishning muammolaridan biri bu batareyalarda kuchlanish muvozanatlashuvining bo'lmasligidir [7].

Kuchlanish muvozanatlashuvning buzulishi bu – turli xil faktorlar ta'sirida AKBlarning kontaktlaridagi kuchlanishning farqlarini oshib ketishi hisoblanadi. Maqolada katta sig'imli AKBlarning muvozanatlashuvi ko'rib chiqilgan. *1-rasmda* nominal kuchlanishi 2 *V* dan bo'lgan OpzV 16-2000 markali GEL texnologiyali 6 ta akumulyatorli ta'minlash manbayini ketma-ket holatda, muvozantlashuv va nomuvozanatlashuv sharoitidagi zaryadlanish va zaryadsizlanish jarayonini tuziladi. OpzV 16 -2000 markali akkmulyatorlarining ishlash mudati 20 yilgacha hisoblanadi. Ushbu markali batareyalarni parametrlari bo'yicha Matlab/Simulinkda sxemasi qurilib, ularning zaryadlanish va zaryadsizlanishdagi har bir elementining kuchlanish o'zgarishlarini o'lchov qurilmalari yordamida kuchlanish va tok qiymatlari nazorati amalga oshiriladi [8].

Nomuvozantlashuvning sabablari turlicha hisoblanib AKBlar elementlarining quyida keltirilgan texnik xususiyatlariga bog'liq bo'ladi:

Elementlarning elektr sig'imiga. Bir partiyadagi, bir xil markali akkumulyator sig'imlari ham farqli bo'ladi. Yangi akkumulyatorlar uchun ham sig'imlari nominalidan 5% gacha farq qiladi.

Sizish toki. Sizib o'tish tokining kattaligi barcha akkumulyatorlar uchun bir xil hisoblanmaydi.

Akkumlayator elementlarining qarshiliklari.

Bundan tashqari tashqi faktorlar ta'sirida ham farqlar yuzaga keladi:

Elemantlardagi haroratlar farqi. Batreya ichidagi harorat atrof muxit haroratiga va ishlash vaqtidagi quvvat sochilishiga bog'liq bo'ladi.

Zavod tomonidan defekt bo'lishi. Elektrodlarni tayyorlashdagi, chiqishlardagi, elektrolit sifatida ham bo'ladigan defektlar kiradi.

Eskirish jarayoni. Har bir elementda degredatsiya jarayoni turlicha tezikda ro'y beradi. Bu sabab bo'yicha yangi va eski akkumulyatorlardan birgalikda foydalanish tavsiya etilmaydi [9].

Dastlab yangi holatda *1-rasmda* AKBlarining ketma-ket ulanganda ularning har birida nominal kuchlanishi 2 *V*dan bo'lgan batarreyalarda to'la zaryadlangandagi kuchlanishlar ko'rsatilgan.

Umumuiy batareyalardagi kuchlanish $2 \cdot 6 = 12$ ni tashkil etadi. 5 yil ekspluatatsiya vaqtlaridan so'ng batareyalardagi kuchlanishlarda o'zgarishlar bo'ladi. Ya'ni uzoq muddatli ekspluatatsiya davridan so'ng akkumulyatorlardagi umumiy kuchlanishi 12 *V* bo'lgan bir xil bo'lmagan kuchlanishlarni hosil qiladi. Bunda birinchi batareya 2,52 *V* katta kuchlanishda (OpzV 16-2000 batareyasi uchun maksimal kuchlanish 2,4 Vni tashki qiladi). Bu akkumulyator ichki tuzulishini buzishga olib keladi. Beshinchi batareyada kuchlanish 1,59 *V* (*OpzV* 16-2000 batareyasi uchun minimal kuchlanish 1,6 V tashkil qiladi). Bu akkumulyator batareyasi ichida degredatsiya jarayonini yuzaga keltiradi ya'ni resurs va sig'imni pasayishiga olib keladi. Qolgan akkmulyatorlarda kuchlanish ishchi kuchlanish sohasi oralig'iga tushadi. Amma ularda ham kuchlanishlar farqi 0,1 *V*dan yuqori hisoblanadi va bu ham elementlarning resurslar holatini nohush holatlarga olib keladi.

Metodlar:

Akkumulyator batareyalaridagi kuchlanishni muvozanatlashuvini ta'minlashning 2 ta yo'nalsishi mavjud:

– passiv muvozanat. Ballast yuklamada orticha energiyani sochilishiga bog'liq bo'ladi. Oddiy amalga oshiriladi, lekin energiya samarador emas, batareya asosiy bo'lgan qurilmalarda masalan mobil qurilmalarida o'ta muhim hisoblanadi;

– faol muvozanat. Batareyalar orasidagi energiyani qayta taqsimlashdan iborat. Ushbu usul energiya samarador, ammo uni amalga oshirish ko'proq mehnat va mablag' talab etadi.

Passiv muvozanat. Birinchi yaratilgan usul bo'lib zaryadlanish vaqtida samarali, barcha akkumulyatorlarni bir xilda zaryalashimkoniyatini beradi.

Passiv usulda muvozanatlovhi tok bo'yicha chegara mavjud bo'lib bu tok oshib ketadigan bo'lsa muvozantlovchi rezitorda qizish oshadi va rezistorni kattalashtirish zarur va issiqlikni chiqarish uchun radiator o‘rnatilishi kerak. Past muvozanatlash tokida esa o‘z navbatida past zaryadlash tokini talab qiladi, shuning uchun zaryad oxirida muvozanatlashni yoqish kerak bo‘ladi aks holda zaryad toki kamayib ketadi. Passiv metoddan foydalanish zaryadsizlanishda ishlatilmagani ma’qul, bu batareya sig‘imini pasayishiga va kuchli issiqlik ajralishiga olib keladi.

Afzalliklari: amalga oshirishning oddiyligi.

Kamchiliklari: energiyadan foydalanishning samarasizligi; issiqlik ajralishi; muvozanat toklarining chegaralangani uchun muvozanatlash tezligining pastligi; faqat to‘liq zaryadanish siklida optimal muvozanatlash mumkinligi.

Faol muvozanatlash. Passiv muvozanatlash rivojlanishi uning kamchiliklarini yuzaga chiqara bordi va undanda samaraliroq muvozanatlash usullarini yaratish bo‘yicha savollar paydo bo‘la boshladi. Bu usul faol muvozanatlash edi.

Sig‘im ostida quvvatni to‘g‘ri tanlash tez muvozanatlash, teng va tez zaryadlash, barcha akkumulyatorlarda bir xil kuchlanishni ta’minlash hamda kuchsizroq akkumulyatorni zaryadlash tokini cheklash kerak bo‘lmaydi va bu elementlardagi zaryadlash tezligini tenglashtirish imkoniyatiga ega bo‘ladi. Ammo bir qancha yaxshi tomonlariga qaramay uni amalga oshirishda chuqur yondashuvni va murakkab tizimni talab etadi.

Energiyani “taqsimlash”ni amalga oshirish uchun bir nechta variantlar bor:

– ko‘proq zaryadlangan batareyadan boshqa batareyaga;

– batareyadan kamroq zaryadlangan batareyaga;

– eng katta zaryadga ega bo‘lgan batareyadan eng kichik zaryadga ega bo‘lgan batareyaga.

O‘zgarmas kuchlanish ko‘rsatkichini o‘lchash uchun DC/DC o‘zgartirgichi qo‘llaniladi va *a* va *c* sxemalar uchun kuchlanishning ko‘tarilib ketishidan samarali hisoblanadi.

Agar elementlarning kichik qismi kichik sig‘imga ega bo‘lsa, *a* sxema yaxshi ishlaydi, teskarisi elementlarning ko‘p qismi katta sig‘imli elementlarga ega bo‘lsa unda *b* sxema yaxshi unumdorlik ko‘rsatadi. *C* sxema elementlarning sig‘imiga bog‘liq emas balki bu sxema *a* va *b* sxemalar rejimlarini funksiyalashtiradi [10].

Energiya alamshinuvuni ta’minlash sxemalarini ko‘rinishi quyidagi *3-rasmda a, b, c* sxemalarda mavjud.

Istiqbolli loyihalardan biri Texas Instruments Power Pump tizimidir – bu faol muvozanat tizimi bo‘lib, unda energiya ikki qo‘shni akkumulyator o‘rtasida induktiv element orqali uzatiladi. Akkumulyatorlardagi kuchlanish va ularning zaryad darajasini o‘lchashlarni boshqarish mikrokontroller bilan amalga oshiriladi.

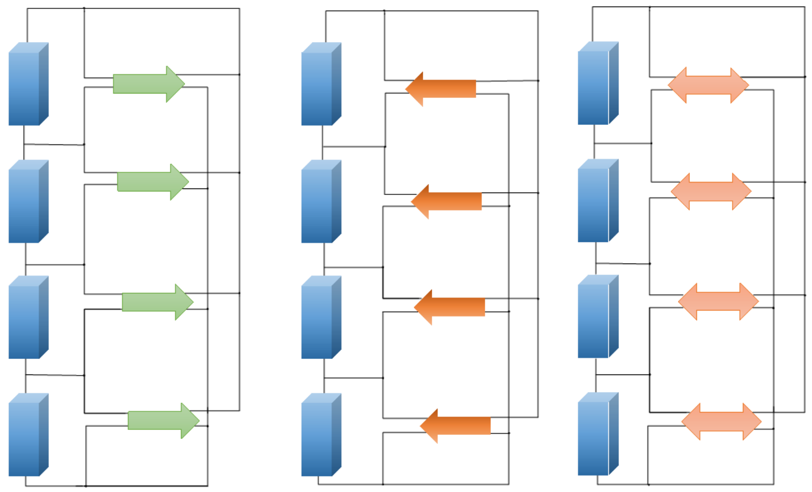
Passiv va faol muvozanatlash usullarni birlashtirish varianti ham mavjud, bu yerda batareyalar passiv muvozanatli bloklarga birlashtiriladi va ular orasida bloklar faol tizim orqali muvozanatlanadi.

Ushbu usul yuqori sig‘imli ko‘p sonli elementlarga ega tizimlar uchun qulaydir. Yuqori sig‘imli akkumulyatorlar uchun ushbu uslni qo‘llash yuqori samara beradi.

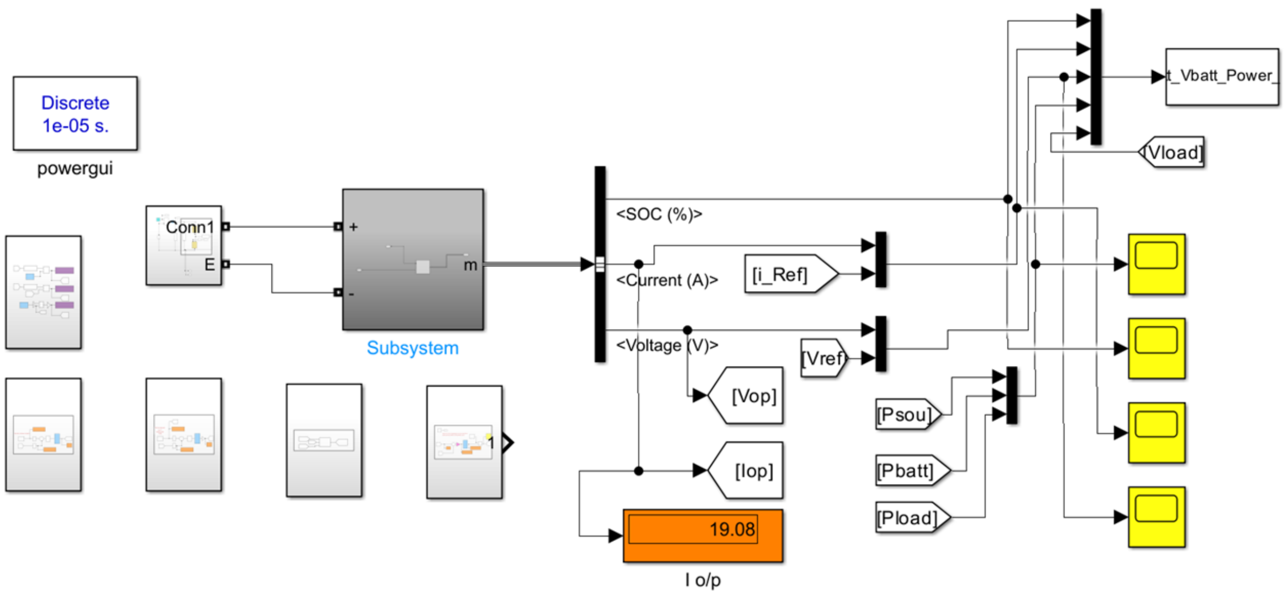
4-rasmda akkumulyator batareyalarini Matlab/Simulinkda ketma-ket ulab faol muvozanatlash sxemasi hosil qilingan [11].

Nomuvozanatlashuv vaqtida zaryadlanish tokining keskin ko‘tarilishi hosib bo‘ladi bu esa akkumulyator batareyalarida moddiy tanqislikni yuzaga keltiradi.

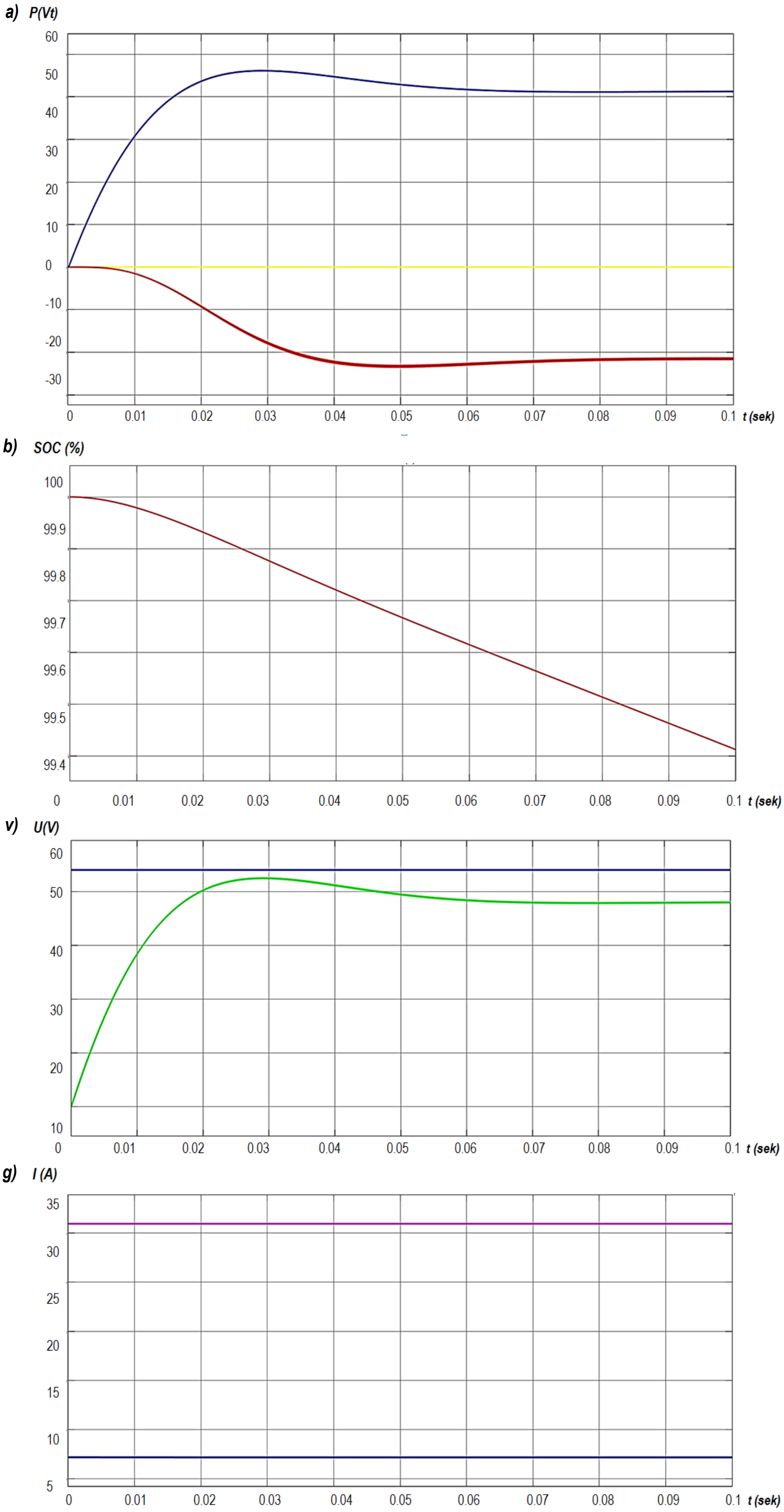
Uni optimallashtirish uchun akkumulyatorlarda kuchlanish muvozanatini hosil qilinishi ta’minlanadi.



3-rasm. Energiyani «tortish» variantlari



4-rasm. AKBlarning nomuvozanatlashuv sharoitida zaryadlanish va zaryadsizlanishining parametrlarni aniqlash uchun Matlab/Simulink sxemasi



5-rasm. Olingan natijalar: *a – manba, batareya, yuklamaning quvvatlari; b – AKBlarning zaryadlanish darajasi; v – AKBlarning zaryadlanish va zaryadsizlanish kuchlanishlari; g – AKBlarning zaryadlanish va zaryadsizlanish toklari*

Bunda passiv va faol usullarni birgalikda qo'llaniladi.

Passiv usulda yuqori sig'imli AKBlarda potensiallar ortiqchasi aniqlanadi va bu orqali faol usul orqali ulardagi kuchlanish *3-rasmdagi c* variant orqali amalga oshiriladi [12, 13].

Matlab/Simulink dasturi yordamida guruhli AKBlarning o'zgarmas tokli o'zgartirgich AKBlarning zaryadlanish va zaryadsizlanish toklari AKBlarning zaryadlanish darajalari, AKBlarning zaryadlanish va zaryadsizlanish kuchlanishlari, Manba, batareya, yuklamaning quvvatlarini nazorat qilish imkoniyatini yaratuvchi faol muvozanatlash elektr sxemasi yig'ildi. Bu sxemada kuchlanshini muvozanatlash orqali batareya holatni nazorat qilish imkonini beradi. Tizim osti elementlari yordamida o'zgarmas kuchlanish manbayidan so'ng kuchlanshni boshqarish va akkumulyatorlar batareyasi toklarni hosil qilish uchun IGBT tranzistorli ikki tomonlama o'zgartirish sxemasidan foydalanib zaryadlash va zaryadsizlantirish kuchlanishlarini joriy holatini nazorat qilish, shu bilan bilan rejim turiga bog'liq holda manbaning, batareyaning, iste'molchining quvvatlarini nazorat qilish imkoniyatir mavjud.

Tajribani tahlil qilib, aniqlik va ko'p qirralilikni ta'minlash uchun batareyani modellashtirishni simulyatsiyalash uchun standart elektrotexnik paketlaridan almashtirish sxemalari yordamida amalga oshirish maqsadga muvofiqdir degan xulosaga kelishimiz mumkin. Fizik yetarlilik tamoyillariga asoslanib, almashtirish modelini kuchlanish manbadan foydalanmasdan tuzish afzalroqdir, lekin faqat undagi minimal va maksimal kuchlanishni cheklaydigan sig'im va boshqa tashkil etuvchilar, shuningdek zaryadlanish vaqtida o'ta kuchlanishni va zanjirdagi batareyaning boshqa xususiyatlarini immitatsiya qilinadi. Qurilgan sxema asosida quyidagi natijalarni olamiz.

Olingan natijalar asosida shuni aytish mumkinki nomuvozatlashuv sharoitida zaryadlanish toki nochiziqli xarakterga ega bo'ladi. Bunda akkumulyatorlarni uzib, ulash uning ish holatiga salbiy ta'sir o'tkazadi. Zaryadlanish darajasining o'zgarishi chiziqli ravishda kamaya boradi. Zaryadlanish va zaryadsizlanish kuchlanishlari bir-biridan keskin farqlanishi mumkin emas. Bunda akkumulyatorning zaryadlanish tezligi sig'imning 80% miqdorigacha bo'ladi lekin undan keyin akkumulyatorda material tanqisligini hosil qila boshlaydi. Manba yuklamasidagi quvvat bir xilda o'zgarsada iste'molchi va batareyada quvvat vaqtning dastlabki holatida sakrab o'tish orqali kechayapti. Bunda quvvat sochilishi nomuvozantalashuv jarayonining o'tish vaqti bog'liq bo'ladi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki hozirgi kunda batareyalarni nazorat qilish, undagi muvozanatni ta’minlash dolzarb va ko‘p yo‘nalishlarda tadqiqotlarni olib borishni talab etadi.

Nomuvozantlashuvga ta’sir etuvchi omillarni aniqlash ularni bartaraf etish, batareya nazorat tizimini qayta ishlab chiqish AKBlarning xususiy tizimlarini yaxshilashga xizmat qiladi.

Passiv muvozanatlash hozirgi kunda o‘zing mohiyatini yo‘qotgan va istiqbolga ega emas.

Ammo faol usulni kelajakda yanada rivojlantirish orqali AKBlarning ekspluatatsiya xususiyatlarini oshirish va energiyani iqtisod qilish imkoniyatini yaratadi.

Faol usulni afzalliklari quyidagilardan iborat:

– muvozanatlash orqali akkumulyatorda enegiyani tejash;
– teng miqdorda zaryadlanish xususiyati;
– batareyalarning xizmat muddatini oshirish.

Shu bilan birga faol usulning ham kamchliklari mavjud bular quyidagilar:

– tuzulishning murakkabligi;
– passiv usulga nisbatana qimmat bo‘lishi;
– bazi holatlarda optimal bo‘la olmasligi.

Faol muvozanatlash tizimini yanada takomillashtirish bilan quyidagilarga erishish mumkin:

– tizimning eng maqbul tuzulishini aniqlash (zaryadlash qurilmasi bilan birgalikda);
– turli xil ish sharoitlarida har xil holatlarni testlash.

Bibliografik ro‘yxat:

1. Лагутина Е.И. Математическая модель функционирования системы разогрева аккумуляторной батареи с помощью химического нагревательного элемента // Технические науки. – № 4. – Россия: Тула, 2016. – С. 105-111.

2. Рыкованов А.С. Активные и пассивные системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Силовая электроника. № 3. – М.: «Компоненты и технологии». 2014. – С.121-124.

3. Смоленцев Н.И. Накопители энергии в локальных электрических сетях // Ползуновский вестник. – № 4. – М.: «Электрика». 2013. – С. 176-181.

4. Ataullaev N.O., Dziaruhina E.A., Murodov Kh.Sh. Static Characteristics of Magnetic Modulation DC Converters with Analog Filter. // International Международный научно-технический журнал. – № 5. – Белорусия: «Наука и техника», 2023. – С. 428-433.

5. Бухаров А.И., Емельянов А.А., Суднов В.П. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей. // Справочник. – № 1. – М.: «Электромеханикам», 1988. – 288 с.

6. Qarshibaev A.I., Narzullaev B.Sh., Murodov H.Sh. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises. // Физический журнал. – № 1. – Красноярск: «Прикладная физика». Том. 1679., 2020. – С. 1-6. doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022074.

7. Turdibekov K.X., Sulliev A.X., Iskandarova O.S., Boboqulov J.S. Experimental and statistical methods for studying the modes of electric power systems under conditions of uncertainty // «E3S Web of Conferences». № 1. – Vol. 452, EDP Sciences, 2023, pp.1-6.

8. Tatkeyeva G., Kurabayev I., Ataullaev N., Murodov X. Experimental research of the developed method to determine the network insulation for ungrounded AC systems in laboratory conditions // Международная конференция по электротехнике. «Компьютерные и энергетические технологии». – № 3. – Белоруссия, июль, 2022. – С. 1-4.

10. Dobrego K.V., Bladyko Y.V. Modeling Battery Connections in the Electronic Lab. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений стран СНГ // «Энергетика». – № 1. – Белоруссия, 2021. – С. 27-39. https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-5-381-392.

11. Murodov Kh.Sh., Karshibayev A.I. Development of the management system of technical indications of high-power charger-discharger rectifier device. // «E3S Web of Conferences». – № 1. – Vol. 417, EDP Sciences, 2023, pp. 1-6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703012.

12. Ufert M., Baker B. Battery Ageing as Part of the System Design of Battery Electric Urban Bus Fleets // «Наука и техника». – № 19 (1). – Белоруссия: Белорусский национальный технический университет, 2020. – С. 12-19. https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-1-12-19.

13. Murodov X.SH., Qarshibayev A.I., Boboqulov J.S. Elektr energiyasini yig‘uvchi elektr kimyoviy moslamalarni qutblash tashkil etuvchisi qiymatini hisoblash dasturi. – T.: «O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi», DGU 30084. 2023. – 1 b.

UO‘K 621.314 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.022

ELEKTR ENERGIYASINING SIFATINI OSHIRISHDA REAKTIV QUVVAT MANBALARINING O‘RNINI BAHOLASH


Tovboyev A.N.,
NDKTU «Energetika» kafedrasi dotsenti, t.f.n

Tog‘ayev I.B.,
NDKTU «Elektr energetikasi» kafedrasi assistenti

Ushbu maqolada reaktiv quvvat manbalarini joriy etishdan oldin va keyin tarmoqdagi quvvat yo‘qotishlarini hisoblash, elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlarni o‘rganish va qiyosiy tahlil qilish amalga oshirildi. Shuningdek, amalga oshirilgan loyihaning samaradorligi tahlil qilindi. Yangi reaktiv quvvat manbalarining tadbiq etilishi, elektrotexnikaning kompleks xisoblashlarini modernizasiya qilishni, korxonalarga tadbiq etish darajasini, elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlarini hamda asosiy qabul qilingan, olingan natijalar bilan taqqoslash imkoniyatlarini beradi. Elektr energiyasining sifatini oshirishda bir qator holat va parametrlar mavjud bo‘lib, ularning ichida reaktiv quvvat manbalarining o‘rni va imkoniyatlari baholanadi.

Tayanch iboralar: *reaktiv quvvat kompensatsiyasi, statik kondensatorlar, avtomatik boshqaruv tizimi, elektr energiyasining sifat ko‘rsatkichlari, reaktiv quvvat manbalari, kuchlanishni rostlash, elektromagnit qism.*

В данной статье проведён расчёт потерь мощности в сети до и после внедрения источников реактивной мощности, проведено исследование показателей качества электроэнергии, а так же проведён сравнительный анализ. Также была проанализирована эффективность реализованного проекта. Внедрение новых источников реактивной мощности даёт возможность модернизировать сложные расчеты электротехники, сравнить уровень применения на предприятиях, показатели качества электроэнергии с основными принятыми и полученными результатами. Существует ряд условий и параметров повышения качества электрической энергии, дана оценка роли и возможности источников реактивной мощности.

Ключевые слова: *компенсация реактивной мощности, статические конденсаторы, система автоматического регулирования, показатели качества электроэнергии, источники реактивной мощности, регулировка напряжения, электромагнитная часть.*

Reaktiv quvvat manbalari umumiy qilib aytganda, katta kuchlanishli nimstansiyalarning shinalaridagi kuchlanishni tarmoqqa ulanish joyida reaktiv quvvatni o‘zgartirish orqali tartibga solish mumkin. Elektr energiyasi iste’molchilarining quvvatini inobatga olgan holda, 100 *MVar* gacha bo‘lgan reaktiv quvvat iste‘moli reaktiv quvvat manbalarining, 220 *kV* kuchlanishli elektromagnit qismi tomonidan, ishlab chiqarish esa, 100 *MVar* quvvatga ega 220 *kV* kuchlanishli statik kondensator batareyasi tomonidan amalga oshiriladi. Hozirgi vaqtda elektr energiyasi iste’molchilarini sifatli, uzluksiz, hamda ishonchli elektr energiyasi bilan ta’minlash masalalari asosiy ahamiyat kasb etmoqda. Shuningdek, ushbu maqolada reaktiv quvvat manbalari yordamida kuchlanishni tartibga solish va iste’molchilarga sifatli elektr energiyasi yetkazib berish holat va parametrlari ko‘rib chiqilib, reaktiv quvvat manbalari o’rnatilgandan keyingi elektr energiyasining sifatini oshishini ko‘rishimiz mumkin [1]. 220 *kV* kuchlanishli shinalarda kuchlanishni tartibga solish reaktiv quvvat manbalarining avtomatik boshqaruv tizimi tomonidan elektromagnit qismda quvvat sarfini muammolarsiz o‘zgartirish orqali avtomatik rejimda amalga oshiriladi.

1-jadval

Reaktiv quvvat manbalarining asosiy texnik xarakteristikasi va parametrlari

Nominal chastota, *Hz*	50
Nominal kuchlanish, *kV*	242
Ruxsat etilgan ishlash kuchlanishi, *kV*	252
Nominal kuchlanishda reaktiv quvvat manbalarining nominal quvvati, *Mvar*	100
5% dan 100% gacha reaktiv quvvat manbalarining yig‘ilish quvvat vaqti, *s*	0,3
Kuchlanish diapazoning o‘zgarishi bo‘yicha, *kV*	210....252
Quvvat diapazoning o‘zgarishi bo‘yicha, *Mvar*	-100...+100

Reaktiv quvvat manbalari tarkibida statik kondensator batareyasi mavjudligi, ularning kompensatsiya qobiliyatidan foydalanishga imkon beradi. Qo‘shimcha qilib aytganda, reaktiv quvvat manbalari nafaqat reaktiv quvvatni iste’mol qilishni, balki uni statik kondensator batareyasi orqali ishlab chiqarishni ham ta’minlay oladi.

Elektromagnit qism reaktiv quvvat tarmog‘idan iste’mol qilish uchun mo‘ljallangan. Elektromagnit qismi bilan tarmoq cho‘lg‘amlari 220 *kV* kuchlanishli tarmoqqa ulanadi. Magnit tizimning to‘yinganlik darajasiga qarab, iste’mol qilingan reaktiv quvvat miqdori kam bo‘lishidan boshlab, ortib borishdagi nominal quvvatgacha silliq o‘zgarishi mumkin. Statik kondensator batareyasi 100 *MVar* 220 *kV* reaktiv quvvat manbalari tarkibida ishlash uchun mo'ljallangan. Kondensator batareyalari tok cheklovchi reaktorlar orqali 1,0 mg qiymati bilan ulanadi. Statik kondensator batareyasi 220 *kV* tarmoqqa reaktiv quvvat ishlab chiqarishga imkon beradi va reaktiv quvvat manbalari bilan birgalikda 220 *kV* tarmoqdagi kuchlanishni barqarorlashtirishni ta’minlaydi [2]. Statik kondensator batareya qurilmasi va uning ishlashi yuqori kuchlanishli kondensator, tayanch izolyator, tok cheklovchi reaktor, tok transformatori, alyuminiy simli shina va misli kabeldan iborat bo‘lib, u kuch kondensator guruhlaridan, po‘lat qismlardan yig‘ilgan va yopiq izolyatorlarda umumiy ramkaga o‘rnatiladi. Reaktiv quvvat manbalarining asosiy texnik xarakteristikasi quyidagi *1-jadvalda* keltirilgan.

So‘nggi paytlarda rivojlangan mamlakatlarda elektr energetikasining rivojlanishi energiya tizimlarining samaradorligini yanada oshirish, tarmoq ob’yektlarini qurish va ulardan foydalanish xarajatla-rini kamaytirish, elektr ta’minotining ishonchliligini oshirish uchun eng yangi texnologiya-larni intensiv izlash bilan tavsiflanadi. An’anaviy texnologiyalar ko‘p hollarda o‘zini qoniqtiradi, va tizimni yanada muvaffaqiyatli rivojlantirish uchun faqat zamonaviy texnologik vositalar, qurilmalar va tizimlar majmuasidan foydalangan holda eng yangi texnik yechimlar asosida amalga oshirilishi mumkin ekanligini ko‘rsatadi. Elektr energiyasini uzatish va taqsimlash usullarini takomillashtirish, tizimning ish rejimlarini boshqarish, qurilish va ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish dolzarb vazifadir [3]. Hozirgi vaqtda ishlatiladigan elektr uzatish tizimlari har doim ham zarur talablarga javob bermasligi, asosan quvvatning yetarli emasligi, nomukammal boshqaruv tizimlarining mustaqil emasligi, umumiy xarajatlar va moddiy ekologik ta’sirlar tufayli ekanligini ko‘rsatadi. So‘nggi yillarda amalga oshirilgan bir qator ishlarda energiya tizimlarini shakllantirish uchun elektr tarmoqlarini qurishda eng samarali elektr uzatish liniyalaridan foydalangan holda, kam xarajatli havo liniyalari asosida, ishlab chiqarilgan yangi turdagi qurilmalardan foydalanish darajasining muhimliligi ko‘rsatildi va eng yangi tartibga solish vositalari ko‘rinishida ishlab chiqarilishi ko‘zda tutilmoqda. Bunday elektr uzatish liniyalari yangi avlod energetikasining kichik boshqariladigan elektr uzatish liniyalari deb ataladi. Ushbu elektr uzatish liniyalarining quvvatini oshirish xususiyatlari ularning yangi qulay loyixalari va boshqarish qobiliyati – zamonaviy boshqaruv qurilmalaridan foydalanish tufayli qo‘lga kiritildi. Reaktiv quvvatni teng taqsimlash hamda kuchlanish rejimlarini bir foizga yaxshilash tufayli energiya tizimlarida elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirish katta moliyaviy resurslarni tejaydi. Havo elektr uzatish liniyalar bo‘ylab reaktiv quvvatni taqsimlashning o‘zgarishi tufayli elektr tarmog‘ining ish rejimining parametrlarini sezilarli darajada optimallashtirish va takomillashtirish mavjud (kuchlanish qiymatlari oshadi, liniyalardagi tok kuchi kamayadi). Elektr energiyasi sifati har qanday elektr tarmog‘ida, ayniqsa elektr energiyasi iste’molchilari uchun juda muhimdir. Elektr energiyasining sifati quvvat manbaining mavjudligini, kuchlanishning chastotasi va kattaligini, shuningdek quvvat manbai shaklining xususiyatlarini o‘z ichiga oladi. Quvvat manbai kuchlanish va chastotaning maqbul, barqaror qiymatlarida doimiy bo‘lsa, quvvat sifatli deb ta’riflanadi va tekis sinuoidal grafik shakliga ega bo‘ladi [4]. Yuqoridagi barcha kompensatsiyalovchi vositalar *2-jadvalda* keltirilgan. Elektr energiyasi sifati bilan bog‘liq muammolarning oqibatlari samarasizlik, haddan tashqari issiqlik va uskunaning xizmat qilish muddatini qisqartirish, ma’lumotlar yo‘qolishi, jarayonning uzilishi, izolyatsiyaning buzilishiga bog‘liq. Sabablarni to‘liq bartaraf etishning iloji bo‘lmasa-da, elektr ta’minotining sifati yaxshilanishi mumkin va elektr ta’minotidagi qolgan ta’sirni yumshatish mumkin.

Elektr energiyasi sifatini yaxshilaydigan qurilmalardan foydalanish, garmonikani blokirovka qilish uchun filtrdan foydalanish demakdir. Kuchlanish va reaktiv quvvatni kuzatilish tizimining ishonchli ishlashini ta’minlash uchun quyidagi maqsadlarni belgilash kerak:

– kuchlanish tizimidagi barcha uskunalarning barcha ko‘rsatkichlarida qabul qilinadigan chegaralardan pasaymasligi;

– ishlab chiqarishni yaxshilash uchun tizimning barqarorligini oshirish;

– aktiv va reaktiv quvvat yo‘qotishlarini kamaytirish uchun reaktiv quvvat oqimi minimallashtirish.

2-jadval

Kompensatsiyalovchi qurilmalarning texnik xarakteristikasi

Qurilma turi	Statik tiristorli kompensatsiya	Boshqariladigan shunktli reaktor transformator	Boshqariladigan shunktli magnitlangan reaktor
Statik rejimlarda harakat vaqti, ms	30-100	30-100	1000-3000
O‘tish rejimlarda harakat vaqti, ms	5-10	5-10	200-300
Kunlik kuchlanishni tartibga solish	mavjud	mavjud	mavjud
Aktiv quvvatning tebranishlari	mavjud	mavjud	cheklangan
Fazalar bo‘yicha tartibga solish imkoniyatlari	mavjud	cheklangan	mavjud
Kommutatsiya o‘ta kuchlanishlarining pasayishi	mavjud	mavjud	cheklangan
Elektromagnit qismning tuzilishi	mavjud emas	oddiy	murakkab
Elektromagnit qismning tebranishi va shovqin darajasi	mavjud emas	past	yuqori
Aktiv quvvat isrofi	1,0	0,4…0,6+0,2	0,4…0,6

3-jadval

Statik kondensator batareyalarining umumiy xarakteristika ma’lumotlari

Nominal kuchlanish 220 *kV* bo‘lganda umumiy nominala quvvati, *Mvar*	100
Nominal kuchlanish, *kV*	220
Ruxsat etilgan nominala ishlash kuchlanishi, *kV*	252
Aniq ko‘rsatilgan tok qiymati, *A*	262
Nominal chastota, *Hz*	50
Kondensatordagi isroflar *Vt/kvar*	0.2
Tok cheklovchi reaktorning nominal toki, *A*	400
Tok cheklovchi reaktorning nominal induktivligi, *mGn*	1.0
Tashqi muhit temperaturasi, *ºC* – maksimal	+50
– minimal	-30

O‘zgaruvchan tokni uzatishda qovushqoqlik tizimi - bu tizim o‘zgaruvchan tokni uzatish uchun foydalaniladi. Bunday elektr ta’minoti tizimlarida rivojlangan elektronika vositalari qo‘llaniladi.Yuqoridagilarga asoslanib boshqaruvni oshirish va o‘tkazuvchanlikni yaxshilash uchun quvvat uzatish tizimining bir yoki bir nechta parametrlarini boshqarishni ta’minlaydigan rivojlangan elektronikaga va boshqa elementlarga asoslangan tizim. O‘zgaruvchan tokni uzatishda qovushqoqlik tizimi - elektr ta’minoti tizimlarining ishonchliligini oshirish va elektr energiyasini uzatish vaqtida yo‘qotishlarni kamaytirish vazifalarini bajaradi. Bu transpartirovkani sifatini yaxshilaydi va tizimga induktiv yoki reaktiv energiyani ishlab chiqarish orqali, energiya uzatish samaradorligini oshiradi. Shu bilan bir qatorda shunt sifatini oshirishda, kompensatsiya qilishda, ta’minlash tizimida, o‘zgaruvchan tokni uzatishda qovushqoqlik tizimi ishga tushiriladi. U xuddi boshqaruvchi manba sifatida ishlaydi va boshqariladigan shunt reaktori va statik kompensatorlarning batareyalarini, o‘zgaruvchan tokni uzatishda qovushqoqlik tizimi qurilmalarning bir turi sifatida foydalaniladi. Magnitlanish bilan boshqariladigan shunt reaktori bo‘ylama magnitlanishning boshqariladigan reaktori yo‘nalishdagi doimiy magnit oqimi ishlaydigan o‘zgaruvchan magnit oqimga to‘g‘ri keladi [5]. Shunt reaktorlari asosan kam yuklama va yuklamaning buzilishida reaktiv quvvatni iste’mol qilish orqali kuchlanishni oshirish, shuningdek liniyaning sig‘imli yuklanishini o‘rnini to‘ldirish uchun ishlatiladi. Amaldagi boshqariladigan shunt reaktori elektromagnit qismni konstruktiv bajarish usulida farq qiladi. 500 *kV* kuchlanishli nimstansiyalarda bir fazali va uch fazali boshqariladigan shunt reaktoridan foydalanadi. Bunday boshqariladigan shunt reaktori loyixada farq qilmaydi va uch fazali zanjirlarda loyixaga qo‘shimcha zaxira transformator qo‘shiladi. Bir fazali boshqariladigan shunt reaktoridan foydalanish o‘zining afzalliklari va kamchiliklariga ega. Afzalliklariga qo‘shimcha bir fazali boshqariladigan shunt reaktorini zaxirada saqlash qobiliyati kiradi, bu har qanday muvaffaqiyatsiz bir fazali boshqariladigan shunt reaktorini tezda almashtirishi mumkin. Bir fazali boshqariladigan shunt reaktorlarining kamchiliklari orasida ularni o‘rnatish uchun muhim maydon ajratish zarurati va undan yuqori narx talab qiladi. Boshqariladigan shunt reaktori tipidagi boshqariladigan reaktorlar magnitlanish usuli, loyixasi, magnitlanish rejimlari va qurilmaning o'zi tomonidan ishlab chiqarilgan oqimning yuqori garmonikalarini kompensatsiya qilish bilan farq qiladi.

Reaktor pastki tuzilishining uchta asosiy turi mavjud: bo'ylama, ko'ndalang va halqali. Bo'ylama, ko'ndalang va halqali magnitlanish holatida kuchli reaktorlarda magnit yadrolari mavjud bo'lib, ular ham tekis, ham fazoviy yoki nosimmetrik bo'lishi mumkin. Halqa magnitlanish reaktorlari tizimli ravishda tormozlangan rotorli elektr mashinasiga o'xshaydi. Reaktorlardan tarmoqqa chiqadigan yuqori garmonikalar darajasini cheklash uchun filtrlardan tashqari, maxsus ulanish sxemalari, magnit zanjirlarni ajratish, maxsus magnitlanish rejimlari, ishlaydigan magnit oqim yo'lidagi magnit bo'lmagan bo'shliqlar va boshqalar ishlatiladi.

Birlashtirilgan quvvat oqimi regulyatorlari va boshqa qurilmalarda o'zgaruvchan tokni uzatishda qovushqoqlik tizimi quyidagilardan iborat: parallel ulangan transformatorlarni taqsimlash; elektr uzatish liniyalarini o'chirish; yuklamani o'chirish;

Sinxron kompensatorlar. Har bir sinxron mashina (dvigatel yoki generator) sinxron generatorlar bilan bir xil reaktiv quvvat qobiliyatiga ega. Faqat reaktiv energiya uchun mo'ljallangan sinxron mashinalar sinxron kompensatorlar deyiladi. Sinxron kompensatorlar qolgan elektr stansiyasini (masalan, yonilg'i quyish uskunalari va qozonlarni) qurish zaruratisiz tezlik va boshqarishdagi generatorlarning barcha afzalliklariga ega. Ular harakatlanuvchi qismlar va yordamchi tizimlarga ega aylanadigan mashinalar bo'lgani uchun ular statik kondensatorlarga qaraganda sezilarli darajada ko'proq texnik xizmat ko'rsatishni talab qiladi. Shuningdek, ular mashinaning nominal reaktiv quvvatining taxminan 3% ga teng aktiv quvvatni iste'mol qiladilar.

Statik kondensator batareyalari. Statik kondensator batareyalari foydalanish hisobiga tarmoqdagi reaktiv quvvat oqimini kamaytirish 6-220 *kV* tarmoqlarda aktiv energiya yo'qotishlarining sezilarli darajada kamayishiga olib keladi, bu esa elektr uzatish liniyalari va tarmoq transformatorlari yuklamasini kamaytiradi. Asosiy va taqsimlovchi elektr tarmoqlaridagi quvvat omilining oshishi transformatorlarning quvvatini oshirmasdan, elektr uzatish liniyalarini qurish yoki modernizasiya qilmasdan, ularning quvvatini oshirish imkonini beradi.

Statik kondensator batareyalarining asosiy funksiyalari quyidagilardan iborat:

Kuchlanishni rostlash. Quvvat tizimining turli bo'limlari turli kuchlanish qiymatlari bilan tavsiflanadi. Bu birinchi navbatda yuklama va tarmoq sxemasi bilan belgilanadi. GOST 13109-97 ma'lumotlariga ko'ra, odatda nominaldan ruxsat etilgan kuchlanish og'ishi 5% dan oshmasligi kerak va maksimal ruxsat etilgan – 10% dan oshmasligi kerak. Statik kondensatorlar batareyasining asosiy elementi bo'lgan kondensator batareyasi yuklamaning reaktiv quvvatini qoplash orqali kerakli kuchlanish darajasini saqlashni ta'minlaydi [6].

Elektr energiyasi yo'qotishlarini kamaytirish. Tarmoqlarda energiya uzatishda texnologik yo'qotishlarning ulushi 8-12% ga yetishi mumkin. Elektr tarmoqlarining ish rejimlarini tahlil qilish va tizimning hisob-kitoblari asosida reaktiv quvvat bilan eng ko'p yuklangan quvvat tizimining tugunlari tanlanadi. Statik kondensatorlarning batareyalari tarmoqlarning samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Strukturaviy ravishda statik kondensatorlarning batareyasi kondensator batareya, tok cheklovchi reaktor, kommutasiya shkafi va tok o'lchash transformatorlari bilan statik kondensatorlar batareyasini himoya qilishdan iborat. Statik kondensatorlar batareyasining asosiy elementi bir fazali kosinusli kondensatorlardir. Kondensator batareyasining loyixasi bir-biriga parallel va ketma-ket ulangan avtomatik kuchlanishni tartibga soluvchi metall qismlarga joylashtirilgan yuqori kuchlanishli quvvat kondensatorlari bloklarini yig'ishdan iboratdir. Kondensator bloklari mahkamlangan izolyatorlarida bir necha darajalarda vertikal ravishda o'rnatiladi. Uch fazali batareya qoida tariqasida, neytral ish rejimiga qarab yulduz yoki uchburchak shaklida ulangan statik kondensatorlar, tok cheklovchi reaktorlar va tok transformatorlarini o'z ichiga olgan uchta bir fazali neytraldan iborat. Tok transformatorlari (har bir fazada bittadan) birlamchi o'ram orqali ikkita parallel guruhning bo'shlig'iga ulanadi va tizim muvozanati buzilgan taqdirda bosh o'chirgichini o'chirish uchun himoya qilish moslamasi va avtomatlashtirishga signal berish uchun mo'ljallangan.Tok cheklovchi reaktorlarning vazifasi statik kondensatorlarning batareyasi yoqilganda boshlang'ich tokni cheklashdir. Kondensator bankalari 5 dan 200 *Mvar* reaktiv quvvatga va 6, 10, 35, 110, 220 *kV* kuchlanishgacha bo'lgan quvvat bilan ishlab chiqarilishi mumkin. Statik kondensator batareyalarining asosiy texnik parametrlari *3-jadvalda* ko'rsatilgan.

Bessopan nimstansiyasida reaktiv quvvat manbalarini joriy etishning afzalliklarini tahlil qilish uchun elektr energiyasini uzatish vaqtida elektr energiyasining yo'qolishini hisoblash metodologiyasini ko'rib chiqamiz. Elektr energiyasini yo'qotishlarini tahlil qilish quyidagi vazifalarni hal qilish uchun amalga oshiriladi:

– elektr energiyasi yo'qotishlarini kamaytirish uchun energiya tizimi va elektr energiyasi korxonalarining zaxiralarini aniqlash va baholash;

– elektr energiyasi yo'qotilishi darajasini belgilovchi asosiy omillarni aniqlash va tartiblash;

– elektr energiyasini sarfini kamaytirish orqali energiyani rivojlantirish, ularning samaradorligi va energiyaga bo'lgan talabini aniqlash;

– iqtisodiy jihatdan elektr energiyasi yo'qotish joylarini aniqlash;

– butun va kichik bo'linmadagi elektr energiyasi tizimlarining potensiali bilan ko'rsatilgan ish natijalarini baholash;

– elektr ta'minoti tizimini va elektr tarmog'ini rivojlantirish uchun zarur bo'lgan kapital talablarini qurish va texnik xizmat ko'rsatish;

– reaktiv quvvat manbalarini o'rnatilishi ko'zda tutilgan nimstansiyaning texnik ma'lumotlari *4-jadvalda* keltirilgan.

4-jadvalda Zarafshon-Uchquduq elektr stansiyasining 220 *kV* tarmoq rejimini hisoblash natijalari ko'rsatilgan. Ma'lumotlar quyidagi parametrlar bo'yicha beriladi: liniyaningning boshida va oxirida aktiv yuklama, aktiv quvvat yo'qotishlari, liniyaning boshida va oxirida reaktiv quvvat, liniyaning shuntlangan reaktiv quvvati, liniyaning boshida va oxiridagi kuchlanish darajalari, kuchlanishning pasayishi (foiz sifatida) keltirilgan. Bessopan nimstansiyasining reaktiv quvvat manbalarini o'rnatilishidan avvalgi umumiy texnik xarakteristikalari *5-jadvalda* ko'rsatilgan.

Yuqoridagi rejimni tahlil qilganda, bu rejimda nimstansiyalarda, ayniqsa uzoq joylarda kuchlanish darajasi juda kam baholanganligini ko'rish mumkin, Feruza nimstansiyasida kuchlanish darajasi 200 *kV*, tarmoqdan aktiv quvvat yo'qolishi 42,81 *Mvt*ni tashkil etdi, bu umumiy iste'molning 8,41% ni tashkil qiladi va bu o'z navbatida elektr energiyasini uzatish uchun qo'shimcha to'lovlarni anglatadi [7].

Keyinchalik, biz Bessopanda reaktiv quvvat manbalari joriy etilgandan so'ng rejimni ko'rib chiqamiz, bunda I-V-1-X teskari tranzit liniyasi bo'ylab oqim O'zbekistonning shimoli-G'arbiy elektr uzeli tomon 68 *Mvt*ni tashkil etdi va biz 220 *kV* podstansiyalarga 397,6 *Mvt* yuklamasini iste'mol rejimidagi o'zgarishlarni aniqroq ko'rish uchun o'zgarishsiz qoldiramiz. Zarafshon-Uchquduq elektr stansiyasining 220 *kV* tarmoq rejimini hisoblash natijalari *6-jadvalda* ko'rsatilgan.

Natijalar shuni ko'rsatadiki, barcha nimstansiyalarda kuchlanish qiymatlari yaxshilandi, eng uzoq Feruza nimstansiyasida 213,6 *kV*, bu yerda kuchlanish 6,8% ga o'sdi, IES-17 dan uchta liniyadagi umumiy yuklama 3 *MVT*ga kamaydi va 220 *kV* tarmoqdan ortiq aktiv quvvat yo'qotilishi 39,53 *MVT*ni tashkil etdi, bu umumiy iste'molning 7,81% aktiv quvvat yo'qotishlari butun tarmoq bo'ylab o'rtacha 0,6% ga kamaydi va agar biz alohida liniyalarga qarasak, uzunligi 183 km bo'lgan L-Bessopan liniyasining oxiridagi kuchlanish 6,2% ga oshdi va aktiv quvvat yo'qolishi 0,5% ga kamaydi. Elektr energiyasi sifati har qanday elektr tarmog'ida, ayniqsa elektr energiyasi iste'molchilari uchun juda muhimdir. Elektr energiyasining sifati quvvat manbaining mavjudligini, kuchlanishning chastotasi va kattaligini, shuningdek quvvat manbaining signal shaklining xususiyatlarini o'z ichiga oladi [8]. Quvvat manbai maqbul, barqaror kuchlanish va chastota qiymatlarida doimiy bo'lsa, quvvat sifatli deb ta'riflanadi va tekis sinusoidal grafik shakliga ega bo‘ladi. Elektr energiyasini ishlab chiqarish nuqtasidan, yuklama markazlaridan uzoqda, talabning o‘zgarishi, ob-havo sharoiti, taqsimlash transformatorlari fazalariga muvozanatsiz yuklama bilan birgalikda foydalanish nuqtasiga uzatish uchun energiya tizimining murakkabligi iste’molchilar tomonidan va elektron uskunalardan foydalanish kabi omillar, yetkazib beriladigan elektr energiyasining sifatini pasaytirishga olib keladi [9].

Ma’lumotlarni tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, reaktiv kuvvat manbalari joriy etilgandan so‘ng tarmoqdagi aktiv quvvat yo‘qotishlari miqdori sezilarli darajada kamaydi, bu esa liniyalarning quvvatini oshirishga imkon berdi, tarmoqdagi kuchlanish darajasi o‘rtacha 5,6*%* ga oshdi. Ko‘rib chiqilayotgan davrda reaktiv quvvat sarfi tarmoqdan 57 *Mvar*ga kamaydi va aktiv quvvat yo‘qotishlari 11,1 *MVt*ga kamaydi. Bunday tejash tendensiyalari bilan iste'mol yiliga 88800,0 ming *kvt/soat* elektr energiyasini tejash mumkin. Ushbu raqamlarni kamaytirish elektr energiyasi va reaktiv quvvat uchun keraksiz ortiqcha to‘lovlardan tejashga olib keladi.

Xulosa qilib ta’kidlaymizki elektr tarmoqlari ish tartibining tahlili vaqtida mavjud elektr tarmoqlar va transformatorlarning ish rejimlarini tahlil qilish va havo elektr uzatish liniyalaridagi quvvat taxlildan o‘tkazildi. Havo elektr uzatish liniyalarida quvvatlarning mavjud parametrlari bilan tanishib matematik jihatdan asoslab berildi. Reaktiv va aktiv quvvat isrofini kamaytirishga qaratilgan chora-tadbirlarni maqsadga muvofiqligi va ularni amalga oshirishni ko‘rib chiqilib, elektr uzatish tarmoq-lariga ta’sirini kamaytirish bo‘yicha tavsiyalar berildi. Shuningdek, reaktiv quvvat, uni kompensatsiya qilish, reaktiv quvvat manbalari va ularni o‘rnatish natijasida elektr energiyasining sifati yaxshilanishi, iste’molchilarga sifatli, uzluksiz va ishonchli elektr energiyasi yetkazib berish, hozirgi zamon energetikasining asosini tashkil etadi.

4-jadval

220 *kV* Zarafshon-Uchquduq elektr stansiyasi liniyalarining loyixasi parametrlari

Turi	N_{boshi}	N_{oxiri}	Nomi	R	X	B	P_{boshi}	Q_{oxiri}	I_{max}
HEUL	1	2	IES-17 - PS A	7,30	29,20	-183,0	-188	-48	491
HEUL	1	3	IES -17 - PS D	21,00	69,20	-453,0	-149	-19	384
HEUL	1	4	IES -17 - PPB	19,80	78,80	-494,0	-172	-34	449
HEUL	2	4	PS A - PPB	12,60	50,20	-315,0	-156	-19	419
HEUL	3	10	PS D - PS Z	9,00	29,60	-194,0	-124	-2	340
HEUL	10	11	PS Z - PS F	12,20	40,20	-263,0	-48	-7	142
HEUL	10	15	PS Z - PS V-3	11,20	44,40	-278,0	-102	19	292
HEUL	13	14	PS V-1 - PS V-2	5,60	22,10	-138,0	78	-23	233
HEUL	14	15	PS V-2 - PS V-3	6,50	25,70	-161,0	85	-23	253
HEUL	4	9	PPB - PS G	4,70	18,70	-117,0	-54	-9	155

5-jadval

Bessopan nimstansiyasida reaktiv quvvat manbalari kiritilishidan oldin 220 *kV* tarmoq rejimining hisoblangan ma’lumotlari

N_{boshi}	N_{oxiri}	Nomi	Turi	P_{boshi}	P_{oxir}	ΔP	$\Delta P\%$	Q_{oxiri}	ΔQ	U_{boshi}	U_{oxiri}	$\Delta U\%$
1	2	IES-17 - PS A	HEUL	-188	-182	5,23	2,78	-48	20,93	230,0	218,5	5,22
1	3	IES -17 - PS D	HEUL	-149	-140	9,26	6,21	-19	30,50	230,0	211,1	8,57
1	4	IES -17 - PPB	HEUL	-172	-160	11,91	6,92	-34	47,42	230,0	206,4	10,73
2	4	PS A - PPB	HEUL	-156	-150	6,63	4,25	-19	26,41	218,5	206,4	5,51
3	10	PS D - PS Z	HEUL	-124	-121	3,12	2,52	-2	10,26	211,1	205,7	2,48
10	11	PS Z - PS F	HEUL	-48	-47	0,70	1,46	-7	2,31	205,7	200,6	2,31

6-jadval

Bessopan nimstansiyasida reaktiv quvvat manbalari joriy etilgandan keyin 220 *kV* tarmoq rejimi uchun hisoblangan ma’lumotlar

N_{boshi}	N_{oxiri}	Nomi	Turi	P_{boshi}	P_{oxir}	ΔP	ΔP, %	Q_{oxiri}	ΔQ	U_{boshi}	U_{oxiri}	ΔU, %
1	2	IES-17 - PS A	HEUL	-188	-182	4,87	2,60	1	19,48	230,0	223,5	2,94
1	3	IES -17 - PS D	HEUL	-149	-138	8,53	5,84	12	28,11	230,0	219,4	4,82
1	4	IES -17 - PPB	HEUL	-172	-161	11,12	6,47	23	44,26	230,0	220,0	4,55
2	4	PS A - PPB	HEUL	-156	-150	6,20	3,97	28	24,72	223,5	220,0	1,61
3	10	PS D - PS Z	HEUL	-124	-119	2,83	2,32	21	9,31	219,4	217,3	0,97
10	11	PS Z - PS F	HEUL	-48	-47	0,60	1,25	-10	1,97	217,3	213,6	1,65

Tadqiqotlar natijasida quyidagilarni keltiramiz:

Reaktiv quvvatning yo‘qolishi elektr tarmoq-larining samaradorligi va ishonchliligiga jiddiy ta’sir ko‘rsatmoqda, ularning ko‘payish darajasi, taqsimot tarmog‘i komplekslari yo‘qotilishining pasayishiga olib kelmoqda. Taqsimlovchi tarmoqlarda elektr energiyasining va reaktiv quvvat yo‘qotishlarini tarkibiy tahlil qilish uchun statistik usul ishlab chiqilgan bo‘lib,u energiya yo‘qotishlarini aniqlashda ishlatiladigan ma’lumot-larning ish sharoitida qayd etiladi.

Reaktiv quvvat manbalarini qo‘llash orqali aktiv quvvat va kuchlanish yo‘qotishlarni aniqlash va isroflarni kamaytirish chora-tadbirlari ishlab chiqildi va elektr energiyasi sifat ko‘rsatkichlarining darajasi oshirildi.

Biblografik ro‘yxat:

1. Ibodullayev M.I,Tovboyev A.N., Yesenbekov A.K., Nazarov A.I. Avtoparametrik tebranishlarni tahlil qilishda chastota-energiya munosabatlari // «O'zbekiston Konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2017. – № 2. 165-167 b.

2. Tovboyev A.N., Norqulov A.O., Togayev I.B. The equation of motion of subgarmonic fluctuations in three-phase chains with three-phase ferromagnetic elements. International Journal of Advanced Studies in science, technology and technology. – India. Copyright to the IJARSET. – Volume 6. – No. 10. October 2019, pp. 11207-11210.

3. Tovboyev A.N., Togayev I.B., Nodirov G.Y. Statistical analysis of power waste in 6-10 kV tension overhead electrical transmission lines // International Journal of Advanced Research in Science Engineering and Technology. – India. Volume 9. – No. 11. November 2022, pp. 2-7.

4. Савина Н.В., Мясоедов Ю.В. Систематические исследования потерь электроэнергии при работе распределительных электрических сетей // Вестник ИрГТУ. – Москва, 2012. – № 1. – С. 142-148.

5. Mavlonov J A., Mardonov D.Sh. «Rudani yanchuvchi tegirmonlarni elektr energiya samaradorligini oshirish usullari» // «O'zbekiston Konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoiy, 2022. – № 3. 102-104 br.

6. Tovboyev A.N., Baynazarov G.G., Jumayev Z.I. Analysis of third-order subarmonic oscillations in three-phase chains with a divided ferromagnetic element. International Journal of Advanced Studies in science, technology and technology.- India, copyright to the IJARSET. Volume 6. – No. 12. December 2019, pp. 12229-12233.

7. Tovboyev A.N., Ibadullayev M.I., Murodov H.Sh., Narzullayev B.Sh. Yuqori kuchlanishli elektr tarmoq va tizimlarida subgarmonik ferrorezonans. «O‘zbekiston konchilik xabarnomasi» ilmiy-texnik va ishlab chiqarish jurnali. – Navoi, 2020. – № 4. 110-113 b.

8. Tog’ayev I.B.,Tursunova A.A., Eshmirzayev M.A. Monitoring of overhead power lines.// Problems and scientific solutions.- Australia, volume 6. No. 2. October 2022, pp. 267-271.

9. Tog’ayev I.B., Isoqulov D.SH., Turniyozov Z.A. Monitoring of air power lines with an assessment of their condition // Central Asian Research Journal For Interdisciplinary Studies (CARJIS). – India, volume 2. – No. 5. May 2022, pp. 2181-2454.

UO‘K 621.314 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.023

ELEKTR MOTOR STATOR CHO‘LG‘AM IZOLYATSIYASINING YAROQLILIK HOLATINI DIAGNOSTIKA QILISH


Xolboyev G‘.O.,
«NKMK» AJ bosh energetigi,
PhD, dotsent

Narzullayev B.Sh.,
NDK va TU «Elektr energetikasi»
kafedrasi dotsenti, PhD

Ushbu maqolada sinxron elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining yaroqlilik muddatini, sig‘imli qochqin tok oqimlari asosida diagnostika usuli keltirilgan. Taklif etilayotgan mazkur usulning boshqa mavjud usullardan afzalligi shundaki, kerakli parametrlarni aniqlashda foydalaniladigan texnik o‘lchov vositalarining nisbatan soddaligi, stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining qoldiq muddati, faqat o‘lchov vositalari yordamida olingan eksperimental ma‘lumotlarga asoslanib,eng kichik kvadratlar usuli va Kalman algoritmiga xos bo‘lgan usullar yordamida baxolash tizimi orqali aniqlashdir. Ishlab chiqilgan mazkur usul, hozirgi kunda Navoiy kon – metallurgiya kombinati AJ ga qarashli GMZ – 1 zavodidagi quvvati 2,5 MVt bo‘lgan sinxron motorlarining ish jarayonida sodir bo‘ladigan, ularning statori bilan bog‘liq bo‘lgan muammolarning yechimi uchun dolzarb hisoblanadi. Mazkur usulni amaliyotga qo‘llashdan asosiy maqsad, qishloq xo‘jalik hamda konchilik korxonalarining mashina va mexanizimlarini asosiy elementi xisoblangan elektr motorlarning ish jarayonlarida to‘saddan to‘xtalishlar yuzaga kelishi, ularning muddatdan oldin ta‘mirga kelishiga sababchi bo‘lgan avariyalarni erta aniqlab bartaraf etish, motor stator cho‘lg‘amlarining ulanish joylarida sodir bo‘ladigan ichki nosozliklari oqibatida samarasiz iste‘mol qilinadigan elektr energiyasiga ketadigan sarf-xarajatlarini sezilarli darajada kamaytirish orqali elektr motorlarning ishonchliligini oshirishdir.

Tayanch iboralar: *sinxron motor, sikl, diagnostika, bashoratlash, mexanik ko‘rsatkich, elektr ko‘rsatkich, elektr texnologik qurilma, stator cho‘lg‘ami, quvvat isrofi, o‘lchov vositalari, baholash, cho‘lg‘am izolyatsiyasi, element, rejim, sig‘imli qochqin tok, avariya, modellashtirish, algoritm, eksperimental, qoldiq resurs.*

В данной стате представлен метод прогнозирования срока службы изоляции сердечника статора синхронных электродвигателей на основе ёмкостных токов утечки. Преимущество предлагаемого метода перед другими существующими методами состоит в том, что технические средства измерения, используемые для определения требуемых параметров, относительно просты, остаточный ресурс изоляции обмотки статора определяется системой оценки методами, характерными для метода наименьших квадратов. Алгоритм Кальмана, основанный только на экспериментальных данных, полученных с помошью средств измерений. Разработанный метод в настоящее время актуален для решения проблем, связанных со статором УЛР, возникающих при работе синхронных двигателей мощностью 2,5 МВт на заводе ГМЗ-1 АО «Навоийский горно-металлургический комбинат». Основной целью использования этого метода на практике является предотвращение внезапных остановок рабочих процессов электродвигателей, которые являются основным элементом машин и механизмов сельскохозяйственных и горнодобывающих предприятий, раннее обнаружение и устранение аварий, вызывающих их выход на работу, преждевременный ремонт, обусловленный внутренними повреждениями, возникающими в местах соединения обмоток статора двигателя, что заключается в повышении надежности электродвигателей за счет значительного снижения затрат на неэффективно потребляемую электроэнергию.

Ключевые слова: *синхронный двигатель, цикл, диагностика, прогноз, механический индикатор, электрический индикатор, электротехнологическое устройство, катушка статора, мощность рассеяния, средства измерения, оценка, изоляция катушки, элемент, режим, емкостной ток утечки, авария, моделирование, алгоритм, экспериментальный и остаточный ресурс.*

Bugungi kunda Respublikamizdagi sanoat hamda konchilik korxonalarida katta quvvatli mashina va mexanizimlarning yuritmalarini xarakatga keltirishda asosan sinxron elektr motorlardan keng ko‘lamda foydalanilib kelmoqda. Shu sababli ishlab chiqarish korxonalarida, elektr motorlarining uzluksiz ishlashini ta‘minlash orqali ishlab chiqarish siklining buzilishini, ish jarayonida sodir bo‘ladigan avariyalarni oldindan aniqlab bartaraf etish orqali motorlarning ishlash ishonchliligini oshirish, rejadan oldin ta‘mirga kelish holatlarini oldini olish bugungi kunning dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi [1, 2].

Bizga ma‘lumki sinxron motorlarning yillik ishdan chiqishi 20-25 % ni tashkil etadi. Sinxron motorlarning ish jarayonlarida sodir bo‘ladigan avariyalar odatda uning stator cho‘lg‘amlari bilan bog‘liq. Bunda motorning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasi haroratining ortib ketishi oqibatida erib izolyatsiya teshilish natijasida qisqa tutashuv holatlari kuzatiladi. Natijada, elektr motorlar muddatdan oldin ta‘mirga kelib, yaroqsiz holatga kelib qoladi. Elektr motorlarning stator cho‘lg‘amlari bilan bog‘liq bo‘lgan bunday muammolarning oldini olishda stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining qoldiq muddatini bashoratlash hamda baholash maqsadga muvofiqdir [3, 4, 5].

Elektr motorlarning eng nozik elementi, uning cho‘lg‘amlarini qoplovchi izolyatsiya materiali hisoblanadi. Elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining chidamliligiga ta‘sir qiluvchi eng muxim omillardan biri bu haroratdir. Shu sababli, stator va rotor cho‘lg‘am izolyatsiyasi maxsus lakdan tayorlanganligi sababli qizish xarorati keskin oshib ketish oqibatida lak erib cho‘lg‘am simlarining bir-biriga yopishishi natijada stator va rotor cho‘lg‘am izolyatsiyasi tezda ishdan chiqadi hamda motorning xizmat davri keskin kamayadi. Bunda stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining chidamliligini aniqlashda ma‘lum bir sinov vaqti t_s olinadi, bu vaqt davomida harorat ko‘tarilishi tufayli izolyatsiya chegaralangan holatga yetadi.

Quyida elektr motorlarni izolyatsiya chidamligini tekshirishda sinov vaqtini hisoblash uchun ifoda keltirilgan (1) [5, 7].

$$t_s = k \cdot \exp\left(\frac{A}{B} - C\right) \quad (1)$$

bu yerda: *k* – proporsionallik koeffitsiyenti (agar izolyatsiya muddati soatlarda o‘lchanadigan bo‘lsa *k* = 1 deb olinadi);

A va *B* – doimiy kattaliklar;

C – xaqiqiy xarorat.

Yuqoridagi formuladan (1) foydalanib, biz izolyatsiyasining qoldiq resurs R_q muddatini nominal ish rejimiga F_n mos keladigan haroratda, izolyatsiyaning eskirish tezligi va ta’sirning doimiy kattaligi bilan bog‘liq bo‘lgan o‘lchovsiz miqdor sifatida kiritamiz. Ushbu rejimda uning qoldiq xizmat muddati $N_{q.x}$ quyidagi ko‘rinishda bo‘ladi (2) [3, 4, 6].

$$N_{\kappa.x} = \frac{R_{pec}}{F_{н}} \quad (2)$$

bu yerda: $N_{K.X}$ – qoldiq xizmat muddati;

$R_{pec.}$ – stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining qoldiq resursi hisoblanib quyidagiga teng (3).

$$R_{pec} = 1 - \int_{0}^{t_{н}} F(t)dt \quad (3)$$

bunda, *F* – izolyatsiya eskirish tezligining oniy qiymati; t_H – ish vaqti.

Elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining chidamligini belgilovchi eng muhim omillardan biri bu haroratdir, bundan tashqari motorning tebranishi, tashqi muhit harorati (quruqlik, namlik) hamda elektr maydoni mavjudligiga ham bog‘liq. Mavjud termal himoya tizimlarida, boshqa ta’sir etuvchi omillarning butun ta‘sir etish xaraktristikalarini aniqlash hamda hisoblash ancha murakkab. Shuning uchun, cho‘lg‘am izolyatsiyasining muntazam ravishdagi nazorati tadqiqotchilarimizda qiziqish uyg‘otadi, bu holat ba’zi o‘lchangan qiymatlarga asoslanib, cho‘lg‘am izolyatsiyasining hozirgi holatini baholash hamda bashorat qilish imkonini beradi. Ba’zi murakkab mezonlar asosida elektr motorlarning holatini nazorat qilish va qoldiq ishlash muddatini aniqlash bo‘yicha yondoshuvlarni taklif qiladigan ishlar mavjud.

Ko‘pgina hollarda, bunday yechimlar sensorlarning butun to‘plamini va ko‘pincha noto‘g‘ri matematik yordamni talab qiladi. Bundan tashqari, ba’zi hollarda, masalan, baholash mezonini qurishda, elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasiga ta’sir qiladigan harorat hisobga olinmaydi.

Elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining qoldiq resurslarini aniqlashda qochqin tok oqimidan foydalanamiz, elektr motorning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining sig‘imli qochqin oqimining kattaligi izolyatsiyaning eskirish jarayoni bilan chambarchas bog‘liq [7].

Eksperimental olingan ma‘lumotlarga asoslanib umumiy qochqin oqimining grafigi va ushbu grafikning eksponensial yaqinlashuvi ko‘rsatilgan (*1-rasm*).

Vaqt o‘tishi bilan qochqin tok oqimining kamayishi bu yerda izolyatsiyaning termal eskirish paytida umumiy oqimning ma‘lum bir qismini tashkil etuvchi qochqin oqimning sig‘imli komponentining pasayishiga olib kelishi tasvirlangan.

2-rasmda oqish oqimi grafigining (I_q) vaqtga bog‘liqligini tasvirlash imkoniyati aniq ko‘rsatilgan, chunki izolyatsiya holatining buzilish o‘zgarishlari quyidagi ifoda bilan aniqlanadi [8]:

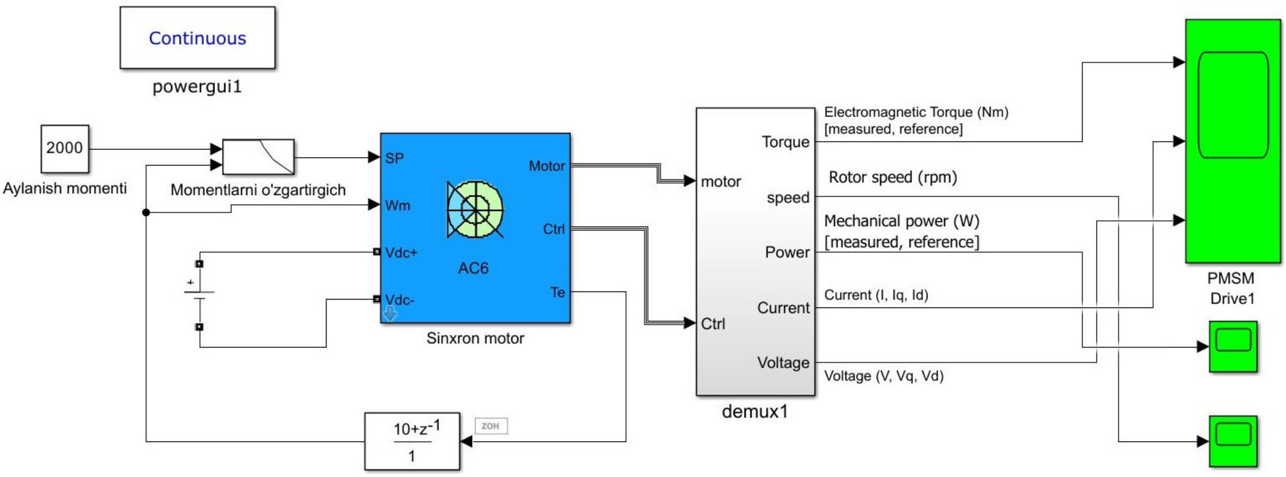
$$I_q = \Delta I_{q.\max} e^{-\alpha_q t} + I_{q0} \quad (4)$$

bu yerda I_q – qochqin tok oqimi.

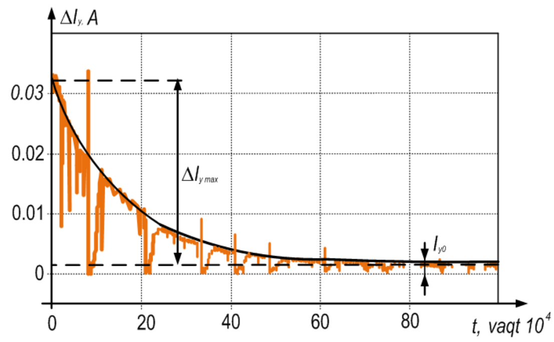
Diagnostik xususiyat sifatida sig‘imli tok oqimlaridan foydalanganda monitoring va prognozlash algoritmi.

Elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining eskirish jarayonida qochqin oqimiga bog‘liqligining aniqlangan tabiati bizga o‘lchangan I_q qiymatining ma’lum bir $I_{q.lim}$ darajasidan oshib ketishini kuzatish asosida izolyatsiya holatini monitoring qilish tizimini yaratishga imkon beradi, bu esa izolyatsiya resursining tugashini bildiradi. Bu yerda muammo axborot kanallarida shovqin va atrof-muhit parametrlarining qochqin oqimlariga ta‘siri tufayli foydali signalning kuchli shovqinidir. Eksperimental ma’lumotlarga ko‘ra, izolyatsiyaning buzilishi (1) ifodadagi eksponensialning 5-6 vaqt konstantasidan kattaroq vaqtdan keyin sodir bo‘ladi [4]. Bu vaqtga kelib, ko‘rsatkichning qiymati juda kichik bo‘lib qoladi, bu interferensiya sharoitida $I_{q.lim}$ satxidan o‘tish momentini aniqlash muammosini murakkablashtiradi. Bu holatni *2-rasmda* aniq ko‘rish mumkin, unda $T_f = 4\Delta t$ doimiy1-tartibli filtr yordamida filtrlashdan so‘ng *t* = 100 *soatdan* so‘ng namuna olish oralig‘i bo‘lgan shovqinli signal $I_y(t)$ ning amalga oshirish to‘plami ko‘rsatilgan. Bu yerda ko‘rinib turibdiki, shovqinli jarayonning turli xil qo‘llanilishi uchun $I_y(t)$ egri chiziq chegara darajasini sezilarli darajada turli vaqtlarda kesib o‘tadi. Shunday qilib, filtirlash va signalni tekislash ushbu muammoni ishonchli xal qilishga imkon bermaydi, shuning uchun chegara darajasini t_{lim} kesib o‘tishining taxminiy vaqtini keyingi baholash uchun $I_y(t)$ eksponensial modellashtirish parametrlarini aniqlash bilan bog‘liq yondashuvlardan foydalanish tavsiya etiladi. Bunday hollarda, vaqt birliklarida T_R, ifodalangan qoldiq resursni bashorat qilingan vaqt chegarasi va joriy vaqt t_{lim} o‘rtasidagi farq sifatida taxmin qilish mumkin bo‘ladi [9]:

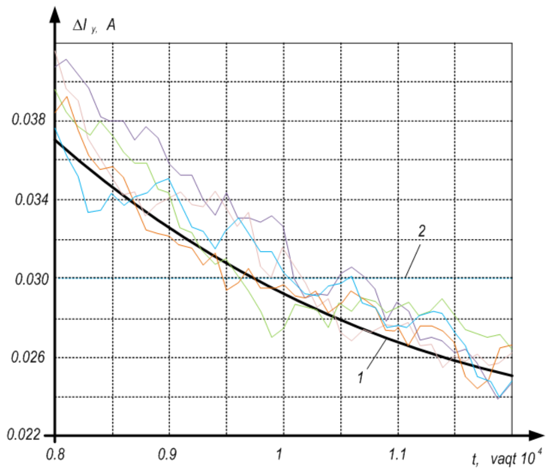
$$T_R = t_{\lim} - t_T \quad (5)$$



1-rasm. Matlab/Simulink virtual muhitida elektr motorning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasini tekshirish modeli



2-rasm. Qochqin tok oqimlarining vaqtga bog‘liqlik grafigi



3-rasm. Stator cho’lg‘am izolyatsiyasining qoldiq resursini monitoring va bashoratlash algoritmi

1-jadval

Turli xil izolyatsiyalar uchun ts va αyN ning hisoblangan qiymatlari

Izolyatsiya sinfi	t_s, *soat*	$\alpha_{yN} \cdot 10^4$, *1/soat*
A	18583	2,15-2,69
E	21163	1,89-2,36
B	18215	2,20-2,74
F	21440	1,87-2,33
H	22382	1,79-2,00

Bu yerda t_{lim} – joriy vaqt, bunda normal ish vaqtini bildiradi. t_{lim} quyidagiga teng bo‘ladi.

$$t_{\lim} = \frac{1}{\alpha_y} \ln \frac{\Delta I_{y.\max}}{\Delta I_{y.\lim}} \tag{6}$$

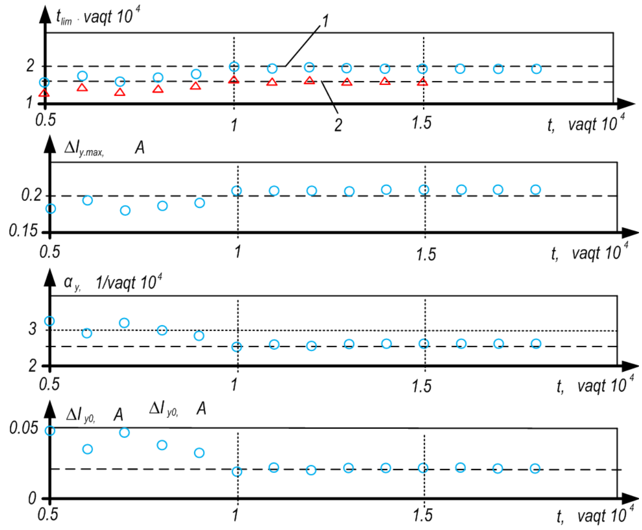
$\Delta I_{y.lim}=I_{y.lim}–I_{yo}$ – bu holatda qochqin tok oqimi barqaror holat darajasidan oshib ketadi.

Modellashtirish ko’rsatkichi parametrlarni aniqlash asosida izolyatsiya holatini bashorat qilish tizimining ishlashi uchun quyidagi algoritmni taklif qilamiz. Bu yerda elektr motorni yuklama rejimida ishlash jarayonida, shuningdek muxit parametrlarining o’zgarishi eksponensial (5) vaqt konstantasidan oshib ketadigan vaqt oralig‘ida statsionar xarakterga ega deb taxmin qilamiz.

Algoritm quyidagi to'plangan qiymatlar orqali hisoblanadi:

$$I_y = [I_{y1}, I_{y2}, I_{y3}, ..., I_{yk}] \quad t_T = [t_{T1}, t_{T2}, t_{T3}, ..., t_{Tk}] \tag{7}$$

bu erda k- oxirgi o'lchovlar soni. Har safar I_{yk} yangi o'lchovidan so'ng, keyingi t_{Tk} va I_{yk} juftligi yodga olinadi [9, 10]. Modellashtirish ko‘rsatkichining parametrlarini aniqlash uchun qayd etilgan ma‘lumotlarni



4-rasm. Izolyatsiya holatini bashorat qilish tizimi algoritmining ishlashini modellashtirish natijalari

qayta ishlash o‘lchovlar boshlanganidan keyin darhol boshlanmaydi, chunki cheklangan miqdordagi nuqtalar va sezilarli tasodifiy komponent bilan modellashtirish eksponentsi parametrlarini ishonchli aniqlash qiyin [11]. Shuning uchun, algoritm boshida, t_{Tk} vaqtining ma‘lum bir boshlang‘ich qiymati $t_{T.bosh}$ dan oshib ketishini tekshirish amalga oshiriladi, bu erda $t_{T.bosh}$ – ish vaqti, shundan so‘ng eksponensial parametrlarni aniqlash boshlanishi mumkin. $t_{T.bosh}$ ni hisoblash ma‘lum bir izolyatsiya sinfi uchun maqbul haroratda izolyatsiyadagi buzilish jarayonlarini tavsiflovchi eksponent yordamida amalga oshirilishi mumkin. Tajriba natijalariga ko'ra, resursning tugashi t_{Tk} = (4…5)/α_{yN} da sodir bo'ladi, deb hisoblaymiz, bu erda α_{yN} – ma‘lum bir izolyatsiya sinfi uchun ruxsat etilgan haroratda ishlaganda eksponentning kuch-qonuniy koeffitsienti. Agar (1) formuladan foydalanib, resurslar tugashining xarakterli vaqtlarini (t_s) hisoblasak, u holda bu vaqtlarni t_s = (4…5)/α_{yN} deb olib, ifoda yordamida α_{yN} ni aniqlashimiz mumkin.

$$\alpha_s = (4...5) / t_s \tag{8}$$

Jadvalda turli xil izolyatsiya sinflari uchun t_s va α_{yN} ning hisoblangan qiymatlari ko'rsatilgan. Biz $t_{T.bosh}$ ning qiymatini $1/\alpha_{yN}$ ga teng deb olamiz. Elektr motorga yuklama kam yuklangan bo’lsa, α_{yN} qiymati α_{yN} dan kam bo'ladi, ammo $t_{T.bosh}$ vaqtida qayd etilgan nuqtalar soni (t_T, I_y) faqat o'lchov oralig‘i Δt ga bog‘liq.

Bundan tashqari, algoritm qayd etilgan ma'lumotlardan qayta tiklangan eksponensial parametrlarning ishonchliligini baholash uchun tekshiruvlarni taqdim etadi.

Dastlabki ma'lumotlar (t_s, I_y) massivini o‘qib bo‘lgach, ma‘lumotlar oldindan filtrlanadi va keyingi tekshirishlardan birini amalga oshirish uchun zarur bo‘lgan oldingi davr uchun o‘rtacha $I_{y.o'rtacha}$ qiymati hisoblanadi. Keyingi bosqichda eksponensial modellashtirish parametrlari aniqlanadi hamda quyidagi tekshiruvlar amalga oshiriladi:

a) $\Delta t_{y.max}>0$, $\alpha_y>0$, *va* $I_{y0}>0$, shartlari bajarilishi kerak, bu aniq jismoniy mulohazalardan kelib chiqadi (agar kamida bitta shart bajarilmasa, joriy nuqta e‘tiborga olinmaydi;

b) $\Delta I_{y.max}+I_{y0}>I_{y.o'rtacha}$ tengsizlik bo‘yicha juda aniq qiymatlar bajarilishi shart.

Modellashtirish ko‘rsatkichining parametrlarini aniqlagandan so‘ng, t_{lim} resursining tugashining taxminiy vaqti hisoblab chiqiladi va qoldiq resurs qiymati bo'lgan t_{lim}-t_k farqining belgisi tekshiriladi. Agar bu farq salbiy bo‘lsa, resurs tugaganligi to‘g‘risida ma‘lumot beriladi. *3-rasmdagi* modellashtirish natijalari *Matlab/Simulink* dasturi asosida olingan. Bunda eksponensial modellashtirish parametrlarini aniqlash eng kichik kvadratlar usuli yordamida amalga oshirildi. 4-rasmda gorizontal o‘qdagi nuqtalar ishning boshlanish vaqtini bildiradi. Nuqtali chiziqlar $\Delta I_{y.max}$, α_y, I_{y0} ning haqiqiy qiymatlariga mos keladigan darajalarni va ushbu qiymatlarga mos keladigan t_{lim} ning hisoblangan qiymatlarini ko‘rsatadi. Algoritmning ishlashi oldindan filtrlashsiz 100 *soatlik* o‘lchov oralig‘i bilan modellashtirish eksponentsialiga ko‘ra I_y qiymatidan 20% standart og‘ish bilan Gauss xato taqsimot qonuni bilan simulyatsiya qilingan.

Belgilangan: 1-$\Delta I_{y.lim}=0.0067\Delta I_{y.max(0)}$ 2-$\Delta_{y.lim}=0.0183\Delta I_{y.max(\Delta)}$ *3-rasmda* ko‘rsatilgandek, eksponent va t_{lim} modellashtirishning hisoblangan parametrlarining qiymatlari, qochqin oqimining qayd etilgan qiymatlari to‘planishi bilan ularning haqiqiy qiymatlariga juda yaxshi yaqinlashadi [12].

Shuni xulosa qilib aytish mumkinki, elektr motor stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining qoldiq resurslari qochqin tok oqimlari to‘g‘risidagi ma‘lumotlardan foydalanish asosida aniqlash va bashorat qilish usullari hamda algoritmlari ishlab chiqildi, bu ishlab chiqilgan usulni amaliyotga joriy qilsak, katta quvvatli elektr motorlarning stator cho‘lg‘am izolyatsiyasining qoldiq resurslarini aniqlab ularning muddatdan oldin ta‘mirga kelishini oldi olinadi hamda ishonchlilik darajasi oshiriladi.

Biblografik ro‘yxat:

1. Пахомов А.И. Методы и средства диагностики изоляции асинхронных двигателей сельскохозяйственного производства на основе частичных разрядов // Дис. док. техн. наук. – Краснодар, 2008. – 347 с.

2. Engelmann R.H., Middendorf W.H. Handbook of Electric Motors. – New York, Marcel Dekker. 1995. – 801 p.

3. Бабурин С.В., Жуковский В.Л., Коржев А.А., Кривенко А.В. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин // Горное оборудование и электромеханика. "Новые технологии". 2009. № 9. – С. 34-38.

4. Volschenk J.J. Energy saving mechanisms in the mining industry a case study of switching off non-essential power // Full Research report presented in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Business Administration at the University of Stellenbosch. 2008. – 69 p.

5. Глебов И.А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин. – Л.: Наука. Ленинград. 1987. – 344 с.

6. Галушко В.Н. Электрические машины. учеб.-метод. пособие для самостоятельной проработки курса. М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 117 с.

7. Виртуальная лаборатория по испытаниям трансформаторов и электрических машин. // М-во науки и высшего образования РФ. — Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2022. – 127 с.

8. Qarshibayev A.I., Suyarov O.T., Narzullayev B.Sh., Rasulova B.I. Sanoat korxonalarining energiya iste‘moli samaradorligini baholash. // Energiya va resurslarni tejash muammolari. – Toshkent, 2019. 365-369 b.

9. Qarshibayev A.I., Narzullayev B.Sh. Tog‘-kon sanoati korxonalarida energiya iste‘molini boshqarish va operativ rejalashtirish darajasini oshirish. // Kon-metallurgiya majmuasini innovatsion rivojlantirish istiqbollari mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya materiallari. – Navoiy, 22-23 noyabr 2018. – 439-440 b.

10. Narzullayev B.Sh. Asinxron motorlarning energo-mexanik ko‘rsatkichlarini monitoring asosida texnik holatini diagnostika qilishi. // Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi. – Toshkent, 2022. 52-61 b.

11. Boboqulov J.S., Narzullayev B.Sh., Mingboyev U.T. Sinxron generator stator cho‘lg‘amida xosil bo‘layotgan kuchlanishni hisoblash dasturi. // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi. DGU 23696. – Toshkent, 2023.

12. Qarshibaev A.I., Narzullaev B.Sh., Murodov H.Sh. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises. // Journal of Physics: Conference Series. APITECH II, doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022074. – Krasnoyarsk – Russia, 2020. pp. 1-6.

UO‘K 621.314 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.024

ISSIQLIK ELEKTR STANSIYALARIDAGI SINXRON GENERATORLARINING DINAMIK XUSUSIYATLARINI DIAGNOSTIKA QILISHNING MATEMATIK MODELINI ISHLAB CHIQISH


Narzullayev B.Sh.,
NDK va TU «Elektr energetikasi»
kafedrasi dotsenti, PhD

Boboqulov J.S.,
NDK va TU «Elektr energetikasi»
kafedrasi assistenti

Sanoat, konchilik va qishloq xo‘jaligidagi elektr energiya iste‘molchilarini uzliksiz elektr energiya bilan ta‘minlash bugungi kunning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi. Ushbu maqolada boshqa ishlab chiqilgan usullardan farqli ravishda sanoat xamda konchilik korxonalaridagi elektr qurilmalarni uzliksiz elektr energiya bilan ta‘minlab turuvchi katta quvvatli sinxron generatorlarning texnik xolatini diagnostika qilishning matematik modeli ishlab chiqilgan. Shunday ekan, sinxron generatorlarning ish jarayonlarida sodir bo‘ladigan turli xil avariyalar tufayli, generatorlarning ish faoliyatini ma‘lum vaqt to‘xtashiga olib keladi. Bunda korxonalarda ishlab chiqarish tizimining buzilishi, ishlab chiqariladigan mahsulot unumdorligining kamayishi, ishsizlik darajasining ko‘tarilishi, ishlab chiqariladigan mahsulotning sifatini buzulishiga xamda elektr qurilmalarini sarf xarajatlarining ortib ketishi kabi muammolar kelib chiqadi. Bunday muammolarning oldini olish maqsadida, generatorlarning ish jarayonlarini to‘xtatmasdan avtomatik qayta ulash qurilmasidan foydalaniladi. Avtomatik qayta ulash generatorlarning barqaror ishlashini oshirish uchun, mazkur maqolada Matlab/Simulink muhiti orqali sinxron generatorning dinamik xususiyatlarining matematik modeli ishlab chiqilgan.

Tayanch iboralar: *sinxron generator, matematik modellashtirish, modellashtirish, avtomatik qo‘zg‘alishni boshqarish, Matlab/Simulink.*

Обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей электроэнергии в промышленности, горнодобывающей промышленности и сельском хозяйстве является одной из основных задач на сегодняшний день. В данной статье разработана математическая модель диагностики технического состояния синхронных генераторов большой мощности, обеспечивающих бесперебойное электроснабжение электроустановок промышленных и горнодобывающих предприятий в отличие от других разработанных методов. Таким образом, из-за различных аварий, происходящих в рабочих процессах синхронных генераторов, работа генераторов прерывается на определенное время. При этом на предприятиях возникают такие проблемы, как нарушение производственной системы, снижение производительности производимой продукции, рост уровня безработицы, ухудшение качества производимой продукции и увеличение затрат на электрические устройства. Чтобы избежать подобных проблем, используется устройство автоматического переподключения без прерывания рабочих процессов генераторов. Автоматическое переподключение для повышения стабильной работы генераторов в данной статье разработана математическая модель динамических свойств синхронного генератора через среду MATLAB/Simulink.

Ключевые слова: *синхронный генератор, математическое моделирование, моделирование, автоматическое управление возбуждением, Matlab/Simulink.*

Hozirgi kunda jahonning rivojlangan mamlakatlarida elektr energiyani uzluksiz ravishda ta‘minlash asosiy muammolardan biriga aylanib kelmoqda [1]. Shuningdek, bu muammolarni hal qilishda issiqlik elektr stansiyalaridagi joylashgan yuqori quvvatli sinxron generatorlarni muntazam ishlashini ta‘minlash maqsadga muvofiqdir. Sinxron generatorlarning dinamik xususiyatlari eng muhim texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlaridan bir hisoblanadi. Bularga, ishlashi, ishonchlilik, texnologik jarayonning sifati, ishlab chiqarish samaradorligini aniqligidir [2].

Sinxron generatorlarning vaqt o‘tishi bilan dinamik jarayonlarining buzulishi quyidagi parametrlari o‘zgarishi hisobiga vujudga keladi:

– generator rotorning tezligi,
– harakatlantiruvchi momenti,
– ishchi organlari,
– yuklamaning qiymati o‘zgarishi,
– kinematik bo‘g‘inlardagi elastik momentlar va boshqalar.

O‘zgartirgichlar, elektr motorlar, boshqaruv moslamalari va uzatish mexanizmalarida sodir bo‘ladigan buzilishlar generatorlarning dinamik xususiyatlariga sezilarli darajada ta‘sir qiladi [3]. Natijada, generatorlar ishlash vaqtida bir nechta jarayonlarni ko‘zatish mumkin. Jumladan, generatorlani ishga tushurish, berilayotgan qo‘zg‘atish toklarini hosil qilish, tizimga ularni parallel ravishda qo‘shish, qo‘zg‘atuvchan tok hosil qilayotgan magnit maydonning qiymatlari va belgilangan quvvatni tarmoqqa yetkazib berishda dinamik xususiyatlarini diagnostika qilish ixtiyoji tug‘uladi. Elektr stantsiyalarida joylashgan sinxron generatorlarining barqarorligini oshirishning samarali usullaridan biri generatorlarning dinamik xususiyatlari tahlili asosida matematik modelini ishlab chiqish orqali diagnostika qilishdir.

Bu muammolarni yechishda sinxron generatorlarning qo‘zg‘atish tizimiga qo‘yiladigan talablar, qo‘zg‘atish tizimidagi barcha ish rejimlar, shu jumladan rotorning qo‘zg‘alishga majburlanishi va elektr energiya tizimidagi qisqa tutashuvlarda himoyalashda o‘zgaradigan barcha parametrlarning dinamik xususiyatlari tahlil qilinadi [4].

Sinxron generatorlarni dinamik xusususyatlarini o'zgarishi hisobiga generatorni eksperimintal matematik model orqali tatqiqot o'tkaziladi. Tatqiqot qilishda bizga Park-Gorev differentsial tenglamalar sistemasidan foylanamiz. Bunda d-q o'qlar bo'yicha mos funksiyalar quyidagi sistema orqali hisoblanadi.

$$\begin{cases} u_d = -\dfrac{1}{\omega_c} p\psi_d - \psi_q(1+s) - R_s i_d; \\ u_q = -\dfrac{1}{\omega_c} p\psi_q + \psi_q(1+s) - R_s i_q; \\ u_f = \dfrac{1}{\omega_c} p\psi_f + R_f i_f \\ u_{di} = \dfrac{1}{\omega_c} p\psi_{di} + R_{di} i_{di}; i = 0 \ldots n_d; \\ u_{qi} = \dfrac{1}{\omega_c} p\psi_{qi} + R_{qi} i_{qi}; i = 0 \ldots n_q; \\ T_j ps = p\omega \dfrac{T_j}{\omega_c} = M_T - M_E \end{cases} \quad (1)$$

bu yerda, u_d, u_q, u_f – *d, q* o'qlari bo'yicha stator cho'lg'amining kuchlanishi va rotor cho'lg'amining kuchlanishi;

R_s, R_f – stator cho'lg'amining va uyg'otish cho'lg'amining faza qarshiligi;

i_d, i_q, i_f – *d, q* o'qlari bo'yicha stator cho'lg'am toklari va uyg'otish cho'lg'amlari toki;

ψ_d, ψ_q, ψ_f, – *d, q* o'qlari bo'ylab stator cho'lg'amlarining toklar birikmasi va qo'zg'atish cho'lg'amining toklar birikmasi;

P – Laplas operatori;

n_d, n_d – tegishli o'q bo'ylab nuqsonli konturlar soni;

T_j – inertsiya doimiysi;

S – sinxron aylanadigan o'qlarga nisbatan generator rotorining siljishi;

M_T – birlamchi dvigatel tomonidan yaratilgan generator validagi mexanik moment;

M_E – generator validagi qarshilikning elektromagnit momenti.

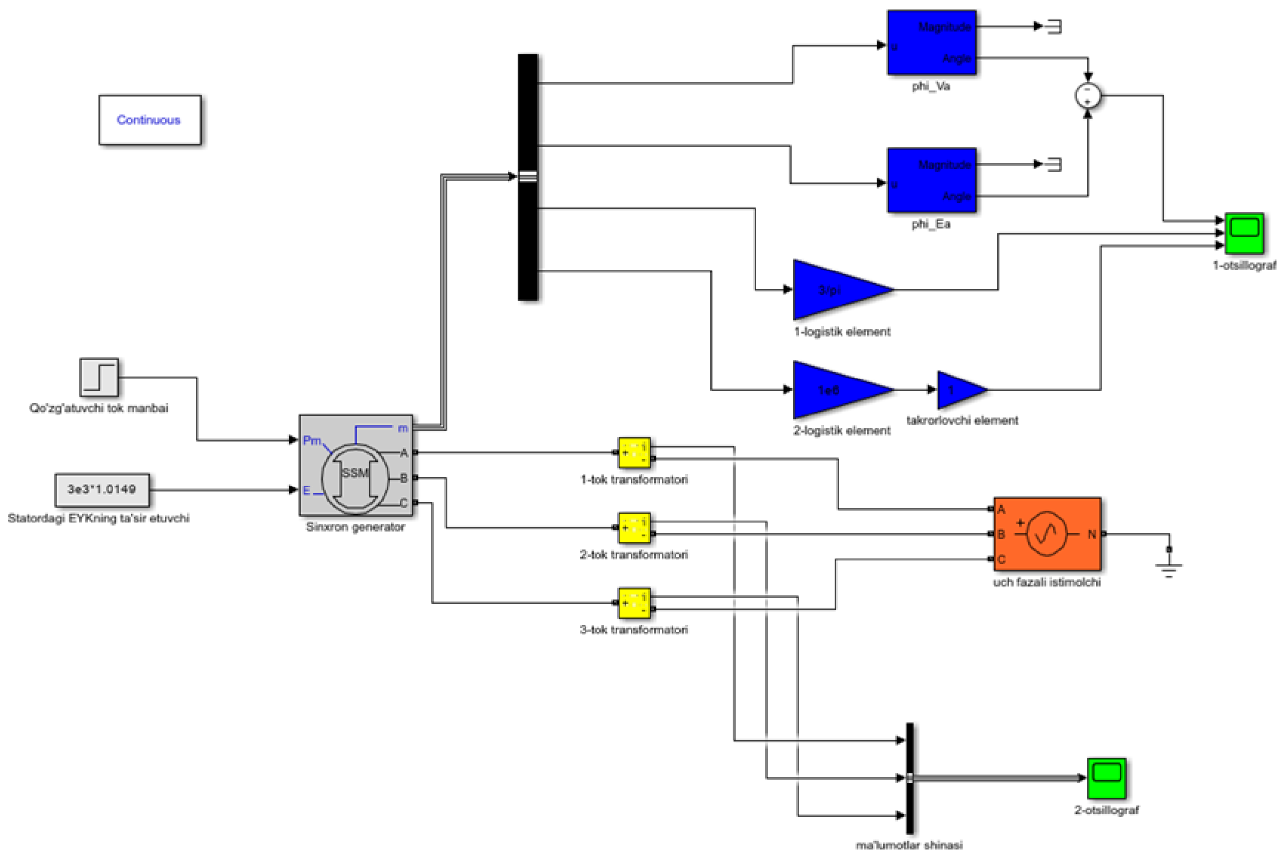
Ushbu tenglamalar (1) sistemasi orqali sinxron generatorning qo'zg'atish tizimidagi dinamik xususiyatini o'zgarishi hisobiga matematik model ishlab chiqiladi. Matematik model kutilayotgan dinamik ish rejimlarini diagnostika qilish va tahlil qilish vositasi sifatida xizmat qiladi. Matlab/Simulink muhitida matematik modellashtirish usuli bilan tadqiqotlar o'tkaziladi [5].

Matlab/Simulink dasturida sinxron generatorning umumiy boshqaruv tizimidan elektr energiya iste'molchilarigacha bo'lgan jarayon virtual ravishda tuzib olinadi. Uning parametrlari nisbiy birliklar sistemasida belgiladi. Bunga ko'ra, sinxron generator sinxron dvigatel bilan bir xil matematik modelga ega bo'ladi [6, 11].

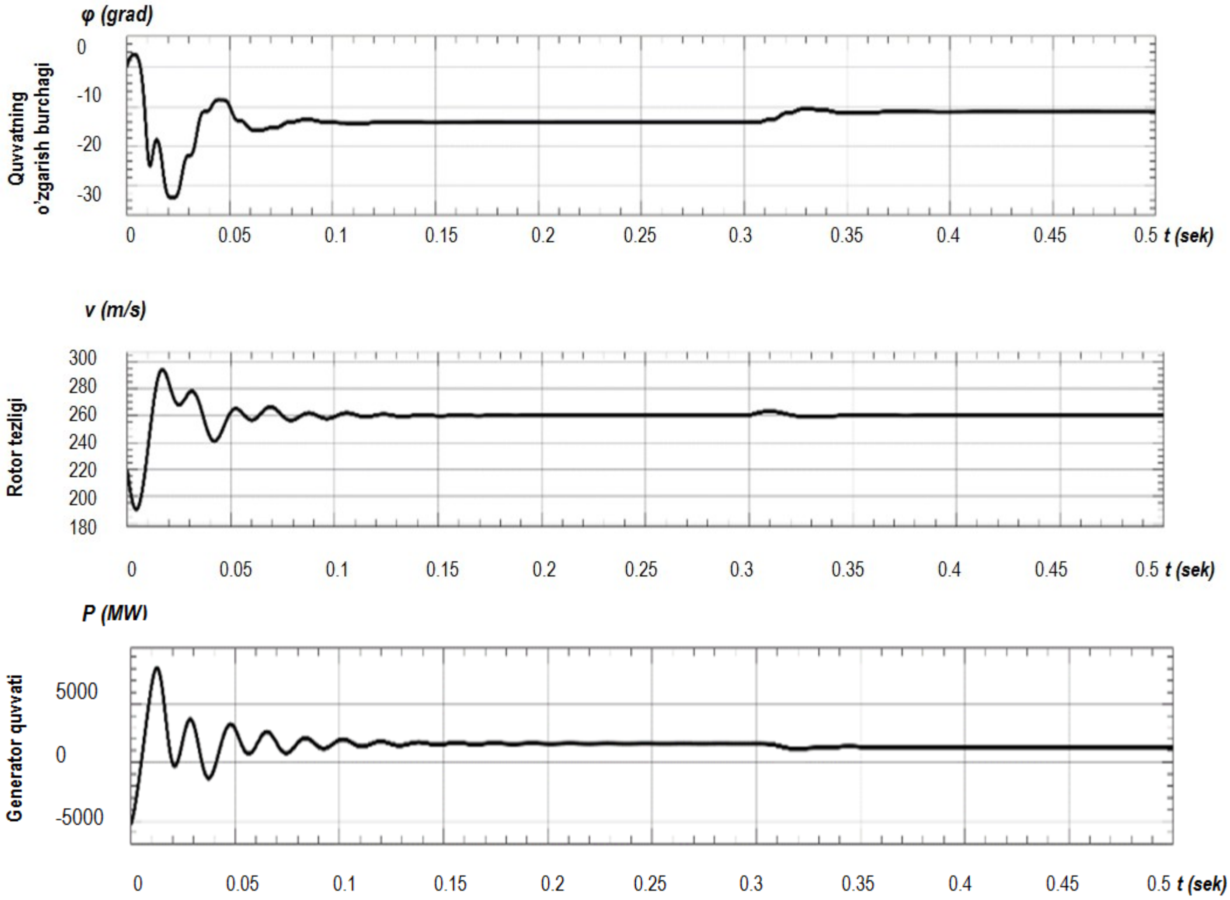
Generatorlarining texnik holatini diagnostika qilishda extimollik nazariyasidan foydalanish ham mumkin. Ushbu usul generatorlarning bir yoki boshqa diagnostikasiga tegishli bo'lish ehtimolini aniqlashdir. Diagnostika Bayes formulasi asosida ham amalga oshiriladi:

$$P(D_i/X) = \frac{P(\frac{X}{D_i})}{\sum_{r=1}^{n} P(D_r)P(\frac{X}{D_r})} \quad (2)$$

Bu yerda *P(D/X)* – xususiyatlar to'plamini tekshirish natijalari ma'lumbo'lgandan keyin D_r ning ehtimoli *X* ning xususiyatlar majmuasi bo'yicha so'rov natijalarining paydo bo'lishi; *P(X/D_r)–D_i* tashxis mavjud bo'lganda *X* ning xususiyatlar majmuasining paydo bo'lish ehtimoli;



1-rasm. Sinxron generatorning texnik holatini diagnostika qilishning matematik modelini Matlab/Simulink virtual dasturida tuzilgan sxemasi



2-rasm. Generatorning qo'zg'atish vaqtidagi rotorning aylanish tezligini ishlab chiqariladigan quvvatga bog'liklik grafiklari

$$\sum_{r=1}^{n} P(D_r)P(\frac{X}{D_r})-X \qquad (2.1)$$

(2.1) belgilar majmuasining paydo bo'lish ehtimoli.

Generatorlarning texnik holatiga tashxis qo'yishda samaradorlikni aniqlash muhim hisoblanadi. Holatlar bir-biriga mos kelmaydigan ikkita sohada joylashgan bo'lib, ulardan biri soz holatga, ikkinchisi esa ishlamaydigan holatga to'g'ri keladi. Ishlaydigan sohaning yuqori chegarasi eng yaxshi yoki nominal holatga to'g'ri keladi (2), pastki chegarasi maqbul ishlash darajasiga to'g'ri keladi.

Navoiy issiqlik elektr stansiyasidagi Bug'-gaz turbinasida joylashgan quvvati P_n = 450 *MVt* nominal kuchlanishi U_n = 15750 *V* nominal toki I_n = 14500 *A* sanoat chatotasi *f* = 50 *Hz* rotorning aylanish chastotasi ω_n = 3000 *ayl/min* bo'lgan sinxron generatorning ishga tushurish vaqtidagi parametrlarining o'zgarishi hisobiga dinamik xususiyatlari tahlili asosida matematik modeli tuzib chiqildi (*1-rasm*).

Sinxron generatorning o'zgarayotgan paramaterlarning vaqtinchalik egri chiziqlari olinadi va turli xil o'tkinchi rejimlari uchun tizimning dinamik xususiyatlari tahlil qilinadi (*2-rasm*).

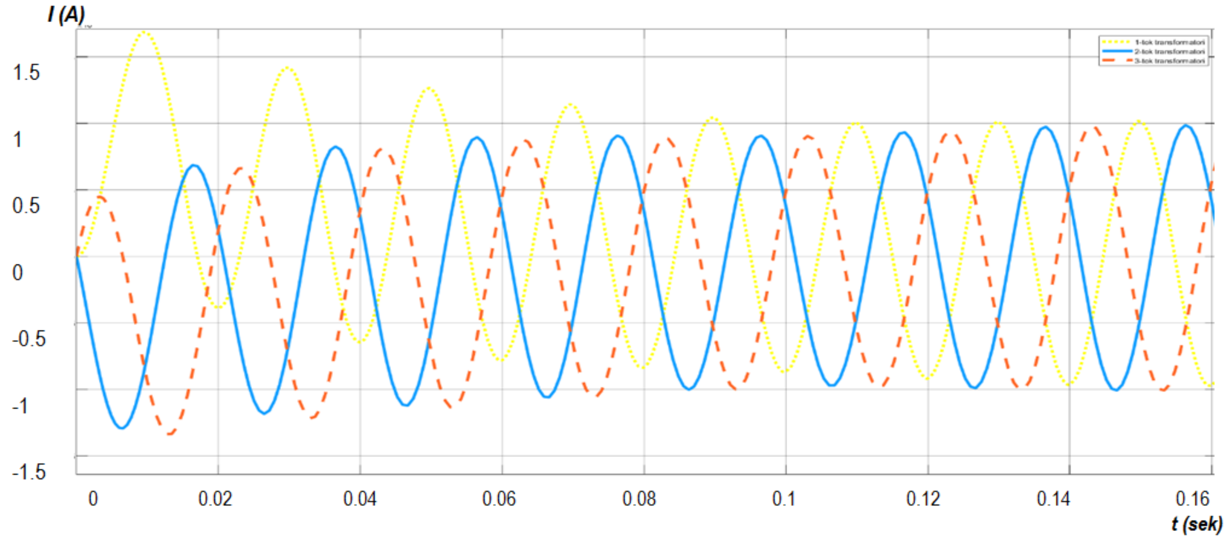
Sinxron generatorning texnik holatini diagnostika qilishning matematik modelida generatorning o'zgaruvchan magnit oqimi va EYK ning o'zgarish ko'rsatuvchi termanallari mavjud [7]. Rotorning tezligi va generatoning quvvatini tahlil qilivchi logostik elementlar orqali otsillografda signallar olingan. Bundan tashqari, uch fazali tarmoqdagi mavjud tok transformatorlari tomonidan generatordan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi qiymatlarini ikkinchi otsillograf orqali tahlil qilinadi [8].

Bu tahlillar shuni ko'rsatadi-ki, generator qo'zg'alayotgan vaqtda undagi bir qancha dinamik xususiyatlarini katta qiymatlarda o'zgartiradi. *2-rasmda* generatorning qo'zg'atish vaqtidagi yuklama burchagi egri chiziqlari, rotorning aylanish tezligi va generatorning ishlab chiqarilgan quvvatining egri chiziqlarni birinchi otsillogafdan olingan ma'lumotlar ko'rsatilgan.

Bu yerda generatorning qo'zg'atish vaqtidagi quvvatning o'zgarish burchagi, rotorning tezligi va ishlab chiqarilayotgan quvvatning egri chiziqlari ko'rsatilgan. Generatorlarni parallel ulanganda stator cho'lg'amidagi EYK, elektr tarmog'ining kuchlanishga teng va fazasi jihatdan 180º ga siljigan ya'ni teskari fazada bo'lishi lozim. Birinchi grafikda statorning EYKni delta burchakga burilish grafigi keltirilgan, avvalgi o'tkazilgan tatqiqotlarda bu burchak o'zgarishi ancha katta bo'lgan, bu matematik modelni tuzish orqali generatorni tarmoqqa parallel qo'shishda sodir bo'ladigan burchakni o'zgarishini ko'rishimiz mumkin. Ikkinchi grafikda generatorni tarmoqqa qo'shish jarayonida rotorning tezligini o'zgarish grafigini ko'rishimiz mumkin [9]. Tarmoq kuchlanishi bilan stator EYKi orasidagi munosabatni rotor tezligiga ta'siri ko'rsatilgan. Uchinchi grafikda generator quvvati o'zgarishi ko'rsatilgan, unda generatorni tarmoqqa qo'shish vaqtidagi quvvat istimolini ko'rishimiz mumkin. Bu matematik model orqali generatordagi shu parametrlarini dianostika qilish imkoni yaratiladi.

Generatorning tarmoqqa qo'shish vaqtida liniyalardagi toklarning o'zgarish grafiklari *3-rasmda* ko'rsatilgan.

Avvalgi tatqiqotlarda o'tkazilgan natijalarda generatorlarni tarmoqqa qo'shish vaqtida unda juda katta toklar hosil bo'lishini ko'rishimiz mumkin [10]. Katta toklar hosil bo'lganda generator statori cho'lg'amlarining qizishi, izolyatsiyaning yemirilishi, uyurmaviy toklarni qiymatining oshishi, qisqa tutashuvlar va ho.k lar yuzaga keladi. Bularning oldini olish maqsadida tuzilgan matematik model orqali bu toklarni kamayganini ko'rishimiz mumkin. Bu yerda 0,06 sekuntda tokning qiymati nominalga



3-rasm. Generatorning tarmoqqa qo'shish vaqtida liniyalardagi toklarning o'zgarish grafiklari

erishiladi. Sariq uziq chiziqlar birinchi tok transformatorining qiymatlari hisoblanadi A fazadagi tokning qiymatlari. Koʻk chiziqdagi grafiklar ikkinchi transformatordagi qiymatlar boʻlib, B fazadagi tok kuchi, u A fazadan 120º orqada qolganini koʻrishimiz mumkin. Qizil chiziqdagi grafiklar esa, uchinchi tok transformatorining qiymalari hisoblanadi. Bu natijalar shuni koʻrsatadi-ki, avvalgi oʻtkazilgan tatqiqotlardan bu natijalar tubdan farq qiladi. Bu natijalar orqali generatorning dinamik xususiyatlarini diagnostika qilish imkoniyati yanada aniqroq amalga oshiriladi [12].

Xulosa oʻrnida shuni takidlash mumkin-ki, mazkur ishlab chiqilgan model Park-Gorev differensial tenglamalari asosida, generatorlarning tarmoqqa qoʻshishdagi xarakteristikalarini hisobga olgan holda hamda generator rotorning tezlik oʻzgarishlari va quvvat parametrlari orqali hisoblangan. Ushbu ishlab chiqilgan modelni amaliyotga tadbiq qilishdan koʻzlangan asosiy maqsad, yuklama vaqtida qoʻzgʻatish choʻlgʻamlarida tarqalish tokining oʻzgarishini hisobga olgan holda elektr tarmogʻidagi barqaror holat rejimlarini hisoblashning aniqligini oshirishga imkon beradi. Natijada sanoat, konchilik va qishloq xoʻjaligining barcha sohalaridagi elektr energiya isteʻmolchilarini elektr energiyadan uzulish boʻlgan vaqtlarni qisqartirishga hamda energiya va resurslarni tejashga erishiladi.

Bibliografik roʻyxat:

1. *Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – Москва, ACADEMA. 2006. – 259 с.*
2. *Шаров Ю.В., Карташев И.И., Тульский В.Н., Шамонов Р.Г., Воробьев А.Ю. Управление качеством электроэнергии. – М.: ИД МЭИ, 2006. – 320 с.*
3. *Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в энергетических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 415 с.*
4. *Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины // Учебник для вузов. В двух томах. Том 2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 532 с.*
5. *Глебов И.А. Электромагнитные процессы систем возбуждения синхронных машин. – Ленинград: Наука, 1987. – 344 с.*
6. *Галушко В.Н. Электрические машины. учеб.-метод. пособие для самостоятельной проработки курса. М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 117 с.*
7. *Виртуальная лаборатория по испытаниям трансформаторов и электрических машин // М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 127 с.*
8. *Qarshibayev A.I., Suyarov O.T., Narzullayev B.Sh., Rasulova B.I. Sanoat korxonalarining energiya isteʻmoli samaradorligini baholash // Energiya va resurslarni tejash muammolari. – Toshkent, 2019. 365-369 b.*
9. *Qarshibayev A.I., Narzullayev B.Sh. Togʻ-kon sanoati korxonalarida energiya isteʻmolini boshqarish va operativ rejalashtirish darajasini oshirish // Kon-metallurgiya majmuasini innovatsion rivojlantirish istiqbollari mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya materiallari. – Navoiy, 22-23 noyabr 2018. 439-440 b.*
10. *Narzullayev B.Sh. Asinxron motorlarning energo-mexanik koʻrsatkichlarini monitoring asosida texnik holatini diagnostika qilishi // Texnika fanlari boʻyicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi. – Toshkent, 2022. 52-61 b.*
11. *Boboqulov J.S., Narzullayev B.Sh., Mingboyev U.T. Sinxron generator stator choʻlgʻamida xosil boʻlayotgan kuchlanishni hisoblash dasturi // Oʻzbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi. DGU 23696. – Toshkent, 2023.*
12. *Qarshibaev A.I., Narzullaev B.Sh., Murodov H.Sh. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises // Journal of Physics: Conference Series. APITECH II, doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022074. – Krasnoyarsk – Russia, 2020, pp. 1-6.*

UO‘K 621.314 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.025

TARQATISH TARMOQLARINI 20 KV NOMINAL KUCHLANISHGA O‘ZGARTIRISH ORQALI SAMARADORLIKNI OSHIRISH

Taslimov A.D.,
I. Karimov nomidagi TDTU «Elektr ta’minoti» kafedrasi professori, DSc

Raximov F.M.,
NDK va TU «Elektr energetikasi» kafedrasi assistenti

Maqola O‘zbekiston milliy elektr tarmoqlarida quvvat isrofini kamaytirish va o‘tkazuvchanlik qobiliyatini oshirishning dolzarb ilmiy-texnik muammosini hal etishga bag‘ishlangan. Energiyani tejash usullaridan biri 6(10) kV kuchlanishli elektr tarmoqlarini yuqori kuchlanishli, xususan 20 kV kuchlanishli elektr tarmoqlariga o‘zgartirishdir. Mavjud 20 kV kuchlanishdan foydalanish tarqatish tarmoqlarini elektr ta’minotining yuqori darajasiga o‘tkazishga imkon beradi. Bundan tashqari, bitta hududdagi mavjud tarmoq tizimiga nisbatan quvvatni oshirish, texnologik yo‘qotishlarni kamaytirish, elektr sifatini yaxshilash, energiya xavfsizligi va elektr ta’minoti tizimlarining ishonchli ishlashini ta’minlaydi. 20 kV kuchlanishli taqsimlash elektr tarmoqlarining 6-10 kV kuchlanishli taqsimlash elektr tarmoqlariga nisbatan elektr energiyasini isroflarini kamaytirish, liniya quvvatini oshirish, podstansiyalarning xizmat ko‘rsatish diapazonini oshirish, qisqa tutashuv toklari darajasini pasaytirish kabi asosiy afzalliklari mavjud.

Tayanch iboralar: *energiya isrofi, taqsimlash elektr tarmog‘i, o‘rta kuchlanishli jihozlar, optimallashtirish, xarajatlar, kuchlanish, transfotmator.*

Статья посвящена решению актуальной научно-технической проблеме снижения потерь мощности и повышения пропускной способности национальных электрических сетей Узбекистана. Одним из способов энергосбережения является замена электрических сетей напряжением 6(10) кВ на электрические сети высокого напряжения, в частности 20 кВ. Использование имеющегося напряжения 20 кВ позволяет перевести распределительные сети на более высокий уровень электроснабжения. Кроме того, он обеспечивает повышение мощности по сравнению с существующей сетевой системой на одной территории, снижение технологических потерь, улучшение качества электроэнергии, энергобезопасность и надежную работу систем электроснабжения. Распределительные электрические сети напряжением 20 кВ имеют основные преимущества перед распределительными электрическими сетями напряжением 6-10 кВ, такие как снижение потерь электроэнергии, увеличение мощности линии, увеличение диапазона обслуживания подстанций, снижение уровня токов короткого замыкания.

Ключевые слова: *потери энергии, распределительная сеть, оборудование среднего напряжения, оптимизация, затраты, напряжение, трансформатор.*

Bugungi kunda tarqatish elektr tarmoqlari qoniqarli ahvolda emas, bu elektr jihozlarining yuqori darajadagi eskirishi, uni uzatish uchun elektr energiyasining katta yo‘qotilishi, avtomatlashtirishning past darajasi va yangi elektr iste’molchilarni tarmoqqa ko‘p ulash bilan bog‘liq. Elektr yuklamalarining o‘sishi ko‘pincha mavjud tarmoqlarda texnik cheklovlarga olib keladi. Yangi iste’molchilarning elektr ta’minlanishi uchun, qoida tariqasida, mavjudlariga parallel ravishda tarmoqlar quriladi. Biroq, bu har doim ham muammolarni hal qilmaydi iste’molchilarni kerakli miqdorda va standart sifatda elektr energiyasi bilan ta’minlay olmaydi. 20 *kV* kuchlanishli elektr tarmoqlaridan foydalanishning maqsadga muvofiqligi o‘tgan asrning o‘rtalaridan boshlab ushbu yechim tarafdorlari va qarshilari o‘rtasida munozaralarga sabab bo‘ldi [1, 3]. Shu aytish lozimki, elektr iste’molchilarning ortib ketishi sababli Moskvada 20 *kV* elektr tarmoqlarining birinchi chinakam keng ko‘lamli qurilishi 2000-yillarda boshlangan. Bugungi kunga qadar ushbu kuchlanish sinfidagi 1000 *km* dan ortiq kabel liniyalaridan foydalaniladi. O‘zbekistonning shahar va qishloq xo‘jaligi hududlarida 20 *kV* havo elektr tarmoqlarini rivojlantirishning ilmiy-uslubiy asoslari hali ishlab chiqilmagan. 10-20 *kV* oralig‘ida 10 va 20 *kV* havo liniyalarining xarajat xarakteristikalari deyarli farq qilmaydi. 10/0,4 va 20/0,4 *kV* transformator podstansiyalari narxidagi mavjud farq nisbatan past yuklanishlarda ham liniyalarda elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirish hisobiga qoplanadi. 20-35 *kV* diapazoni uchun 20/0,4 va 35/0,4 *kV* transformator podstansiyalarining xarajat ko‘rsatkichlari avvalgidek, faqat bir oz farq qiladi. Biroq, havo liniyalarining xarajat xarakteristikalari sezilarli darajada farq qiladi va tarmoqning qurilish qismining narxining oshishi sababli 35 *kV* foydalanish maqsadga muvofiq emas. 10 dan 35 *kV* ga o‘tishda tarmoqlarda elektr yo‘qotishlarining kamayishi tarmoqlarning haqiqiy parametrlarini hisobga olsak o‘tkazgichlar va elektr qurilmalari narxining oshishini qoplamaydi. [1, 2].

Yevropaning eng rivojlangan mamlakatlari yigirmanchi asrning ikkinchi yarmida 6-10 *kV* kuchlanishli elektr tarmog‘ini 20 *kV* kuchlanish sinfiga o‘tkazdilar. Masalan, Fransiyada 20 *kV* kuchlanishli tarqatish elektr tarmoqlarini qo‘llash 1962 yilda amalga oshirilgan. Bugungi kunda 20 *kV* elektr tarmoqlari Avstriya, Germaniya, Italiya, AQSh, Finlyandiya, Fransiya kabi mamlakatlar faol ishlatiladi. MDH mamlakatlarida 20 *kV* elektr tarmoqlari faqat Boltiqbo‘yi hududida faol rivojlangan [3].

Bugungi kunda Rossiya Federatsiyasida 20 *kV* nominal kuchlanishdagi tarqatish elektr tarmoqlaridan foydalanish bo‘yicha ma’lum bir tajriba mavjud. O‘zbekistonda hozirgacha elektr energiyasi taqsimotini rivojlantirishda 10 *kV* kuchlanish sinfidagi tarmoqlar qurish davom etmoqda, ular uchun asosiy texnologik va sxema yechimlari o‘tgan asrning o‘rtalarida shakllangan.

1-jadval

O‘rta kuchlanishli 4 *km* tarmoqdagi yillik energiya isroflari

Nominal kuchlani, h	AC markali havoda elektr uzatish tarmoqlarining ko‘ndalang kesim yuzasi, mm^2								
	25	35	50	70	95	120	150	185	240
	Tarmoqdagi energiya isrofi, *kVt·s/yil*								
6 kV	1912,9	1297,6	993,3	704,1	501,9	407,2	341,5	257	197,3
10 kV	689,1	467,4	357,8	253,6	180,8	146,7	123	92,6	71
20 kV	172,2	116,8	89,4	63,4	45,1	36,6	30,7	23,1	17,7

2-jadval

O‘rta kuchlanishli 4km tarmoqlardagi energiya isroflarining foizdagi qiymatlarining ko‘ndalang kesimiga bog‘liq o‘zgarishi

Nominal kuchlanishi	AC markali havoda elektr uzatish tarmoqlarining ko‘ndalang kesim yuzasi, mm^2								
	25	35	50	70	95	120	150	185	240
	Tarmoqqa yetkazib beriladigan elektr energiyasi miqdorining tarmoqdagi isroflari, %								
6 kV	5,88	3,98	3,05	2,16	1,54	1,25	1,05	0,79	0,61
10 kV	2,12	1,47	1,09	0,78	0,56	0,45	0,38	0,28	0,22
20 kV	0,59	0,36	0,27	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05

Yevropaning rivojlangan mamlakatlari tajribasini hisobga olib, biz nominal kuchlanishi 6–10 *kV* bo‘lgan tarqatish tarmoqlarini 20 *kV* kuchlanishga o‘tkazishni va kelajakda uch bosqichli (110-35-(6)10 *kV*) elektr energiyasini uzatish va taqsimlash tizimidan ikki bosqichli (110-20 *kV*) ga o‘tishni taklif qilamiz [4].

Turli kuchlanishlarda (6, 10, 20 *kV*) taqsimlash zonalarida elektr energiyasi yo‘qotishlarining qiyosiy tahlili o‘tkazildi. U amalga oshirilgan tarmoq bo‘limining elektr yo‘qotishlarni hisoblash *1-jadvalda* ko‘rsatilgan. Transformator podstansiyasi (TP) Bosh pasaytirish podstansiyasidan 110/6(10, 20) *kV* dan quvvat oladi. Bosh pasaytirish podstansiyasidan 1-nazorat nuqtasigacha bo‘lgan masofa 4 *km* ni tashkil qiladi. Tarmoqdagi elektr energiyasining quvvat isroflari (1) formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$\Delta W = 3 \cdot I_{\max}^2 \cdot \tau \cdot R \qquad (1)$$

bu erda: I_{max} – maksimal yuklama toki;

t – R qarshilikka ega bo‘lgan tarmoq elementining yuklamasi o‘zgarmas deb olinadigan vaqt oralig‘i;

R – ekvivalent tarmoq qarshiligi. Hisoblash natijalari *1-jadvalda* jamlangan [5].

1-rasmdan ko‘rinib turibdiki elektr eneegiyasining isrofini kamaytirish tarmoq simining materialini o‘zgartirmagan holda asosan ikkita omil orqali o‘tkazgichinng ko‘ndalang kesim yuzasini va kuchlanishning qiymatini oshirish orqali amalga oshiriladi. Formulaga (1) asosan ko‘ndalang kesim yuzasini oshirish qarshilikning kamayishiga hamda kuchlanishnini oshirish maksimal yuklama tokining karrasiga kamayishiga olib keladi yani energiya isrofi sezilarli darajada kamayadi [6].

2-jadvalda elektr energiyasining tarmoqqa tushgan miqdoriga nisbatan yo‘qotishlarining qiymatlari ko‘rsatilgan. Olingan natijalarga ko‘ra, 6(10) *kV* dan 20 *kV* kuchlanishga o‘tish paytida elektr energiyasini tejash 0,56-5,29% ni tashkil qiladi.

2-jadvalda keltirilgan ma’lumotlarga asoslanib 6-10-20 *kV* kuch-lanishli tarmoqlardagi elektr energiyasining isroflari o‘zgarishi *2-rasm* yaqqol tasvirlangan bo‘lib ko‘dalang kesim yuzasining o‘zgarishiga bog‘liq holda qancha foizga o‘zgarishi ko‘rsatilgan

Yuqoridagi ma’lumotlarga asoslangan holda, 20 *kV* sinfining boshqa kuchlanish sinflariga nisbatan afzalliklarini ko‘rib chiqaylik.

6, 10 kV sinflarga nisbatan:

– yuqori o‘tkazuvchanlik qobiliyati, bu elektr energiyasi iste‘molining hozirgi o‘sishini hisobga olgan holda muhim ahamiyatga ega;

– bu kuchlanish sinfi podstansiyalarning xizmat ko‘rsatish radiusini ikki baravar oshiradi;

– 6-10 *kV* liniyalarni qurish yuqori texnologik yo‘qotishlar tufayli samarador emas;

– har bir transformatsiyada o‘zgartirilgan quvvatning 5 dan 7% gacha yo‘qolishini hisobga olgan holda aytishimiz munkinki, bu juda katta miqdordagi pul mablag‘larini va millionlab tonna yoqilg‘i tejalishini anglatadi;

– elektr energiyasi yo‘qotishlarini 1,5 barobarga qisqartiradi;

kV sinfiga nisbatan:

– solishtirish mumkin bo‘lgan liniyalarni yotqizishning arzonligi 6(10) *kV* liniyalarni yotqizish qiymati bilan deyarli bir xil ekanligi;

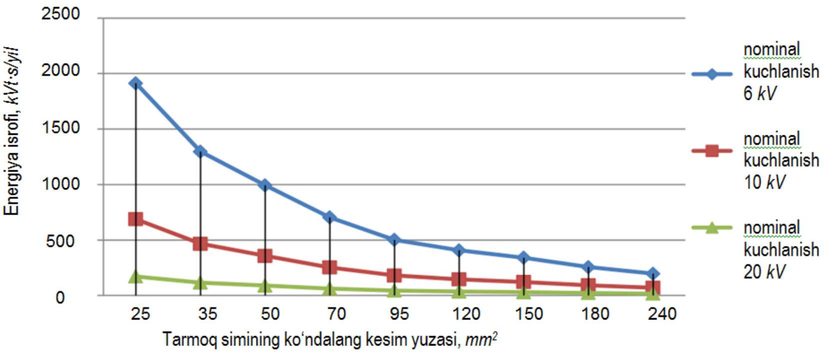
– daraxtlarni kesish xarajatlarini kamaytiradigan, shuningdek atrof-muhitga salbiy ta’sirni kamaytiradigan himoyalangan zonaning kichikroq bo‘lishi;

– kichik quvvatli iste’molchilar uchun 35 *kV* liniyalarni qurish juda qimmat;

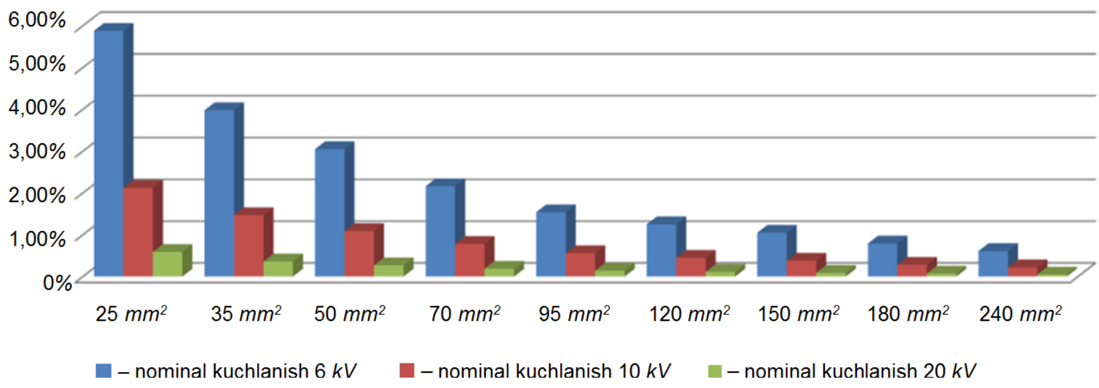
– rejalashtirilgan 35 *kV* tarmoqlar o‘rnini bosish uchun qurilgan 20 *kV* inshootlarning o‘rtacha qiymati 45–50% ni tashkil etdi.

Bu yerda mantiq shunday: 10-20 *kV* oralig‘ida havo liniyalarining xarajat xarakteristikalari deyarli farq qilmaydi. 10/0,4 va 20/0,4 *kV* transformator podstansiyalari narxidagi mavjud farq nisbatan past yuklanishlarda ham liniyalarda elektr energiyasi yo‘qotishlarini kamaytirish hisobiga qoplanadi. 20-35 *kV* diapazoni uchun 20/0,4 va 35/0,4 *kV* transformator podstansiyalarining xarajat ko‘rsatkichlari avvalgidek, faqat bir oz farq qiladi. Biroq, havo liniyalarining xarajat xarakteristikalari sezilarli darajada farq qiladi va 35 *kV* tarmoqning qurilish qismining narxining oshishi sababli samaradorligini pasaytiradi [7].

Darhaqiqat, mavjud 6-10 *kV* taqsimlash tarmoqlarini odatdagidek kompleks rekonstruksiya qilish uskunalarni yuqori quvvatli uskunalarga almashtirish bilan ularning o‘tkazuvchanligini oshirmaydi va ish faoliyatini tiklashdan tashqari ob’ektiv iqtisodiy samara bermaydi,



1-rasm. O‘rta kuchlanishli 4 km tarmoqdagi yillik energiya isroflarining kamaytirish grafiklari



2-rasm. O'rta kuchlanishli 4 km tarmoqdagi energiya isroflarining ko'ndalang kesim yuzasiga bo'liq o'zgarishi , %

shuning uchun eng yaxshi variant sifatida foydalanish muddati tugagan 6 *kV* taqsimlash tarmoqlarini yangi 20 *kV* tarmoqlarni almashtirishni taklif qilamiz va keyingi bosqichi 10 *kV* tarmoqlarni bosqichma-bosqich almashtirishdir. 6(10) *kv* kuchlanishli tarmoqni o'rniga 20 *kv* li tarmoqlarni o'rnatishda transformatorlarning o'lchamlari deyarli o'zgarmasligi, tarmoq tayanchlari va simlarining o'zgarmasligi qurilish va rekonstruksiya xarajatlarni keskin kamaytiradi.

20 *kV* kuchlanishli elektr tarmoqlarini qurishga o'tish uchun bir qator majburiy shartlar bajarilishi kerak:

1) yangi milliy standartlar va texnik reglamentlarni ishlab chiqish bilan me'yoriy-huquqiy bazani yangilash;

2) 110 *kV* quvvat markazlarida 20 *kV* kuchlanish darajasida quvvat zahiralarining mavjudligi;

3) ma'lum bir hududida 20 *kV* tarmoqlarni rivojlantirish konseptsiyasini ishlab chiqish;

4) 20 *kV* kuchlanishli uskunalar bozorini yaratish.

Elektr tarmoqlarini 20 *kV* nominal kuchlanishga aylantirish vazifasini ikki qismga bo'lish mumkin, ularning har biri hal qilish uchun mustaqil yondashuvlarga ega: mavjud 6(10) *kV* tarmoqlarni 20 *kV* nominal kuchlanishga aylantirish va 20 *kV* kuchlanishli yangi tarmoqlarni qurish [8].

10 *kV* dan 20 *kV* ga o'tishda havo elektr uzatish liniyalarida po'lat alyuminiy simlardan foydalanish fazalar orasidagi masofaning biroz oshishiga olib keldi (0,2-0,45 *m*), lekin havo liniyalarida kabel liniyalaridan foydalanganda bu masofa o'zgarmaydi. Bundan ko'rinib turibdiki, po'lat alyuminiy simlardan foydalanish uchun elektr uzatish liniyalari konstruksiyasiga o'zgartirishlar kiritish kerak. Amalda, temir-beton tayanchlarning an'anaviy tuzilmalarida fazalar orasidagi masofalar taxminan 2,5 baravar ko'p. Izolyatorlar va ulardagi o'zgartirishlarning narxi havo liniyasining umumiy qiymatining kichik miqdorini tashkil qiladi. Shu sababli, 10 *kV* havo liniyasi va 20 *kV* havo liniyasi o'rtasidagi kapital xarajatlardagi farq amalda 1% dan oshmaydi.

3-jadval

Transformator nimstansiyasi narxining jamlangan ko'rsatkichlari, *mln so'm*

Kuchlanish, U_{nom} (kV)	Quvvat, S_{nom} (kVA)				
	100	160	250	400	630
20/0,4	144	152	176	194	247
35/0,4	182	184	191	198	263

4-jadval

AC tipidagi simli aholi punktlarida 10-20 *kV* havo liniyalari uchun integral xarajatlar ko'rsatkichlari

Simning ko'ndalang kesim yuzasi, *mm²*		50	70	95	120
1 *km* uchun narx, *mln so'm/km*	10-20 *kV*	110	116	122	132
	35 *kV*	275	290	305	330
Havo liniyalarining narxlaridagi farq, *mln so'm/km*		165	174	183	198

Shuni ta'kidlash kerakki, o'rta kuchlanishli tarmoqlarda 110/6-10-20-35 *kV* nominal kuchlanishning kengaytirilgan tizimidan maksimal darajada pasaytirilgan 110/20 *kV* ga o'tishning maqsadga muvofiqligi va bir qator boshqa maqolalarda taklif qilingan. Havo tarmoqlarida 20/0,4 *kV* to'g'ridan-to'g'ri transformatsiyalangan 110/20 *kV* tizim sezilarli darajada kamroq pul, rangli metallar va ayniqsa, yuklama zichligining keng diapazonida transformator quvvatini talab qiladi [9].

Transformator podstansiyalarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini tahlili shuni ko'rsatadiki, texnik va iqtisodiy xususiyatlar komplekt transformator podstansiyasi 35/0,4 *kV* va transformator podstansiyasi 20/0,4 kV agar teng bo'lmasa, ba'zi hollarda juda yaqin qiymatga ega. *3-jadvalda* misol tariqasida bitta transformatorli 35/0,4 *kV* yuqori zavod tayyorgarligidagi komplekt transformator podstansiyasi va ma'lum darajada shunga o'xshash kabinali 20/0,4 kV transformatorli nimstansiya uchun jamlangan xarajatlar ko'rsatkichlari keltirilgan.

3-jadvaldagi qiymatlar ishlab chiqaruvchilarning takliflari va qabul qilingan smeta narxlari asosida shakllantirilgan hamda asbob-uskunalar, materiallar, loyihalash, qurilish, montaj qilish va ishga tushirish ishlari va ishga tushirish xarajatlarini hisobga olgan tayyorlangan.

3-jadvaldagi transformator nimstansiyasi uchun 20 va 35 *kV* tarafdagi elektr ulanish sxemalari bir xil: kuch transformatorini himoya qilish uchun kirishda ajratgich va saqlagichlar o'rnatilgan. Teng nominal quvvat bilan 20/0,4 va 35/0,4 *kV* transformatorlarning salt ishlash va qisqa tutashuvdagi isroflari juda yaqin va shuning uchun bundan keyin hisobga olinmaydi.

Havo liniyalarining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari [10] da ko'rsatilganidek, 10-20 *kv* havo liniyalarining narxi, boshqa barcha narsalar teng bo'lsa, deyarli bir xil. Biroq, 35 *kv* kuchlanishga o'tishda havo liniyalarining narxi keskin oshadi. Shunday qilib, [10] ga ko'ra, 35 *kV* bir zanjirli havo liniyasining 1 *km* uchun narx standarti 10 *kV*ga nisbatan a = 4,1 baravar yuqori. Biroq, eng arzon temir-beton tayanchlaridan foydalanganda, 35 *kV* kuchlanishli havo liniyalari narxining oshishi unchalik sezilmaydi: a ≈ 2,5. AC tipidagi simlari bo'lgan aholi punktlarida 10-20 *kV* havo liniyalari uchun integral xarajat ko'rsatkichlari, *4-jadvalda* ularning kesimlariga asoslanib keltirilgan (aholi yashamaydigan hududlar uchun narx 20-25% ga kamayadi):

Havo liniyalarining yuqoridagi xarajat tavsiflari ko'rib chiqilayotgan bir qator investitsiya loyihalarini qayta ishlash natijasida olingan. 35 *kV* kuchlanishli havo liniyasining narxi 10-20 *kV* havo liniyasining xarajatlarini a = 2,5 ga ko'paytirish hisoblangan [11].

O'rta kuchlanishli tarmoqlarda 110/10(6)–20–35 *kV* nominal kuchlanishlarning hamma joyda kengaygan tizimidan eng kamaytirilgan 110/20 *kV* ga o'tish maqsadga muvofiqligi aniqlandi. Shuningdek, ushbu davrda 20 *kV* kuchlanishli elektr tarmoqlari tuzilmasini maksimal darajada soddalashtirish va unifikatsiya qilish uchun barcha shart-sharoitlar yaratilgan. Asosiy konfiguratsiya ikkita ajratilgan quvvat markazlarining filiallari va ulanishlari boʻlgan, bir nuqtada qayta ulash qurilmasi bilan boʻlingan halqa sxemasi deb hisoblanishi kerak. Tarmoqlarni bir nechta qismlarga boʻlishdan foydalanadigan mavjud yondashuvlar ortiqcha deb hisoblanadi. Bugungi kunda oʻrta kuchlanishli tarmoqlarda 110/10(6)-20-35 *kV* nominal kuchlanishlarning keng tarqalgan kengaytirilgan tizimidan maksimal qisqartirilgan 110/20 *kV*ga oʻtish maqsadga muvofiqligi aniqlandi. Agar kerak boʻlsa, qoʻshimcha qismlarga ajratish uchun ajratgichlar yoki yuklama oʻchirgichlaridan foydalanish kifoyadir.

20 *kV* kuchlanishli elektr tarmogʻini rekonstruksiya qilishda muhim ishlardan biri neytral oʻtkazgichni yerga ulash usulini toʻgʻri tanlashdir. Neytralni yerga ulashda usulni tanlash elektr tarmoqlarini ishlab chiqish, loyihalash, qurish va ulardan foydalanishni tashkil etishda eng muhim masala boʻlib, foydalanishga topshirilgandan keyin ulardan foydalanishda muhim ahamiyatga ega [12].

Xulosa qilib shuni aytishimiz mumkinki mavjud 6-10 *kV* taqsimlash tarmoqlarida 20 *kV* kuchlanishdan foydalanish Oʻzbekistondagi isteʼmolchilarni elektr taʼminotining yuqori darajasiga oʻtishga imkon beradi, mavjud tarmoqlarga nisbatan quvvatni oshirish, texnologik yoʻqotishlarni kamaytirish, elektr energiyasi sifatini, energiya xavfsizligini va elektr taʼminoti tizimlarining ishonchliligini oshirish imkonini beradi. Demak, 20 *kV* kuchlanishli havo elektr uzatish liniyalarini qurish mamlakat energetika tizimi uchun ustuvor ahamiyatga ega, chunki bu ular isteʼmol qiladigan quvvatni 10 *kV* liniyalarga nisbatan deyarli bir xil narxda ikki baravar oshirish imkonini beradi. 10 va 20 *kV* havo simlarining narx xususiyatlari 10-20 *kV* oraligʻida deyarli bir xil. Liniyalardagi quvvat yoʻqotishlarining kamayishi, hatto nisbatan past yuklamalarda ham, 10/0,4 va 20/0,4 *kV* podstansiyalar oʻrtasidagi xarajatlar farqini qoplaydi. 20 *kV* tarmoq berilgan sim kesimi bilan 10 *kV* ga nisbatan ikki baravar koʻp quvvat uzatish mumkin va u bir xil uzatiladigan quvvat uchun quvvat va energiya yoʻqotishlarini deyarli toʻrt baravar kamaytirishi mumkin. 20/0,4 va 35/0,4 *kV* podstansiyalarning xarajat xarakteristikalari, yuqorida aytib oʻtilganidek, 20-35 *kV* oraligʻida bir oz farq qiladi. Biroq, tarmoqni qurishning yuqori xarajati tufayli havo liniyalarining xarajat xususiyatlari juda katta farq qiladi. Xususan, 10-20 *kV* kuchlanishli havo liniyalari uchun 11 metrli temir-beton tebranish tayanchlari koʻpincha, 35 *kV* havo liniyalari uchun esa ancha kattaroq 22,6 metrli temir-beton tayanchlar koʻpincha ishlatiladi. 10 dan 35 *kV*ga oʻtish davrida tarmoqlarda elektr isroflarining kamayishi oʻtkazgichlar va elektr jihozlari narxining oshishini qoplamaydi.

Bibliografik roʻyxat:

1. Осинцев К.А. Оценка и обеспечение эффективности воздушных электрических сетей напряжением 20 кВ // «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». – № 6 (69). – Москва, 2021. – С. 82-87.

2. Асташев Д.С. Применение напряжения 20 кВ для распределительных электрических сетей России // «Вестник НГИЭИ». – № 4. – Нижегородская область, 2015. – С. 6-9.

3. Соснина Е.Н., Липужин И.А. Внедрение сетей напряжением 20 кВ для распределительных электрических сетей России. «Актуальные проблемы электроэнергетики». – Нижний Новгород. – № 1, 2013. – С. 159-163.

4. Taslimov A.D., Raximov F.M., Raximov F.M. 0,4 kV li N ta liniyalarda elektr energiyasining yoʻqotilishlarini hisoblash dasturi. – T.: «Oʻzbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi», DGU №20534. 2023.

5. Taslimov A.D. Selection of a Complex of Parameters of Distribution Electric Networks with Respect to Technical Limitations // «E3S Web of Conferences». – Vol. 209, 2020. ENERGY-21 Sustainable Development & Smart Managemen, pp. 1-6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020907013.

6. Taslimov A.D., Rakhimov F.M., Rakhimov F.M. Economic interval analysis of loads for selection of cross-section surfaces of electrical transmission lines. // «E3S Web of Conferences», – Vol. 384, 2023. Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems, 1-5 pp. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401037.

7. Taslimov A.D. Shahar elektr taʼminoti tizimlarining parametrlari va tuzilishini optimallashtirish muammolarida matematik modella //. «Energiya va resurs tejash muommolari». – № 3. – Toshkent, 2017. 62-65 b.

8. Осинцев К.А. Еще раз о переводе воздушных электрических сетей 6-10 кВ на напряжение 20 или 35 кВ // «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». – № 5 (50). – Москва, 2018. – С. 70-72.

9. Mayorov A.A., Osintsev K.D., Shuntov A.A. On overhead networks transfer from 10(6) kV to 20kV. // «E3S Web of Conferences», –Vol. 58, 2018. Methodological problems in reliability study of large energy systems, pp. 63-68. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20185801003.

10. Иванов В.Е. Разработка технических решений и рекомендаций по переводу действующих сетей 6–10 кВ на напряжение 20 кВ в сельской местности // «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение». – № 4 (49). – Москва, 2018. – С. 36-41.

UO‘K 621.355 DOI:10.54073/GV.2024.1.96.026

AKKUMULYATOR BATAREYALARINI REAL VAQT REJIMIDA PARAMETRLARNI NAZORAT QILISH JARAYONINI MATEMATIK MODELINI TAKOMILLASHTIRISH



Qarshibayev A.I.,
NDKTU Energo-mexanika fakulteti dekani, «Elektr energetikasi» kafedrasi professori, t.f.d.

Ataullayev N.O.,
NDKTU «Elektr energetikasi» kafedrasi mudiri, PhD, dotsent

Murodov X.Sh.,
NDKTU «Elektr energetikasi» kaefedrasi katta o’qituvchisi

Maqolada parallel ulangan bir xil kuchlanishli va har xil kuchlanishli qo‘rg‘oshin–kislotali geleviy akkumulyator batareyalarining zaryadlash jarayonining real vaqt rejimidagi matematik modeli va Matlab/Simulinkdagi modeli izohlangan. Akkumulyator batareyalarining har xil turini bitta manba orqali zaryadlangan yoki zaryadsizlangandagi elektrotexnik parametrlarining o‘zgarishi tahlil qilingan. Akkumulyator batareyalarining turli kuchlanishlar bilan zaryadlanishini uning sikllar soniga, zaryadlanish darajasi va zaryadsizlanish chuqurligi ko‘rsatkichlariga ta’siri o‘rganilgan. Katta quvvatli akkumulyator batareyalarning ko‘plab batareyalarni yig‘ishda akkumulyator turiga, tuzulishiga, zaryadlanish va zaryadsizlanish rejimlariga tekshirish orqali ularning uzoq muddatli ishlay olish va optimal ishlashini ta’minlashga qaratiladi. Shuningdek maqolada qisqacha simulyatsiyalash metodlari, akkumulyator batareyalarni parallel va ketma-ket yig‘ilgandagi yangi uslublar va modellashtirish natijalari keltirilgan. Bu modellarni yuqori quvvatli akkumulyator batareyalari mavjud issiqlik elektr stansiayalarida lokal energetik tizimlar uchun yig‘iluvch bloklarini loyihalashda qo‘llasa bo‘ladi.

Tayanch iboralar: *akkumulyator batareyasi, matematik model, zaryadlanish, zaryadsizlanish, parallel, ketma-ket, elektrotexnik parametr, kuchlanish, ishchi rejim, elektrotexnik parametr.*

В статье рассмотрена математическая модель процесса зарядки свинцово–кислотных гелиевых аккумуляторов одинакового и разного напряжения, подключенных параллельно, в реальном времени и модель в Matlab/Simulink. Проанализированы изменения электротехнических параметров различных типов аккумуляторных батарей при их зарядке или разрядке от одного источника. Изучено влияние заряда аккумуляторных батарей с различным напряжением на количество его циклов, показатели уровня заряда и глубины разряда. Аккумулятор большой ёмкости фокусируется на обеспечении долговечности и оптимальной производительности аккумуляторов путём проверки их типа, конструкции, режимов зарядки и разрядки при сборке многих аккумуляторов. В статье также представлены краткие методы моделирования, новые методы и результаты моделирования при параллельной и последовательной сборке аккумуляторных батарей. Данные модели могут быть использованы при проектировании сборочных агрегатов для локальных энергосистем на тепловых электростанциях, где имеются аккумуляторные батареи большой мощности.

Ключевые слова: *аккумуляторная батарея, математическая модель, заряд, разряд, параллельный, последовательный, электротехнический параметр, напряжение, рабочий режим, электротехнический параметр.*

Hozirgi kunda elektr energiyasini yig‘ib undan foydalanish transport vositalarida, qayta tiklanuvchi energiya manba’larida, robototexnikada, avtonom elektron tizimlarda shuningdek issiqlik elektr stansiyalarda va podstansiyalarda ikkilamchi himoya manbasi sifatida texnologik jixatdan rivojlanib bormoqda. Akkumulyator batareyalari bozorini tobora o‘sib borishi, shuningdek ko‘plab ilmiy tadqiqotlarining olib borilayaotganligi akkumulyator batareyasi (AKB) yangi turlarini ishlab chiqish, an’anaviy turlarining esa samaradorligini oshirish yo‘nalishlari bo‘yicha bir qancha ishlarning amalga oshirilishi buning yaqqol tasdig‘i bo‘la oladi. Olib borilgan tadqiqotlarda, AKBning har birini alohida hayotiy sikllarini modellashtirish, kritik chegaralarini kamaytirish orqali ekspluatatsiya davrini yaxshilash hamda zaryadlanish darajasining (ZD) pasayishi, zaryadsizlanish chuqurligi ko‘rsatkichlariga (ZCHK) bo‘yicha ishlar oxiriga yetkazilmagan va AKB simulyatsiyalari oxiriga yetkazilmagan. Shunan kelib chiqib AKB talablariga asosan uning matematik modellarini takomillashtirsh yuzaga dolzarb masala bo‘lib qolmoqda. Katta quvvatli ko‘plab sonli batareyalarni yig‘ishda akkumulyator batareyalarini turiga, tuzulishiga, zaryadlanish va zaryadsizlanish rejimlariga tekshirish orqali ularning uzoq muddatli va optimal ishlashini ta’minlashga qaratiladi. Maqolada qisqacha simulyatsiyalash metodlari, AKB parallel va ketma-ket yig‘ilgandagi bir qancha yangi uslublar va modellashtirish natijalari keltirilgan. Bu modellarni yuqori quvvatli AKBlari mavjud issiqlik elektr stansiayalarida lokal energetik tizimlar uchun yig‘iluvch bloklarini loyihalashda qo‘llasa bo‘ladi [1]. Matematik modellashtirish bu – murakkab tizimlar uchun fundamental metod hisoblanadi. Umuman olgan boshqa metodlar masalan analitik metod, sonli metod, immitatsion metod va boshqa metodlardan ham foydalansa ham bo‘ladi. Ammo birinchi navbatda tizimlar xususiyatidan va jarayonlardan kelib chiqib analitik metodlardan ma’lumotlar yig‘ilib matematik ifodasi yoziladi.

Sonli modellashtirish matematik hisoblashlarda va tizimning tenglamalarini yaqinlashishini hisoblashda foydalaniladi. Bunda olingan bu ma’lumotlar analitik yechimni to‘liq qamrab ola olmaydi va sonli metod uchun tizimning sezgirligiga ta’sir o‘tkazadi. Immitatsion uslubda esa tadqiq qilinadigan tizimni funktsiya jixatidan sonli modellashtirish vaqt ketma-ketligiga amal qiladi, mantiqiy tuzulishini saqlaydi ammo yuqori detallashgan xususiyatini saqlab qola olmaydi. U o‘rganilayortgan obyektni tizimga nisbatan tezlashtirilgan, sekinlashtirilgan templarda har xil variantda kuztish imkonini beradi. Bu esa obyektni real holatiga yaqinlashtira boradi [2, 3].

AKB-murakkab fizik-kimyoviy, elektrokimyoviy va elektrotexnik obyekt hisoblanib, uni turli xil usullar va hisoblashar bilan o‘rganiladi. Bu qilinadigan ishimizda AKBning fizik-kimyoviy, elektrokimyoviy jarayonlari, uning mexanikasi ya’ni mustahkamligi ko‘rilmaydi. Balki uning elektrotexnik xususiyatlarini o‘rganishga qaratiladi .

Vaqt oraliqlarida modellashtirish masshtabi bo’yicha quyidagi yo’nalishlarni belgilab olamiz: 1) AKB ni bir marta va bir qancha zaryadlanish-zaryadsizlanish sikllarini davomida batareya joriy holatini o‘zgarishini o‘rganish; 2) AKB ning funktsional holat parametrini ishga tushirishda uzoq muddatli ekspluatatsiya jarayonini o‘tkazish muhim hisoblanadi. Ko‘rsatilgan yo‘nalishlarga nisbatan mustaqil va hisob parametrlarida har xil bo‘lsada yagona modelga birlashtirish mumkin bo‘ladi.

AKB ishlashini iqtisodiy asoslash uchun birinchi darajada uzoq muddatli modellashtirish eksplua-atsiyasi muhimroq hisoblanadi. Biroq kichik bir muhim jihati uning qisqa muddatli sikllarini inobatga olmaslikga to‘g‘ri keladi. Bu obyektni umumiy elektrotexnik joriy holatiga sezilarli ta’ sir o‘tkazmaydi. Ko‘rilayorgan obyektning matematik modelini qurishda ta’sir etuvchi parametrlarni ajratib olish va uning asosida qurish bilan boshqa qismlarini o‘zgarmasligini ta’minlash muhim hisoblanadi. Qurilayotgan modelni uzoq muddatli ishlashi undagi parametlarning ahamiyatliligi bilan va bog‘liq ta’sriga ko‘ra bo‘ladi.

Quyida keltirilgan AKB blok sxemadagi (*1-rasm*) parametrlarda bir tomonlama yo‘nalishli strelka AKB joriy holatiga bog‘liq bo‘lmagan parametrlar hisoblanadi, ikki tomonlama yo‘nalishli strelka funktsiyallash jarayonida joriy holat xususiyatini o‘zgartirishi mumkin bo‘lgan parametrlar hisoblanadi. Bu parametrlar AKB ning umumiy holatini tavsiflamay balki uning elektrotexnik ob’yekt sifatida ko‘rilishi mumkin bo‘lgan parametrlarni qamrab oladi.

Yuqorida berilgan parametrlar AKBning elektrokimyoviy va mexanik parametrlariga ta’sir etmaydigan qilib o‘zgartiriladi. Ular orasidan bir o‘lchamli elktrkimyoviy vazifalarda qo‘llaniladigan parametrlar masalan (elektrodlar g’ovakligi, elektrolitlar zichligi va boshqalar); model tenglamalaridan foydalanib ajratib olinadi (masalan Sheferdning empirik tenglamalari). Zaryadsizlanish egriligi, shuningdek AKBning parametrlariga va uning barcha tashkil etuvchilariga bog‘liq bo‘lgan batareya ekvivalent sxemasi tuziladi (masalan zaryadlanish darajasiga bog‘liq). Bunda oxirgi yondashuv standart modellashtirishga ancha yaqinroq bo’lib AKBlarning elektrotexnik tashkil etuvchilarini o‘zida soddaroq ko’rsata oladi va Matlab Simulink va boshqa dasturlarda tasvirlash uchun bir muncha qulaylikar yaratadi [6, 7].

Batareya simulyatsiyasi parametrlari: C_0, U_0, I_0 – nominal sig‘im va kuchlanish; I_0 – tok kuchining pik qiymati; τ vaqt; I_{max}, I_{nor} – maksimal ruxsat etilgan va normal zaryadsizlanish toki; $ZCHK_{max}$ – maksimal ruxsat yetilgan zaryadsizlanish chuqurligi ko‘rsatkichi; U_{zar}, I_{zar} – tavsiya yetilgan zaryadlash kuchlanishi va toki; R_{ich} – ichki faol va qutblanuvchi qarshilik; $C_0'_{max}$ – elektr sig‘im; E_0 – zanjirni ajratuvchi kuchlanish; *I, ZCHK, ZD, T* – Joriy holatdagi tok kuchi, zaryadlanish darajasi ko‘esatkichi, zaryadlanish darajasi va harorati; T_0, *p*, ξ – atrof muhit harorati, bosim, namlik, γ – akkumulyator batareyalarining muvozanat-lansih darajsi.

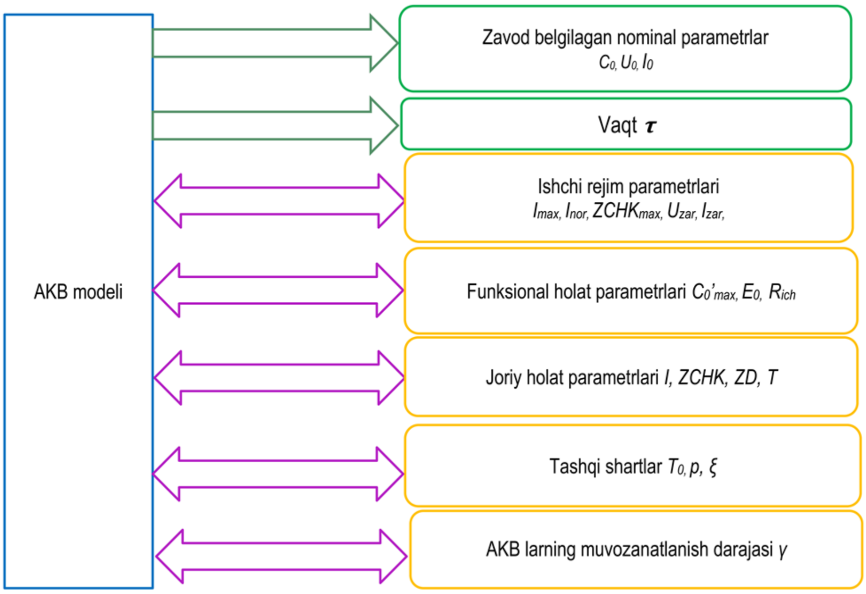
AKB joriy holatini oddiy matematik modellashtirish Puekerta va Sheferd tenglamasi (1) hisoblanadi [4]. AKB turiga bog‘liq holda Puerta ko‘rsatkichi *1-jadvalda* keltirilgan [5].

$$\tau_I = \frac{const}{I^p}, \qquad (1)$$

bu yerda τ_I – tokda zaryadsizlanish vaqti, *s*;

I – zaryadsizlanish toki, A;

p – Puerta ko‘rsatkichi.



1-rasm. Akkumulyator batareyalarning modellashtirish parametrlari

1-jadval

AKB turiga va xaroratiga bog‘liq Puerta ko‘rsatkichi

AKB turi	p	AKB turi	p
Pb	1,27-1,34	Ni-Zn-H	1,09
Ni-Cd	1,14	Ag-Zn	1,05
Ni-Mh	1,10	Na-S	1,10

2-jadval

AKB turlari bo‘yich sonli solishtirish jadvali

AKB turi parametri	Qo‘rg‘oshin kislotali	Nikel-kadmiyli	Nikel-metall-gidridli	Litiy-ionli
Akkumulyatorning nominal kuchlanishi, *V*	2	1,2	1,2	3.7
Solishtirma energiya sig‘imi, *Vt·soat/kg*	30-40	40-60	30-80	90-140
Solishtirma quvvati, *Vt/kg*	180	150	250-1000	1800
Zarzaryadlanish/zaryadsizlanish sikllar soni (yaroqlilik muddati)	500-800	2000	800	2000
O‘rtacha zaryadlanish vaqti, *soat*	10 soatdan ortiqroq	8	6	2
O‘rtacha o‘z-o‘zidan zaryadsiz-lanish vaqti oyiga, *%*	4	20	30	7
1 *kVt·soat* o‘rtacha narxlari, *so‘m*	1823617	729447	3039362	5470852

Sheferd modelida AKB tok va kuchlanishini elektrokimyoviy jihatidan bog‘laydi (2).

$$E_1 = E_0 - R_{ich} \cdot I - K_1 \cdot \frac{f}{1-f} \qquad (2)$$

bu yerda E_1 – AKB kuchlanishi, *V*;

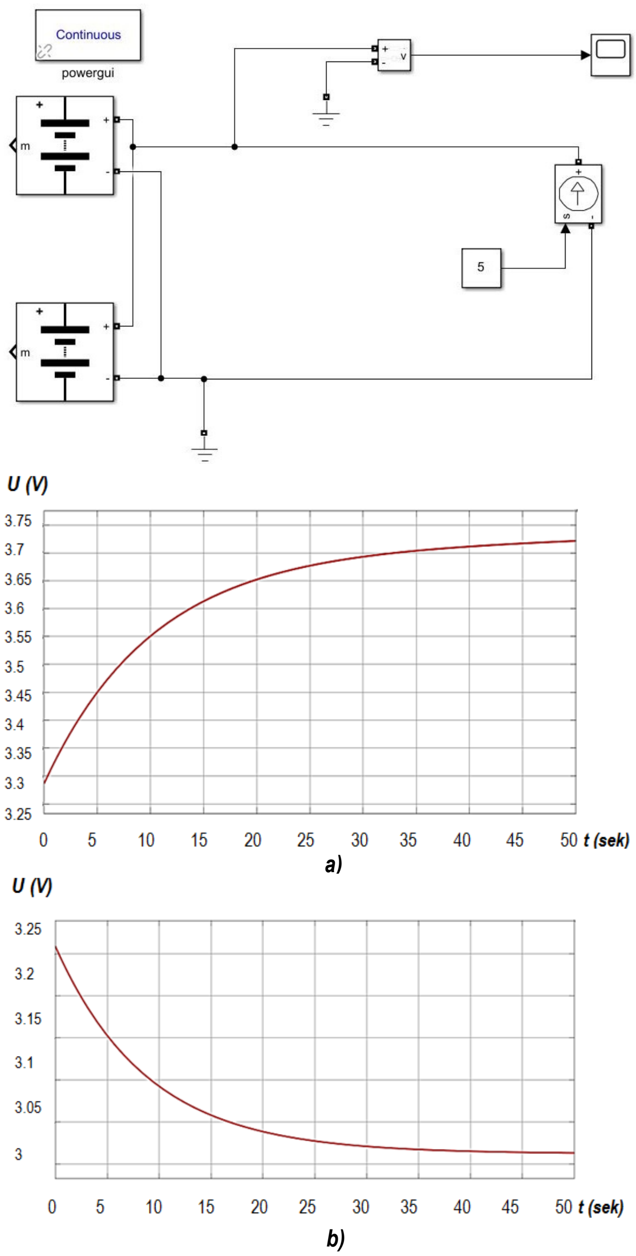
E_0 – AKB ning to‘liq zaryadlangandagi zanjirdan ajralgan kuchlanishi, *Om*;

I – aryadsizlanish toki, *A*;

K_1 – kuchlanishning qutblanishi, *V*.

$$f = \int \frac{Idt}{Q}$$

AKB zaryadlanish darajasi, yoki ZD (yig‘ilgan zaryadning to‘liq sig‘imga nisbati); *Q* – AKB ning to‘liq sig‘imi, *A·soat*.

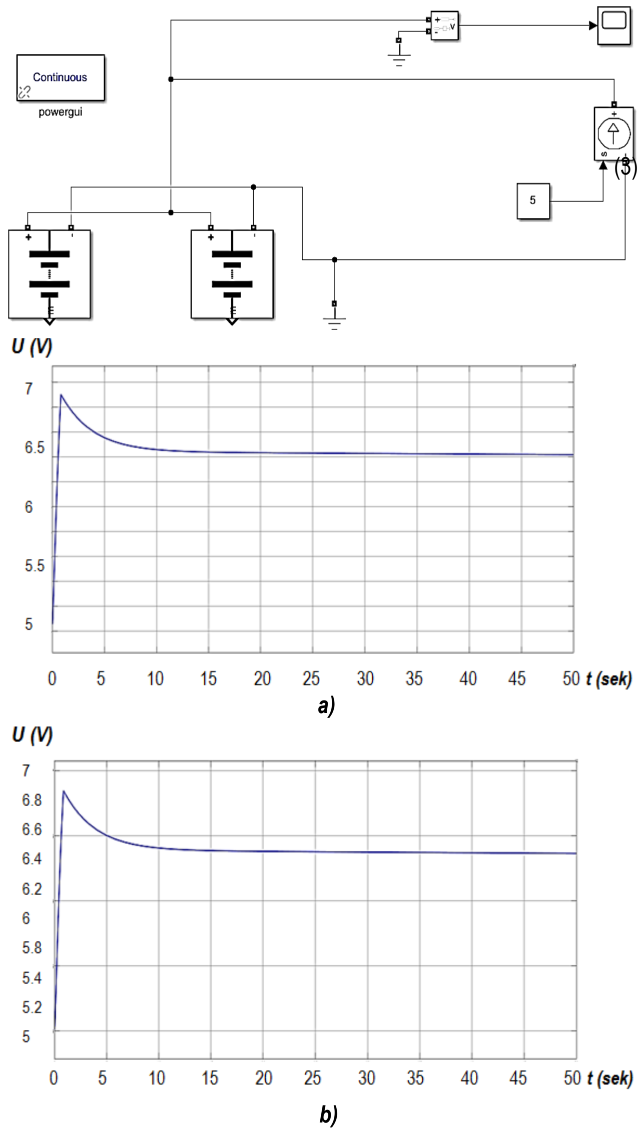


2-rasm. Parallel ulangan 2 ta bir xil kuchlanishli, qo'rg'oshin kislotali AKBlarni MatLab-Simulinkda zaryadlash sxemasi: *a – kuchlanishi 3 Voltli elektr sig'imi 5.4 A·soatli 2 ta akkumulyatorlarning zaryadlanish jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial o'zagarishi; b – kuchlanishi 3 Voltli elektr sig'imi 5.4 A·soatli 2 ta akkumulyatorlarning zaryadsizlanish jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial o'zagarishi*

Empirik modelni butunligicha tavsiflash uchun AKB ning ichki parametrlarini bog'lanishini va ZD, ZCHK qiymatlarini funktsional oddiy tavsiflash mumkin.

Almashtirish sxemalari elektr qurilmaning matematik modelini grafik tasvirlanishi hisoblanadi. AKB ning almashtirish sxemalarining oddiylarini qarab chiqilganki unda oxirgi sig'im, zaryadlanish vaqtidagi o'ta kuchlanish, kondensator modeli bilan, zaryadlanish tezligi chegarasini immitatsiyalash, akkumulyatorlar guruhining muvozanatlanish darajasi inobatga olinmagan.

Bundan tashqari bir nechta murakkab sxemalar masalan Tevinina modeli, zaryadlanishdagi o'ta kuchlanishni immitatsiyalagan buni ichiga yana o'z-o'zini zaryadsizlash rezistorini ham oladi [6].



3-rasm. Parallel ulangan har xil kuchlanishli AKB batareyalarini ulanish sxemasi: *a – nominal kuchlanishi 5 V va 3 V, sig'imi 5.4 A·soat bo'lgan qo'rg'oshin kislotali akkumulyator batareyalarini zaryadlansih jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial bo'lmagan o'zagarishi; b nominal kuchlanishi 5 V va 3 V, sig'imi 5.4 A·soat bo'lgan qo'rg'oshin kislotali akkumulyator batareyalarini zaryadlansih jarayonida ularning kuchlanishini eksponensial bo'lmagan o'zagarishi*

Shunday almashtirish modellari borki unda zanjirning element qiymatlari tok yoki kuchlanishga bog'liq bo'ladi. Ba'zi hollarda o'ta kuchlanish va ichki qarshilik zaryadsizlanishi va zaryadlanish rejimlarining davri, rezistorlari batareyaning elektr xususiyatlarini takrorlash uchun turli xil xususiyatlarga ega chiziqli bo'lmagan elementlar tomonidan immitatsiyalanadi shuningdek AKB turlari bo'yich sonli solishtirish jadvali *2-jadvalda* keltirilgan [7].

Issiqlik elektr stansiyalarini bloklariga yuqori quvvatli akkumlyator batareyalarini tanlashda, bir nechta omillarga e'tibor qaratish kerak bo'lgan zaryadlanish xususiyatiga, ishlash muddatiga, yuklama xususiyatiga.

Tajribani tahlil qilib, aniqlik va ko'p qirralilikni ta'minlash uchun batareyani modellashtirishni simulyatsiyalash uchun standart elektrotexnik paketlaridan almashtirish sxemalari yordamida amalga oshirish maqsadga muvofiqdir degan xulosaga kelishimiz mumkin.Fizik yetarlilik tamoyillariga asoslanib, almashtirish modelini kuchlanish manbadan foydalanmasdan

3-jadval

AKBlarning turiga bog‘liq sifat parametrlari bo‘yicha ko‘rsatkichi

AKB turi sifat parametri	Qo‘rg‘oshin kislotali	Nikel-kadmiyli	Nikel-metall-gidridli	Litiy-ionli
Ixchamliligi	–	+	+	+
Tez zaryadlanish jarayoni	–	+	+	+
Utilizatsiyaning oddiyligi	–	–	+	+
3 ildan ortiq saqlash muddati	+	+	–	+
Xotira ta’siri	–	+	+	–
Ruxsat etilgan qayta zaryadlanish	yuqori	o‘rta	past	juda past
Zaryadsizlanish chuqurligi (DOD)	50%	50-80%	50-85%	80%
Xizmat ko‘rsatish davri	3-6 oy	1-2 oy	2-3 oy	tartblan-magan

tuzish afzalroqdir, lekin faqat undagi minimal va maksimal kuchlanishni cheklaydigan sig‘im va boshqa tashkil etuvchilar, shuningdek zaryadlanish vaqtida o‘ta kuchlanishni va zanjirdagi batareyaning boshqa xususiyatlarini immitatsiya qilinadi.

Akkumulyator batareyalarini modellashtirishda uning turiga, kimyoviy xususiyatlariga va mexanik tuzilishiga va yana boshqa parametrlarini o‘zgartirmasligiga e’tibor qaratish zarur.

AKB turiga ko‘ra quyidagicha solishtirma kattaliklarini ko‘rish mumkin ularning kimyoviy xossasiga quyidagi jadvalda qaralgan (*2-jadval*) [6].

Akkumulyator batareyalari issiqlik elektr stansiyalari uchun statasionar holtda alohida xonada saqlangani uchun ixchamliligi muhim emas. Asosan uning ishlash muddatining yuqoriligi, zaryadsizlanish tokining katta qiymatiga bardoshliligi, zaryadsizlanish chuqurliginig yuqori bo‘lmasligi, xizmat ko‘rsatishning kam bo’lishi va tartibga solinganligi muhim ahamiyat kasb etadi.

Shu bilan bir qatorda ularning sifat ko‘rsatkichlariga ham e’tibor qaratiladi.

AKB turlari bo‘yicha uning sifat ko‘rsatkichlarini quyidagi *3-jadvalda* ko‘rishimiz mumkin.

AKB ning matematik modelini yaratishda uning dasturiy vositasidan foydalaniladi. AKB tizmini modellashtirish uchun bir nechta tayanch dasturlarini qarab chiqamiz.

Matlab/Simulink [8, 9] – bu diskret, uzluksiz va gibrid, chiziqli bo'l-magan va uzluksiz tizimlarini o'z ichiga olgan dinamik modellarni qurish uchun yo'naltirilgan grafiklar ko'rinishidagi blok-diagrammalardan foyda-lanishga imkon beradigan simulyatsiyali modellashtirishning grafik muhiti hisoblanadi.

Simulink kengaytirish qo'shimcha paketlari model kontseptsiyasini ishlab chiqishdan tortib sinov, tekshirish, ishlab chiqarishgacha bo'lgan keng ko'lamli muammolarni hal qilish va kodlarni ishlab chiqish va qurilmalarnini qo‘llash bilan olinadigan natijalarni reallikga yaqin holatda olish imkonini beradi.

Matlab/Simulink muhitiga birlashtirilgan bo'lib, u o‘rnatilgan matemat-ik algoritmlar, kuchli ma’lumotlarni qayta ishlash vositalari va ilmiy graf-ikalarda qurish imkonini beradi [10, 11, 12].

Matlab/Simulink dasturi yordamida akkumulyator batareyasining modelini quramiz. Bunda ikkita akkumulyator batareyasining zaryadlanish va zaryadsizlanishdagi jarayonni ko‘rib chiqamiz. *2-rasmda* 2 ta bir xil parametrli AKB zaryadlash sxemasi keltirilgan. 2 dona bir xil akkumulya-tor batareyasini zaryadlash jarayonida ularning kuchlanish o‘zgarish jarayoni *2-rasmda* ko’rsatilgan. Qo‘rg‘oshin-kislotali AB zaryadlanishidagi matematik modelini keltiramiz

$$F1(it, i^*, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q + 0.1it} \cdot i^* -$$

$$K \cdot \frac{Q}{Q + 0.1it} \cdot i + (Exp(s) \frac{Laplace^{-1}}{Sel(s)}, \frac{1}{s})$$

bu yerda: E_0 – o‘zgarmas kuchlanish, *V*;

Exp(s) – eksponensial dinamik hududi;

Sel(s) – batareya rejimi ko‘rsatadi *Sel(s)* = 0 bunda batareya zaryadsizlanadi, *Sel(s)* = 1 zaryadlanish akumulyator vaqtida;

K – qutblanish doimiysi (Ach-1) yoki qutblanish qarshiligi, *Om*;

I^* – past chastotadagi joriy tok (A); *I* – batareya toki, *A*;

It – to‘lgan sig‘im, *A·soat*;

Q – batareyaning maksimal sig‘imi, *A·soat* [13].

Yuqorida keltirilgan matematik modeldan ko‘rinib turibdiki qo‘rg‘oshin kislotali AKB zaryadlanish jarayoni eksponensial qonunga bo‘ysunadi. Bunda boshlang‘ich holatda tezlik bilan zaryad oladi va keyin zaryadlanish jarayoni sekinlasha boradi. AKB turli xil kuchlanishda bo‘lgan ularning bitta manbadan zaryadlashda ularga nosimmetrik kuchlanish hosil bo‘ladi buning oqibatida zaryadlanish jarayonining boshlanishida AKB o‘zining nominal qiymatida zaryadlanmaydi ya’ni zaryadlanish muvozanati buziladi. Bu jarayonni tekshirish uchun quyidagi sxemani (*3-rasm*) yig‘ib har xil kuchlanishli batareyalarni ulab uning zaryadlanish jarayonidagi kuchkan-ish o’zgarishini kuzatamiz.

3a-rasmda qurilgan sxema orqali Simulinkda olingan natijada uning kuchlanishning sakrash jarayonini ko’rish mumkin. Olingan natijalardan ko‘rinib turibdiki har xil kuchlanishli AKB larni zaryadlashda matematik model simmetrik hoatda ishlay olmaydi va oldingi ishlab chiqilgan ma-tematik model ishlamaydi.

Shuning uchun bu matematik modelni muvozanatda bo‘lmaydigan AKBlari uchun takomillashtirish zaruratini paydo qiladi. AKBlarni har xil kuchlanishda zaryadlash jarayoni uchun matematik modelni eksponensial va o‘tkinchi jarayon qonunlariga bo‘ysunadi.

$$F'(it, i^*, Exp) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q + 0.1it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q + 0.1it} \cdot i +$$

$$+ Laplace^{-1}(\frac{Exp(s)}{Sel(s)}, \frac{1}{s}) + A \cdot Exp(-B \cdot it)$$

bu yerda *A* – Eksponensial kuchlanish, *V*;

B – Eks ponensial sig‘im, *A·soat*.

Zaryadlanish jarayonida AKB larning eskirishi, sikllar sonining oshi-shi bilan *ZD* pasaya boradi. Shuningdek *ZCHK* zaryadsizlanish chuqurli-gi ko‘rsatkichining tezda o‘sib borishiga sabab bo‘ladi. Ko‘pgina hola-tlarda bir nechta akkumulyatorli batareyalar majmuasi bitta manba’dan zaryadlanishi ularning yagona zaryadsizlanishi manbaasiga egaligi ularning alohida akkumulyatorlardagi *ZD* va *ZCHK* chuqurligi o‘zgarishi bir xil bo‘lmaydi. Buning natijasida ularning zaryadlanish kuchlanishi o‘zgara boradi va bu farq 10% gacha tashkil etsa ularning eskirish dara-jasi tezlasha boradi.

Xulosa qilib shuni aytish mumkinki batareyaning real vaqt rejimida ishlash jarayoni va asosiy yo‘nalishlari ko‘rib chiqildi. Ko‘p sonli AKBlar uchun simulyatsiyalash jarayonlari keltirilgan ammo bir nechta AKBlar uchun bu muammo keltirib chiqaradi. Buning uchn uni *Matlab/Simulink*da bir nechta AKB baterayalarning simmetrik zaryadlanishi va nosimmerik zaryadlanish jarayonlari koʻrib chiqildi. Soddalashtirilgan matematik modellar yordamida bir nechta AKB lar uchun zaryadlanish parametrlarini hisoblashlarni tezlashtirish mumkin. Turli xil kuchlanishda ishlovchi AKBlarni bitta manbadan zaryadlanishi yoki zaryadsizlanishi ularning ZD darajasi va ZCHK chuqurligining pasayishiga olib keladi. Asosan bir xil kuchlanishli AKBlarga qraganda bir-biridan kuchlanishi 10% farq qiladigan AKBlar zaryadlanganda ularning zaryad koʻrsatkichlari sezilarli darajada pasayishini koʻrsatdi.

Bibliografik roʻyxat:

1. Лагутина Е.И. Математическая модель функционирования системы разогрева аккумуляторной батареи с помощью химического нагревательного элемента // «Universum: технические науки». – М.: «МЦНО», 2016. – С. 105-111.

2. Рыкованов А.С. Активные и пассивные системы баланса Li-ion аккумуляторных батарей // Силовая электроника. – № 3. – М.: «Компоненты и технологии», 2014. – С. 121-124.

3. Смоленцев Н.И. Накопители энергии в локальных электрических сетях // Ползуновский вестник. – № 4. – М.: «Электрика», 2013. – С. 176-181.

4. Ataullaev N.O., Dziaruhina E.A., Murodov Kh.Sh. Static Characteristics of Magnetic Modulation DC Converters with Analog Filter // Международный научно-технический журнал. № 5. – Белорусия: «Наука и техника», 2023. – С. 428-433.

5. Бухаров А.И., Емельянов А.А., Суднов В.П. Средства заряда аккумуляторов и аккумуляторных батарей // Справочник. № 1. – М.: «Электромеханикам», 1988. – 288 с.

6. Qarshibaev A.I., Narzullaev B.Sh., Murodov H.Sh. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises // Физический журнал. – № 1. Том 1679. – Красноярск – Россия: «Прикладная физика», 2020. – С. 1-6. doi:10.1088/1742-6596/1679/2/022074.

7. Turdibekov K.X., Sulliev A.X., Iskandarova O.S., Boboqulov J.S. Experimental and statistical methods for studying the modes of electric power systems under conditions of uncertainty // «E3S Web of Conferences». No. 1. – Vol. 452, EDP Sciences, 2023, pp. 1-6.

8. Tatkeyeva G., Kurabayev I., Ataullaev N., Murodov X. Experimental research of the developed method to determine the network insulation for ungrounded AC systems in laboratory conditions // Международная конференция по электротехнике. № 3. – Белорусия, июль, 2022. – С. 1-4.

10. Dobrego K.V., Bladyko Y.V. Modeling Battery Connections in the Electronic Lab. // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений стран СНГ. – № 1. – Белорусия: «Энергетика», 2021. – С. 27-39. https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-5-381-392.

11. Murodov Kh.Sh., Karshibayev A.I. Development of the management system of technical indications of high-power charger-discharger rectifier device // «E3S Web of Conferences». – № 1. – Vol. 417, EDP Sciences, 2023, pp. 1-6. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703012.

12. Ufert M., Baker B. Battery Ageing as Part of the System Design of Battery Electric Urban Bus Fleets // Белорусский национальный технический университет. – Белорусия: «Наука и техника». – № 19(1), 2020. – С. 12-19. https://doi.org/10.21122/2227-1031-2020-19-1-12-19.

13. Murodov X.SH., Qarshibayev A.I., Boboqulov J.S. Elektr energiyasini yigʻuvchi elektr kimyoviy moslamalarni qutblash tashkil etuvchisi qiymatini hisoblash dasturi. – T.: «Oʻzbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi», DGU 30084. 2023. – 1 b.

UO‘K 681.586
DOI:10.54073/GV.2024.1.96.027

KODLOVCHI (ENCODER) DETEKTORINING ISHLASH KO‘LAMINI TAKOMILLASHTIRISH



Olimov J.S.,
NDKTU «Energetika»
kafedrasi assistenti

Raximov F.M.,
NDKTU «Elektr energetikasi»
kafedrasi assistenti

Fayziyev Sh.Sh.,
NDKTU «Elektr energetikasi»
kafedrasi assistenti

Kodlovchi (encoder) – pozitsiyani, sonni, tezlikni yoki yo‘nalishni aniqlash uchun ishlatilishi mumkin bo‘lgan qayta aloqa signalini yuboradi. Kodlovchilar signal yaratish uchun turli xil texnologiyalardan foydalaniladi, jumladan: mexanik, magnit, qarshilik va optik turlar bunga yaqqol misol – ular orasida eng keng tarqalgan tur bu optik kodlovchilardir. Optik zondlashda yoxud kodlovchi signal yaratishda enkoder datchigi yorug‘likning uzilishi asosida qayta aloqani ta’minlaydi. Enkoder uzatadigan signal kantroller orqali tahlil qilinadi va bu signalning sifati bajariladigan jarayoning sifatiga ham o‘z ta’sirini ko‘rsatadi. Tirqishli aylanuvchi diskning tirqishlar sonini oshirish orqali esa uzatilayotgan signal aniqligini yanada oshorish imkoni tug‘iladi.

Tayanch iboralar: *enkoder, signal, kod disk, kodlovchi mil, yorug‘lik, kvadrat impuls, aylanuvchi enkoderlar, chiziqli enkoderlar, mutlaq va inkremental enkoderlar.*

Энкодер (encoder) – посылает сигнал обратной связи, который можно использовать для определения положения, числа, скорости или направления. Энкодеры используют различные технологии для генерации сигнала, в том числе: механический, магнитный, резистивный и оптический типы, ярким примером этого являются оптические энкодеры – самый распространенный тип среди них. При оптическом зондировании или генерации кодирующего сигнала датчик энкодера обеспечивает обратную связь на основе прерывания света. Сигнал, передаваемый энкодером, анализируется через контроллер, и качество этого сигнала также влияет на качество выполняемого процесса. А за счёт увеличения количества прорезей вращающегося диска с прорезями становится возможным дальнейшее повышение точности передаваемого сигнала.

Ключевые слова: *энкодер, сигнал, светодиодный кодовый диск, вал энкодера, свет, квадратный импульс, поворотные энкодеры, линейные энкодеры, абсолютные и инкрементные энкодеры.*

Optik texnologiyadan foydalangan holda ortib boruvchi aylanadigan enkoderning asosiy konstruksiyasi *1-rasmda* ko‘rsatilgan. Ishlash prinsipiga nazar tashlaydigan bo‘lsak LED dan chiqadigan yorug‘lik nuri shaffof bo‘lmagan chiziqlardan tashkil topgan kod diskidan o‘tadi (xuddi velosiped g‘ildiragidagi spikerlarga o‘xshaydi).

Kodlovchi enkoder mili aylanayotganda, LEDning yorug‘lik nuri fotodetektorlar tomonidan qabul qilinishidan oldin kod diskidagi shaffof bo‘lmagan chiziqlar bilan uziladi. Bu jarayon esa impuls signalini ishlab chiqaradi: masalan, yorug‘lik (on) yoqilgan va yorug‘lik yo‘q (off) o‘chirilgan. Signal hisoblagichga yoki tekshirgichga yuboriladi, bu signal hisoblagichlar keyinchalik kerakli funksiyani ishlab chiqarish uchun signal yuboradi. Masalan:

Kesilgan uzunlikdagi dasturda o‘lchash g‘ildiragi bo‘lgan enkoder nazorat moslamasiga qancha material oziqlanganligini aytadi, shuning uchun nazorat qilish moslamasi qachon kesish kerakligini biladi.

Observatoriyada enkoderlar joylashishni aniqlash bo‘yicha fikr-mulohazalarni taqdim etish orqali aktuatorlarga harakatlanuvchi oyna qanday holatda ekanligini aytadi.

Temir yo‘l vagonlarini ko‘taruvchi domkratlarda enkoderlar tomonidan aniq harakat haqida fikr-mulohazalar ta’minlanadi, shuning uchun domkratlar bir vaqtda birgalikda ko‘tariladi.

Nozik servo yorliqli dastur tizimida enkoder signali PLC tomonidan motorning aylanish vaqti va tezligini nazorat qilish uchun ishlatiladi.

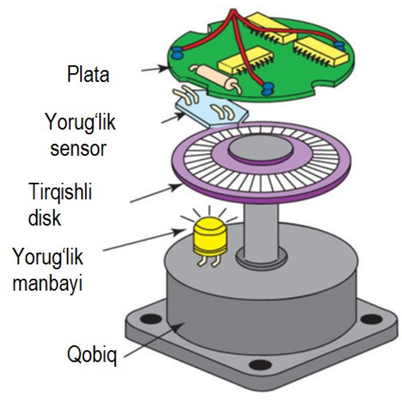
Chop etish ilovasida kodlovchining fikr-mulohazasi ma’lum bir joyda belgi yaratish uchun chop etish kallagini faollashtiradi.

Katta kran bilan dvigatel miliga o‘rnatilgan enkoderlar joylashishni aniqlash bo‘yicha fikr-mulohazalarni ta’minlaydi, shuning uchun kran o‘z yukini qachon olish yoki bo‘shatish kerakligini biladi.

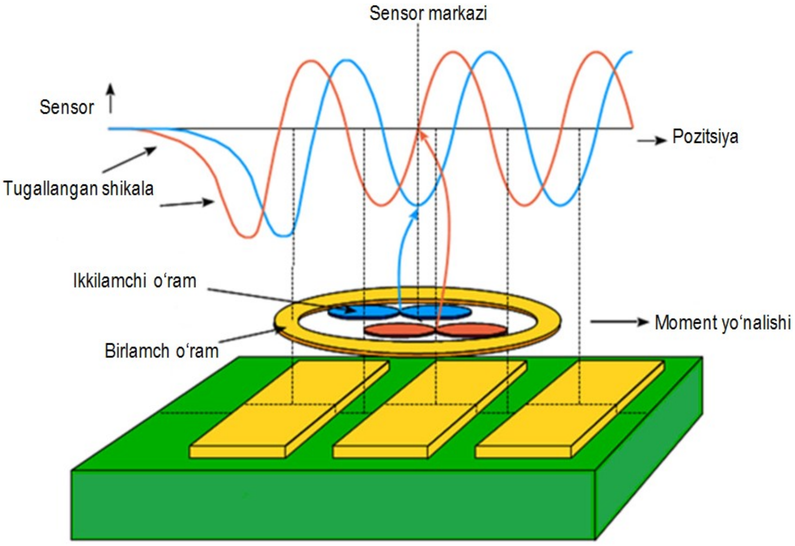
Shishalar yoki bankalar to‘ldirilayotgan ilovada fikr-mulohazalar to‘ldirish mashinalariga idishlarning holatini bildiradi.

Liftda enkoderlar boshqaruvchiga to‘g‘ri qavatga, to‘g‘ri holatda bo‘lganda xabar beradi. Ya’ni, lift boshqaruvchisiga shifrlovchi harakatining teskari aloqasi lift eshiklarining pol bilan bir tekisda ochilishini ta’minlaydi. Kodlovchilar bo‘lmasa, siz shunchaki tekis qavatga chiqish o‘rniga, liftga chiqishingiz mumkin.

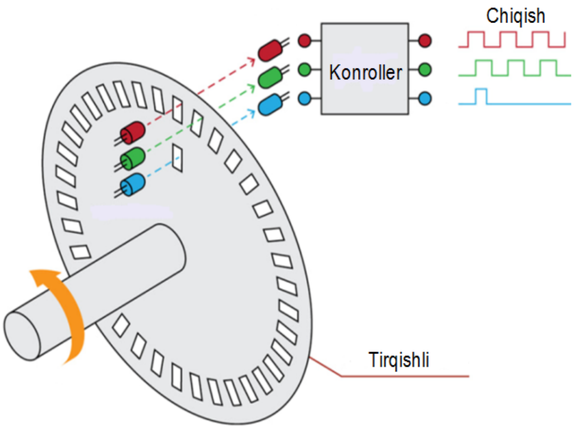
Avtomatlashtirilgan yig‘ish liniyalarida enkoderlar robotlarga harakat haqida fikr bildiradi. Avtomobil yig‘ish liniyasida bu robotli payvandlash qo‘llarining to‘g‘ri joylarda payvandlash uchun to‘g‘ri ma’lumotlarga ega bo‘lishini ta’minlashni anglatishi mumkin.



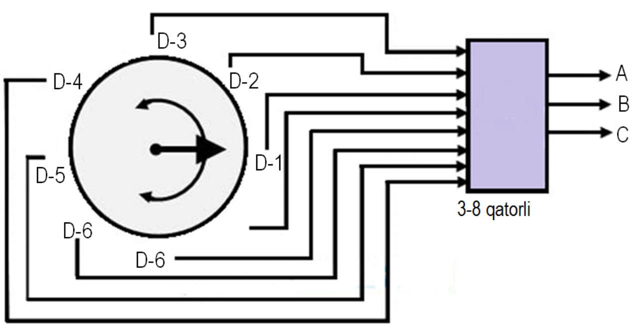
1-rasm. Enkoder datchigining asosiy kanstruktiv ko‘rinishi [2]



2-rasm. Pozitsiya o'zgarishi natijasida shkalalarning o'zgarishi grafigi



3-rasm. Enkoder datchigining yorug'lik manbalari orqali signal hosil qilishi [8]



4-rasm. 74LS148, 3-8 qatorli dekotor [10]

Inkremental enkoderlar indeks, marker yoki mos yozuvlar deb nomlanuvchi milning bir xil mexanik aylanish nuqtasida sodir bo'ladigan yagona aylanish pulsini ta'minlashga qodir. Ushbu indeks chiqish kanalida impuls signali kanalidan yoki kvadrat chiqishidan alohida joylashgan. Indeks pulsi ko'pincha muayyan mexanik aloqalar bilan bog'liq bo'lgan harakatni boshqarish dasturlariga integratsiya qilish uchun ishlatiladi, bu ob'ekt holatini aniq aniqlash va tizimning barqaror ishlashini ta'minlash imkonini beradi.

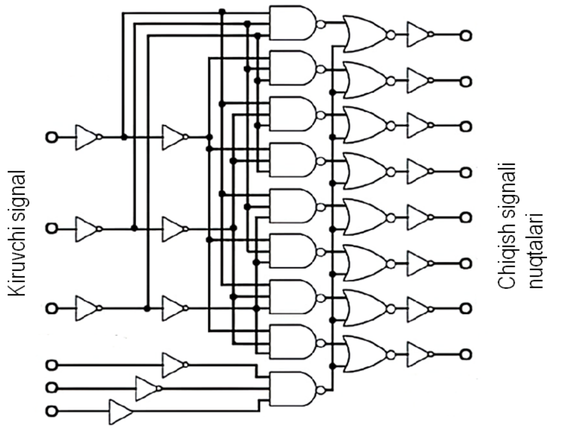
Kodlovchilar katta hajmdagi harakatga javoban kvadrat impulslarni ishlab chiqarishga qodir yuqori aniqlikdagi sensorlardir. Sanoat va texnologik jarayonlar sharoitida bu qurilmalar milning aylanishini aniq o'lchash yoki chiziqli harakat parametrlarini baholashda asosiy rol o'ynaydi. Koderlarning ilmiy jihati ularning ob'ekt holatidagi daqiqali o'zgarishlarni aniqlash va qayd etish, ishlab chiqarish jarayonlarini boshqarish va optimallashtirish uchun zarur ma'lumotlarni taqdim etish qobiliyati bilan bog'liq. Shu maqsadda val yoki ichi bo'sh mili mavjud aylanishga javob beruvchi enkoderlar (aylanuvchi enkoderlar) va chiziqli enkoderlar to'g'ri chiziqli harakat bo'ylab harakatlanish aniqligi muhimdir. Enkoderlar elektromexanik qurilmalar sifatida sanoat jarayonlarida harakatni boshqarish uchun ishlatiladigan yuqori aniqlikdagi qayta aloqa tizimlaridir. Ular joriy holati, aylanish tezligi va harakat yo'nalishi haqidagi ma'lumotlarni o'lchash va uzatish uchun elektr motorlar va boshqa mexanizmlar bilan birlashadi. Kodlovchi g'ildiragi aylanayotganda hosil bo'ladigan impulslar sonini ko'paytirish uzatiladigan ma'lumotlarning o'lchamlari va sifatini yaxshilaydi, natijada harakatni yanada aniq va ishonchli nazorat qiladi.

Chiziqli va aylanuvchi enkoderlar ikkita asosiy chiqish talqini mavjud: mutlaq kodlovchi va ortib boruvchi kodlovchilar. Mutlaq enkoderlarning chiqishi haqiqiy pozitsiyani ko'rsatadigan ko'p bitli raqamli koddir. Chiziqli va aylanadigan enkoderlar sanoat tizimlarida pozitsiya va harakat ma'lumotlarini o'lchash va uzatish uchun ishlatiladigan elektromexanik qurilmalardir. Ular ikkita asosiy turga bo'linadi: mutlaq va qo'shimcha kodlovchilar. Mutlaq enkoderlar kosmosdagi ob'ektning joriy holatini bevosita ko'rsatadigan ko'p bitli raqamli kodni ishlab chiqaradi. Ushbu ma'lumot tizimga ob'ektni qayta kalibrlashni talab qilmasdan aniq aniqlash imkonini beradi (*2-rasm*).

Bu shuni anglatadiki, mutlaq kodlovchi mos yozuvlarga ega pozitsiyadir. Elektr uzilib qolgan taqdirda ham uning mutlaqligini qayd etish imkoniyati mavjud pozitsiya bo'lib hisoblanadi. Qayta ishga tushirilgandan so'ng, harakat tizimi kerak bo'lmasdan darhol harakatni davom ettirishi mumkin. Boshqa tomondan, inkremental enkoderlarning chiqishi bir qator impulslarni hosil qiladi milning aylanishiga (aylanuvchi enkoder) yoki bosib o'tgan masofaga (chiziqli enkoder) mutanosib.

PLClar yoki pragrammalashtiriladigan mantiqiy kantrolerlar signalarni o'qishda ishlatiladigan asosiy qurilma bo'lib signal sifatiga asoslanib chiqish (out put) signalini yaratadi. Bunday ilovalar robototexnikada boshqarish va harakatni boshqarish uchun joylashishni aniqlash bo'g'inlari, kompyuterning raqamli boshqaruv (CNC) mashinalarida, burg'ulash mashinalarida, yig'ish dastgohlar, o'lchash g'ildiragi-koderli kesish mashinalari va boshqalar uchun ishlatiladi. Oddiy qilib aytganda, kodlovchi bu fikr-mulohazalarni ta'minlaydigan sensorli qurilma. Kodlovchilar harakatni elektr signaliga aylantiradi, (*3-rasm*) uni harakatni boshqarish tizimidagi ba'zi turdagi boshqaruv moslamalari, masalan, hisoblagich yoki PLC tomonidan o'qilishi mumkin. Kodlovchi pozitsiyani, sonni, tezlikni yoki yo'nalishni aniqlash uchun ishlatilishi mumkin bo'lgan qayta aloqa signalini yuboradi. Boshqaruv qurilmasi ushbu ma'lumotdan ma'lum bir funksiya uchun buyruq yuborish uchun foydalanishi mumkin. Masalan: kesuvchi dastgohlarda buyum qaysi masofada kesilishi kerakligini belgilab beradi.

Raqamli axborotni qayta ishlash tizimida ma'lumotlarning diskret miqdori ikkilik kodlar bilan ifodalanadi. n bitdan iborat ikkilik kod kodlangan axborotning 2n tagacha alohida elementlarini ifodalash uchun asos hisoblanadi. Dekoder n-bitli ikkilik ma'lumotlarni kirish liniyalaridan 2n gacha chiqish liniyalariga aylantirishga qodir bo'lgan kombinatsiyalangan sxema bo'lib, ikkilik shaklda kodlangan ma'lumotni samarali va aniq dekodlash imkonini beradi. Dekoder ishining ilmiy jihati uning kombinatorika va mantiqiy amallar asosida ikkilik ma'lumotlarni tahlil qilish



5-rasm. Sakkiz kirish/uch chiqish enkoderi tasvirlanishi [9]

1-adval

Keltirilgan dekoder sxemasining kirish-chiqish munosabatlari tasvirlanishi

Chiqish signali			Kirish signali							
A	B	C	D_0	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

2-jadval

Keltirilgan enkoder sxemasining kirish-chiqish munosabatlari tasvirlanishi

Kirish signali								Chiqish signali		
Y_0	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6	Y_7	A_0	A_1	A_2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

va izohlash qobiliyatidadir, bu ikkilik koddan dastlabki ma’lumotni to‘g‘ri qayta qurishni ta’minlaydi. Odatda dekoderlar n dan m gacha bo‘lgan chiziqli dekoder sifatida belgilanadi, bu erda n – kirish liniyalari soni va m (2n) – chiqish liniyalari soni.

Dekoderlar raqamli tizimlarda ma’lumotlarni demultiplekslash, raqamli displey, raqamlidan analogga o‘tkazish, xotirani adreslash va boshqalar kabi keng ko‘lamli ilovalarga ega. 3-8 qatorli dekoder *4-rasmda* ko‘rsatilgan.

3-8 qatorli dekoder uchta kirish o‘zgaruvchisi va sakkizta chiqish chizig‘idan iborat. E’tibor berilsa, chiqish satrlarining har biri uchta o‘zgaruvchidan yaratilgan mintermlardan birini ifodalaydi. Ichki kombinatsiyalangan sxema INVERTER shlyuzlari va AND shlyuzlari yordamida amalga oshiriladi. Dekoder sxemasining ishlashini yuqoridagi jadvalda keltirilgan kirish-chiqish munosabatlaridan ko‘proq tasvirlash mumkin. E’tibor bering, chiqish o‘zgaruvchilari bir-biriga o‘xshashdir, chunki har qanday vaqtda faqat bitta chiqish mantiqiy 1 bo‘lishi mumkin.

Kodlovchi yoki (enkoder) - dekoderning teskari ishini bajaradigan kombinatsiyalangan tarmoq. Kodlovchida 2n yoki undan kam kirish va n chiqish liniyasi mavjud. Kodlovchining chiqish satrlari 2n kirish o‘zgaruvchilari uchun ikkilik kodni yaratadi. *4-rasmda* sakkiz kirish/uch chiqish enkoderi tasvirlangan. Uni sakkizdan ikkilik kodlovchi deb ham atash mumkin, bunda kirish shartlariga muvofiq chiqishlarda ikkilik kodlar yaratiladi. (*2-jadval*)

4-rasmdagi kodlovchi har qanday aniq vaqtda mantiq 1 ga faqat bitta kirish liniyasi faollashtirilganligini taxmin qiladi, aks holda boshqa sxema hech qanday ma’noga ega emas. Shuni ta’kidlash kerakki, sakkizta kirish uchun 2^8 = 256 kombinatsiya mavjud, ammo faqat sakkizta kirish kombinatsiyasi foydalidir, qolganlari esa ahamiyatsiz shartlardir. Shuni ham ta’kidlash mumkinki, Y_0 kirish hech qanday tizimga ulanmagan. Bu holda A, B va C barcha ikkilik chiqishlari 0 ga teng bo‘lishi kerak. Y_0 dan Y_7 gacha bo‘lgan barcha kirish o‘zgaruvchilari mantiqiy 0 bo‘lsa, barcha 0 chiqishi ham olinishi mumkin. Bu sxemaning asosiy nomuvofiqligidir. Ushbu nomuvofiqlikni barcha kirishlar mantiqiy 0 emasligini ko‘rsatadigan boshqa chiqishni kiritish orqali yo‘q qilish mumkin. Biroq, bu turdagi kodlovchi IC paketida mavjud emas, chunki uni amalga oshirish oson emas.

IC paketida mavjud bo‘lgan kodlovchi turi ustuvor kodlovchi deb ataladi. Bu enkoderlar faqat eng yuqori ustuvor kirish kodlanganligini ta’minlash uchun kirish ustuvorligini o‘rnatadi. Misol tariqasida, agar Y_2 va Y_4 kirishlari bir vaqtning o‘zida mantiqiy 1 bo‘lsa, u holda chiqish faqat Y_4 ga muvofiq bo‘ladi, ya’ni chiqish 100 ga teng.

Inkremental enkoderlar aylanadigan ob’ektlarning burilish burchagini aniqlash uchun mo‘ljallangan. Ular ob’ektning burilish burchagi haqidagi ma’lumotlarni o‘z ichiga olgan ketma-ket zarba raqamli kodini yaratadilar. Agar mil to‘xtab qolsa, impulslarning uzatilishi ham to‘xtaydi. Sensorning asosiy ish parametri - bu aylanish uchun impulslar soni. Ob’ektning burilish burchagining oniy qiymati impulslarni boshidan hisoblash yo‘li bilan aniqlanadi. Ob’ektning burchak tezligini hisoblash uchun takometrdagi protsessor vaqt o‘tishi bilan impulslar sonini farqlaydi va shu bilan tezlikning qiymatini, ya’ni daqiqada aylanishlar sonini darhol ko‘rsatadi. Chiqish signali ikkita kanalga ega bo‘lib, ularda bir xil impulslar ketma-ketligi bir-biriga nisbatan 90º ga siljiydi (parafaza impulslari), bu aylanish yo‘nalishini aniqlash imkonini beradi. Raqamli nol belgisi chiqishi ham mavjud, bu sizga har doim milning mutlaq holatini hisoblash imkonini beradi.

Xulosa shuni ko‘rsadatiki kichik aylanish burchagini hosil qilish uchun ishlatiladigan servo motorlar dastur tizimida enkoder signali PLC tomonidan disk aylanish vaqti va tezligini nazorat qilish uchun ishlatiladi. Chop etish ilovasida kodlovchining fikr-mulohazasi ma’lum bir joyda belgi yaratish uchun chop etish kallagini faollashtiradi. Katta kran bilan dvigatel miliga o‘rnatilgan enkoderlar joylashishni aniqlash bo‘yicha fikr-mulohazani ta’minlaydi, shuning uchun kran o‘z yukini qachon olish yoki bo‘shatish kerakligini biladi. Kodlovchi enkoder aylanuvchi diski tirqishlari soni yanada ko‘proq bo‘lishi bajarilayotgan ishning sifatliroq bo‘lishini va yanada murakkab va nozik detalarga ishlov berish imkonini yuzaga keltiradi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Harrison R., Charles C. A low-power low-noise CMOS amplifier for neural recording applications. – USA.: «Journal of Solid-State Circuits», № 38, 2003, pp. 958-965.

2. Tovbaev A., Boynazarov G., Togaev I. Improving the quality of electricity using the application of reactive power sources E3S Web of Conferences 390 (4):06032 DOI: 10.1051/e3sconf/202339006032 https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339006032

3. Jing N., Victoria G., Shirley G., Gaelle L., Chee T.P. A novel approach to detect atrial fibrillation efficiently and accurately from 48 hours of ECG data. – London.: «Journal of Electronics and Communication Engineering Research», № 2, 2014, pp. 01-06.

4. Verma N., Chandrakasan A. An ultra low energy 12-bit rate-resolution scalable SAR ADC for wireless sensor node. – New York: «Journal of Solid-State Circuits», № 42, 2007, pp. 1196-1205.

5. Yan R. Wavelets for fault diagnosis of rotary machines: A review with applications. – Pekin: «Signal Processing», № 96, 2014, pp. 1-15.

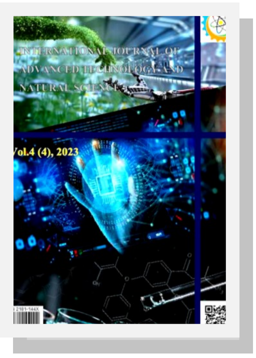
6. Yasmeen F. Detection of Real Time QRSComplex Using WaveletTransform. – India: «International Journal of Electrical and Computer Engineering», № 8, 2018, pp. 1- 5,

7. Taslimov A.D., Rakhimov F.M., Rakhimov F.M. Economic interval analysis of loads for selection of cross-section surfaces of electrical transmission lines // E3S Web of Conferences, Volume 384, 2023. Rudenko International Conference “Methodological Problems in Reliability Study of Large Energy Systems” (RSES 2022), pp.1-5. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401037.

8. Иванов В.Е. Разработка технических решений и рекомендаций по переводу действующих сетей 6–10 кВ на напряжение 20 кВ в сельской местности. – М.: «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», № 4 (49), 2019. – С. 36-41.

9. Ibadullaev, M.I., Tovbaev, A.N., Esenbekov, A.Z. Self-oscillations at the frequency of subharmonics in nonlinear electric chains and systems // E3S Web of Conferences, 2019, 139, 01054. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913901054

10. Ilker S. Model Predictive Torque Control Of An Induction Motor Enhanced With An Inter-Turn Short Circuit Fault Detection Feature. – USA: The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University, 2021, pp. 56-63.



ДУАЛЬНОЕ ОБУЧЕНИЕ – ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ВУЗАХ

Шакаров Т.И.,
доцент АФ НИТУ «МИСИС»,
к.т.н.

Dual ta'lim – oliy kasbiy ta'lim olishning yangi usuli bo'lib, u ta'lim muassasasi va korxona bazasida bir vaqtning o'zida o'qishni amalga oshirilishni nazarda tutadi. Maqolada oliy ta'lim muassasalari va kon-metallurgiya sanoati korxonalari o'rtasida ijtimoiy sheriklikka asoslangan dual tizimini joriy etish muammolari va istiqbollari tahlil etilgan.

Tayanch iboralar: *dual ta'lim, kon-metallurgiya sanoati, malaka darajasi, ishlab chiqarishga moslashish, amaliyotga yo'naltirilgan ta'lim, bandlik, kadrlar tayyorlash, kasbiy tayyorgarlik.*

Дуальное обучение – новая концепция получения высшего профессионального образования, при которой обучение осуществляется одновременно на базе учебного заведения и предприятия. В статье анализируются проблемы и перспективы реализации дуальной системы на основе социального партнерства вузов и предприятий горно-металлургической промышленности.

Ключевые слова: *дуальное образование, горно-металлургическая промышленность, уровень квалификации, адаптация в производство, практикоориентированное обучение, трудоустройство, подготовка кадров, профессиональное обучение.*

Одной из общепризнанных проблем высшего образования является несоответствие уровня и содержания подготовки выпускников ВУЗов потребностям рынка труда. Нехватка качественных и современных практических знаний ограничивает возможности трудоустройства выпускников вузов и одновременно уменьшает объём рынка труда квалифицированных специалистов, доступных для промышленных предприятий и государственных структур.

Внедрение передовых стандартов высшего образования, в частности поэтапный переход от образования, учебные программы которого направлены на получение теоретических знаний, к системе образования, направленной на формирование практических навыков, исходя из международного опыта является актуальной.

Одним из потенциальных способов решения проблемы практической подготовки, к которому в настоящее время проявляется повышенное внимание во многих странах, является налаживание взаимовыгодного сотрудничества образования с производственными предприятиями и система так называемого дуального обучения, предполагающая совместное участие вуза и предприятия в организации и осуществлении профессионального обучения [1, 2].

Система дуального образования введена в качестве одной из форм обучения согласно статье 15 Закона Республики Узбекистан «Об образовании». В закон внесена отдельная статья (ст. 17), касающаяся дуального образования, в которой предусмотрено, что порядок организации дуального образования определяется Кабинетом Министров Республики Узбекистан.

При дуальном обучении теоретическая часть подготовки проходит на базе образовательной организации, а практическая – на рабочем месте.

В дуальной системе обучения усиливается и качественно меняется роль работодателя и учебного заведения. На территории предприятия создаются учебные аудитории для студентов, практические занятия проводятся непосредственно на рабочих местах, а лабораторные работы можно проводить в исследовательских лабораториях данного предприятия [3, 4].

Всем известно, что кадры среднего звена играют особую роль в успешной деятельности предприятий. В производстве, промышленности и сфере услуг очень высока потребность в специалистах высокой квалификации. В форме традиционного обучения студент получает в высшем или профессиональном учебном заведении больше теоретических знаний, а практику проходит на предприятиях и в организациях в течение всего нескольких часов. Поэтому в этом плане была изучена система образования развитых стран, после чего в Узбекистане была введена дуальная форма обучения, которая даёт возможность проходить практику на предприятиях и в организациях одновременно с получением соответствующих навыков работы на современном оборудовании с использованием новых технологий.

Слово «дуал» в переводе с латинского языка означает «состоящий из двух частей». Дуальное образование – это система, которая даёт возможность студентам получать образование, работая в организации, подходящей его специальности. В течении 2-3 дней обучающиеся приобретают теоретические знания в учебном заведении, а в течение 3-4 дней они получают практические навыки в процессе работы на предприятиях и в организациях. При трудоустройстве студента, обучающегося по форме дуального обучения, на предприятии или в организации за ним закрепляется мастер и ежемесячно выплачивается заработная плата. На сегодняшний день эта система играет важную роль в развитии экономик таких стран, как Германия, Австрия, Швейцария и др. стран.

Родоначальником системы дуального образования считается Германия.

Как нам известно, Германия несколько лет назад ввела в систему образования дуальное обучение. Основным фактором развития дуального образования в этой стране является то, что в законодательстве чётко определены функции и обязанности участников дуального образования (предприятие, студент, образовательное учреждение). Ныне в Германии дуальное образование получают 1,4 *млн* молодых людей. Ежегодно 500 тысяч студентов подписывают контракт с компаниями для участия в дуальном обучении, а 74% молодых людей после окончания учёбы подписывают трудовой договор с работодателем. Предприятием за студентом закрепляется квалифицированный сертифицированный мастер, прошедший специальное испытание.

Организация дуального образования и привлечение работодателей является одним из основных направлений деятельности Торгово-промышленной палаты и отраслевых торговых палат. Для профориентации молодёжи и получения представления о профессиях учащиеся 7-х классов проходят на предприятиях 2-4 недельное ознакомление (стажировку) в год. После ознакомления с деятельностью предприятий и организаций, в которых они побывали, и получения информации о профессиях молодые люди заключают договоры с предприятиями и организациями по интересующей их профессии и прилагают свои документы к этим подписанным договорам в образовательное учреждение для обучения в дуальной форме. Студентам, участвующим в дуальном обучении в Германии, работодателем выплачивается заработная плата в среднем в размере 930-1200 евро в месяц.

Немецкая система профессионального образования отличается развитым институтом наставничества, практикоориентированным обучением и активным участием бизнеса в подготовке кадров. Дуальное обучение в Германии введено в строгие законодательные рамки и осуществляется с помощью торгово-промышленных и ремесленных палат [5].

Дуальная система по своей сути означает параллельное обучение в образовательном учреждении и на производстве. В основу обучения положен принцип взаимосвязи теории с практикой.

К числу основных преимуществ дуальной системы принято относить:

– обеспечение рынка труда квалифицированными специалистами, владеющими современными технологиями и методами производства;

– более высокая мобильность рабочей силы;

– поддержание тесных связей образовательных учреждений и производственных предприятий;

– обеспечение трудоустройства выпускников вузов;

– повышение конкурентоспособности специалистов;

– ускорение адаптации в производственной среде;

– рост мотивации обучающихся и, как следствие – более высокая результативность обучения.

Успех модели дуального обучения зависит от двух основных условий: ее соответствия интересам всех заинтересованных сторон, и наличия у последних необходимых образовательных ресурсов. Традиционно, к заинтересованным сторонам дуального обучения относятся, прежде всего, учебные организации и предприятия, однако не менее важно принимать во внимание интерес самих обучающихся, стремящихся расширить свои профессиональные навыки [6].

Дуальное обучение может быть реализовано только на принципах добровольного участия всех заинтересованных сторон, т.е. как форма социального партнерства. Можно назвать несколько факторов, ограничивающих возможности применения дуальной системы в области подготовки специалистов для горно-металлургической отрасли нашей страны:

1. Поскольку дуальная система предполагает параллельное обучение на двух площадках (в вузе и на предприятии), ее реализация возможна только в тех городах, где уже имеется как профильный вуз, так и промышленные предприятия по профилю. В наибольшей степени соответствующие условия сложились в городах Алмалыке, Навои. В этих городах имеются как достаточно развитые горно-металлургические предприятия, так и профильные вузы: Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», Алмалыкский филиал ТашГТУ им. И. Каримова и Навоийский ГГТУ. Хотя специалистов

Рис. 1. Студенты АФ НИТУ «МИСИС» на дуальном образовании в подразделениях АО «Алмалыкский ГМК»

для горно-металлургической отрасли готовят и в ряде других вузов, в большинстве регионов существующая база может оказаться недостаточной для целей дуального обучения.

2. Дефицит квалифицированных кадров является важнейшей проблемой горно-металлургической отрасли. Низкая заинтересованность большинства предприятий снижает привлекательность профильного профессионального образования для обучающихся, а также ограничивает возможность предприятий инвестировать в обучение на своей базе.

3. Объем и содержание практических занятий, предусмотренных государственными образовательными стандартами, совершенно недостаточны для реализации модели дуального обучения, которое предполагает, что некоторая часть времени обучения осуществляется на предприятии.

4. Недостаточность методического и педагогического обеспечения дуального обучения как на уровне вузов, так и на уровне предприятий. Хотя горно-металлургические предприятия страны работают успешно и в состоянии создать условия, необходимые для дуального обучения и организовать методическое сопровождение. Преподаватели вузов, в свою очередь, ввиду большого объема учебной нагрузки, необходимости заниматься научной работой и других причин, не всегда владеют содержанием современных производственных технологий.

Несмотря на указанные проблемы нужно искать возможность введения элементов дуального обучения на основе договоров между вузами и предприятиями. Предприятие само должно быть заинтересовано в организации обучения на своей базе, поскольку обучающиеся вузов не просто формируют кадровый резерв, но фактически выполняют экономическую функцию, участвуя в производственном процессе. Поэтому представляется, что, с учетом указанных проблем, развитие системы социального партнерства профильных вузов и предприятий горно-металлургической промышленности Узбекистана возможно на основе соблюдения ряда условий:

1. Определение точного перечня профессиональных компетенций, которые могут быть реализованы в формате дуального обучения с учетом технологической базы предприятий.

2. Заключение трудовых договоров предприятий с вузами на условиях частичной занятости - работа в качества дублеров рабочих профессий или инженерно-технических должностях во время практики, которые повысят мотивацию обучающихся и позволят предприятию вовлечь их не только в образовательную, но и в производственную деятельность.

3. Организационно-методическое обеспечение образовательного процесса (календарное планирование и согласование графиков обучения, разработка системы оценивания и др.) осуществляется преимущественно вузом, обладающим необходимыми компетенциями.

4. Создание учебных классов на предприятиях, оснащенных современными средствами обучения, инвентаря, а также обеспечение практикантов соответствующими индивидуальными средствами защиты и спецодеждой.

Следует подчеркнуть, что реализация дуальной системы обучения будет способствовать переходу на качественно новый уровень подготовки специалистов для отраслей промышленности; формированию профессиональных компетенций выпускников вузов, обеспечивающих их конкурентоспособность на рынке труда и их адаптации в производственную среду.

Дуальное образование в Алмалыкском филиале НИТУ «МИСИС» осуществляется совместно с предприятиями АО «Алмалыкский ГМК». На базах предприятий комбината организованы соответствующие кафедры и обучение по специальным дисциплинам проходят непосредственно на заводах и фабриках с привлечением специалистов предприятий (*рис. 1*).

Biblografik ro'yxat:

1. Указ Президента РУз №5847 от 08.10.2019 «Об утверждении концепции развития системы высшего образования Республики Узбекистан до 2030 года».

2. Постановление Кабинета министров Республики Узбекистан №165 от 29 марта 2021 г. «О мерах по организации дуального образования в системе профессионального образования».

3. Шелтен А. Введение в профессиональную педагогику. – Екатеринбург: Издательство УГППУ, 1996. – 288 с.

4. Петров Ю.Н. Дуальная система инженерно-педагогического образования – инновационная модель современного профессионального образования. Монография // Петров Юрий Николаевич; Федеральное агентство по образованию, – Нижний Новгород: Изд-во ВГИПУ, 2009. – 280 с.

5. Что представляет собой система дуального образования URL: https://kknews.uz/125330.html (дата обращения 17.01.2024 г.).

6. Терещенкова Е.В., Бернхард М. Дуальное образование как инновационный формат системы высшего профессионального образования // Вестник Московского гуманитарно-экономического института. – Москва, 2014. – № 1. – С. 33-37.

РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ

Выдающийся ученый-горняк, академик Национальной академии наук Республики Казахстан, заслуженный деятель Республики Казахстан, профессор, почетный ректор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева Баян Ракишевич родился 15 марта 1934 г. После окончания с отличием Казахского горно-металлургического института с 1957 по 1965 г. он работал на Коунрадском руднике Балхашского горно-металлургического комбината, где прошёл путь от техника-аналитика до начальника карьера, без отрыва от производства защитил кандидатскую диссертацию (1964 г.).

Дальнейшая жизнедеятельность Б.Р. Ракишева связана с альма-матер, где он работал доцентом, профессором, заведующим кафедрой теоретической механики (1965-1987 гг.), заведующим кафедрой открытых горных работ (1988-2016 гг.), научным руководителем проблемной лаборатории новых физических методов разрушения горных пород и отраслевой лаборатории технологии буровзрывных работ (1980-1993 гг.), деканом факультета Автоматики и вычислительной техники (1967-1974 гг.), проректором (1980-1985 гг.), ректором (1985-1992 гг.) Казахского политехнического института им. В.И. Ленина. С 2016 года по настоящее время он профессор кафедры «Горное дело», почетный ректор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева.

На посту ректора он много энергии и сил направил на дальнейшее развитие вуза, расширение его материально-технической базы, укрепление связи с производством и наукой. КазПТИ им. В.И. Ленина стал одним из ведущих среди высших учебных заведений СССР.

Баян Ракишевич создал стройную теорию разрушения реального массива горных пород действием взрыва ВВ. Разработал аналитические методы определения расположения зарядов ВВ в массиве, гранулометрического состава взорванной горной массы, затрат энергии ВВ на дробление, перемещение и графо-аналитические методы определения размещения разнородных пород в развале, параметров технологий буровзрывных и экскаваторных работ, обеспечивающих наименьшие количественные и качественные потери.

Совместно с учениками создал комплекс программ для автоматизированного определения перечисленных результатов взрыва.

Сформулировал новое аргументированное определение системы открытой разработки полезных ископаемых, принципиально отличающееся от известных, предложил новые классификации систем разработки, технологий и технологических комплексов открытых горных работ. Установил закономерности перемещения горных выработок в карьерном пространстве и изменения объёмов вскрытых и готовых к выемке запасов горных пород. Разработал математические модели стабилизации качества многокомпонентной руды для оперативного управления внутрикарьерным усреднением и состоянием минерального сырья на каждом из этапов переработки для выбора наиболее прогрессивных, экономически эффективных технологий его добычи и переработки. Совместно с учениками создал системы автоматизированного управления указанными процессами.

Научными работами, выполненными на высоком теоретическом уровне и оригинальными практическими разработками, получившими признание горной общественности, академик Б. Ракишев внёс большой вклад в горную науку и промышленность, создал научную школу в области эффективного разрушения массивов пород и разработки полезных ископаемых в режиме рационального использования недр, подготовил 9 докторов, 30 кандидатов технических наук, 9 докторов PhD, сотни инженеров и магистров.

Академик НАН РК Б. Ракишев является автором более чем 800 научных и учебно-методических работ, в том числе 15 монографий, 6 аналитических обзоров, 14 учебников и учебных пособий, 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения, более чем 100 статей в изданиях в базе данных Scopus, Web of Science.

Баян Ракишевич и сейчас ведет активную научно-исследовательскую и педагогическую деятельность, являясь научным руководителем проектов Министерства науки и высшего образования РК. Регулярно выступает с научными докладами на Международных форумах по горному делу. Является членом редколлегии научных журналов Казахстана, России, Украины и Узбекистана, выступает с содержательными статьями.

За заслуги в области научной, педагогической и организационной деятельности Б.Р. Ракишев награждён орденами «Парасат» (2013 г.) и Трудового Красного Знамени (1986 г.), Почетной грамотой Верховного Совета Казахской ССР (1984 г.), Почетной грамотой Министерства Высшего и среднего специального образования СССР (1984 г.), тремя медалями СССР (1970, 1986, 1990 гг.), двумя медалями РК (2005, 2015 гг.) знаком «Отличник высшего образования СССР» (1984 г.). В 2004 году ему присвоено почетное звание «Қазақстанның еңбек сіңірген қайраткері», он лауреат Республиканской премии им. К.И. Сатпаева (2003 г.).

Баян Ракишевич и сейчас ведёт активную научно-исследовательскую и педагогическую деятельность, являясь научным руководителем целевой программы, проектов МОН РК. Регулярно выступает с научными докладами на Международных симпозиумах и конференциях по горному делу в странах дальнего (США, Австралия, Бразилия, Болгария, Италия, Индия, Иран, КНР, Канада, Турция и др.) и ближнего зарубежья, пропагандируя достижения горной науки и промышленности. Является членом постоянно действующих оргкомитетов международных научных симпозиумов Казахстана, России, Украины и Узбекистана. Регулярно выступает с интересными статьями в журналах «Доклады НАН РК», «Вестник НАН РК».

Руководство АО «НГМК», АО «АГМК», ГП «Навоийуран», Навоийский государственный горно-технологический университет, ТГТУ им. И. Каримова, Академия наук Республики Узбекистан, Алмалыкский филиал НИТУ «МИСИС», Алмалыкский филиал ТГТУ, ООО «O'zGEORANGMETLITI», редакция журнала «Горный вестник Узбекистана», а так же ученики, друзья и коллеги поздравляют Ракишева Баяна Ракишевича с 90-летним юбилеем и желают ему крепкого здоровья, жизненной энергии, творческих успехов и новых научных достижений.

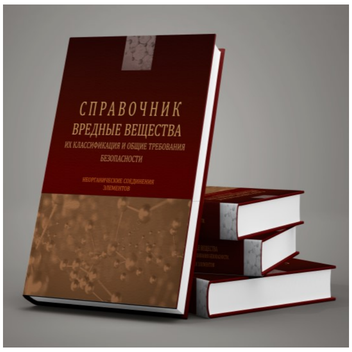
NKMK XODIMLARI TOMONIDAN CHOP ETILGAN ADABIYOTLAR
ИЗДАННАЯ ЛИТЕРАТУРА СПЕЦИАЛИСТОВ АО «НГМК»

Георгий Агрикола. Ўн икки китоб.
Техника фанлари доктори, профессор Қувондиқ Санақуловнинг умумий таҳрири остида.
Кончилик иши ва металлургия ҳақида.
Таржимонлар: Венера Базарова, “НКМК” АЖ бошқармаси Таржимонлар бюроси муҳандиси Абдурашид Ҳасанов, “ОКМК” АЖ бош муҳандисининг илм-фан бўйича ўринбосари, техника фанлари доктори, профессор.
ISBN 978-9943-8533-6-2

Кончилик ишининг ривожланиш тарихи маълум бир вақт давомида инсонлар томонидан қандай фойдали қазилмаларни қазиб олганлигини кўрсатиш билан чекланиб қолмайди, балки кончилик ишида юз берган техник ўзгаришларни ҳам тавсифлаб беради. Бу эса ҳозирги замон кончиларини асрлар давомида тоғ-кон саноатининг ривожланиш тарихини янада кенгроқ билишга ундайди.

Биз Г. Агрикола (1494–1555 йиллар) фаолиятига тўхталсак, у ажойиб минералог, металлург, шифокор ва файласуф бўлганлигини алоҳида қайд этиб ўтишимиз жоиз. Олим катта ҳажмдаги амалий материалларни тўплаган ва умумлаштириб, кончилик иши ва металлургия бўйича батафсил қўлланма яратган. Унинг “Кончилик иши ва металлургия ҳақида”ги ўн икки китоби кончилик ишининг илк энциклопедияси ҳисобланади, десак айни ҳақиқатни айтган бўламиз. Кончиларнинг бир неча авлоди ушбу китобдан фойдаланиб, касблари асосларини ўрганиб келмоқда.

Бизни ушбу асар ёзилган вақтдан беш аср ажратиб туришига қарамасдан, бугунги кунда ҳам асар муаллифининг соҳа борасидаги донолиги, билимининг кўп қирралиги ҳайратда қолдиради. Бу китобда бугунги кун ёш олимлари учун зарур бўлган фазилатлар тарбияси ҳам мужассам. Булар илм-фанга содиқлик, теранлик, янгиликка интилиш, сўнгги илмий ютуқларини амалиёт билан уйғунлаштира олиш, кенг илмий дунёқараш, тадқиқотчилик каби хусусиятлардир.



Справочник. Вредные вещества. Их классификация и общие требования безопасности.
Под общей редакцией Заслуженного работника промышленности Республики Узбекистан, доктора технических наук, профессора Санакулова К.
ISBN 978-9943-8533-6-2

Книга является наиболее обширным и полным в мировой литературе справочником по вредным веществам, встречающимся в промышленности и сельском хозяйстве.

Справочник посвящён рассмотрению физических, химических, токсических свойств неорганических и элементорганических соединений и описанию методов предупреждения их вредного действия на организм человека и животных.

Справочник предназначен для широкого круга работников базовых отраслей промышленности: химиков всех специальностей, металлургов, инженеров и техников, ответственных за технику безопасности, санитарных и технических инспекторов, врачей, а также для сотрудников научно-исследовательских институтов, разрабатывающих новые технологические процессы.

В составлении настоящего справочника принимали участие: докт. биол. наук Алматов Б.И., докт. мед. наук Боймурадов Ш.А., докт. мед. наук Гафур-Ахунов М., Гулямов Б.В., докт. биол. наук Давранов К.Д., докт. хим. наук Даминова Ш.Ш., докт. мед. наук Иноятов А.Ш., докт. хим. наук Закиров Б.С., докт. хим. наук Кадирова З.И., докт. мед. наук Кубаев А.С., докт. тех. наук Курбанов Б.И., докт. мед. наук Мадазимов А.М., докт. тех. наук Маджидов И.У., докт. мед. наук Мирзаев А.У., докт. г-м. наук Мирзаев А.У., докт. хим. наук Музафаров А.М., докт. хим. наук Мухиддинов Б.Ф., докт. мед. наук Расуль-Заде Ю.Г., докт. мед. наук Рахматов А.Б., докт. мед. наук Ризаев Ж.А., докт. хим. наук Сманова З.А., докт. физ-мат. наук Содиков И.И., докт. мед. наук Тешаев Ш.Ж., докт. хим. наук Умиров Ф.Э., докт. хим. наук Усманова Х.У., докт. мед. наук Худойбердиев К.Т., докт. тех. наук Шарафутдинов У.З., докт. мед. наук Шодманов А.К., докт. физ-мат. наук Юлдашев Б.С.

ЗОЛОТО: история, география, технологии (сборник статей).
По материалам журнала «Золотодобыча» (издание АО «Иргиредмет»)
Верхозин С.С., главный редактор журнала «Золотодобыча», кандидат филологических наук, ведущий аналитик, рекламный отдел. АО «Иргиредмет».
Под редакцией Генерального директора – Председателя правления АО «НГМК» Санакулова К.
Группа составителей: Снитка Н.П., Мустакимов О., Холмуродов Б., Руднев С.В., Бадаева З.А., Раупов Х.Р., Шарафутдинов У.З.
ISBN 978-9910-9927-2-8

Материал, опубликованный С.С. Верхозиным, является информативным, познавательным и крайне полезным в формировании кругозора и аналитического мышления студентов соответствующих вузов и молодых специалистов. В связи с этим по инициативе группы специалистов АО «НГМК» было принято решение об издании сборника статей по данной тематике с 2013 по 2022 годы, на 95% состоящего из публикаций журнала.

INTERTECH Process Technology
Ore to Gold

3 Commerce Drive, Suite 304
Atkinson, New Hampshire 03811 USA

Tel: 603.893.9566
Fax: 603.893.9279
Email: info@intertechprocess.com
Site: www.intertechprocess.com

Лаборатория обработки керна

приём, резка, документирование,
подготовка проб для анализа,
складирование

Аналитическая лаборатория

анализ геологических, технологических
проб, включая отделения
пробоподготовки и пробирной плавки

Технологическая лаборатория

исследования физико-механических
свойств руд, процессов дробления,
измельчения, классификации,
гравитации, флотации, магнитной
сепарации, цианирования и др.

Телефоны/ WhatsApp для оперативной связи:

США +1 603 275 2000 ☎ СНГ +7 926 224 02 04 ☎ Узбекистан +998 91 162 1404

KPMG

KPMG в Узбекистане – компания «Большой четверки»

Самый быстрорастущий офис KPMG в Центральной Азии и Кавказе. Международная сеть фирм, предоставляющих аудиторские, налоговые и консультационные услуги.

Целью своей деятельности KPMG видит превращение профессиональных знаний в реальную экономическую выгоду в интересах своих клиентов, сотрудников и международных рынков капитала.

Количество сотрудников компании составляет 320 человек.

Аудит

Аудит финансовой отчетности, подготовленной в соответствии с Международными стандартами финансовой отчетности (МСФО, ОПБУ США)

Услуги, связанные с аудитом

Услуги в области учета и отчетности

Налоговое и юридическое консультирование

- Налогообложение юридических лиц
- Юридическое консультирование
- Услуги частным клиентам
- Налогообложение физических лиц и консультации

Консультационные услуги

- Инвестиции и рынки капитала
- Управленческое консультирование
- Консультирование по управлению рисками

Social Media Contacts

KPMG Uzbekistan

kpmg_uzbekistan

KPMG Uzbekistan

KPMG Career CA

Ташкент, Международный бизнес-центр,
проспект Амира Темура, 107-Б,
11-й этаж, блок А
Телефон: +998 78 147 77 44
Факс: +998 78 147 77 44
Электронная почта: info@kpmg.co.uz

kpmg.co.uz

DM75

Станки серии DM75 для бурения взрывных скважин от «Epiroc» - демонстрируют высокую производительность при бурении пород любой категории