

O'zbekiston

KONCHILIK XAVARNOMASI 2

№ 97

ILMIY-TEXNIK VA ISHLAB CHIQRISH JURNALI *Апрел - Iyun 2024*

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРНЫЙ ВЕСТНИК

УЗБЕКИСТАНА

ГМЗ-2
55 лет



ЦРУ
60 лет

ОЭС ВВС
55 лет



normet

ЭКСПЕРТЫ В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ
В ПОДЗЕМНЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

Multimec MF 100

Система быстръемных кассет – идеальное решение в подземных горных работах требующих быструю замену функциональности самоходной машины для разных задач (мобильная мастерская, генератор, бетоно-насос и т.д.)



C100 КАССЕТА-МАСТЕРСКАЯ

- > Кассета может использоваться автономно, Если шасси (Multimec) используется в других работах
- > Опционально может оборудоваться дизель-генератором

**Кассета-мастерская
включает в себя:**

- > Сварочный аппарат
- > Рабочая зона со столешницей
- > Заточной, обжимной станок для РВД
- > Компрессор, генератор, моечная машина
- > Стандартный набор инструментов и т.д.



**СООБЩИТЕ НАМ СВОИ
ПОТРЕБНОСТИ!**

Normet International Ltd.

Представительство в Республике Узбекистан,
г. Ташкент, 100084, проспект А. Темура, 95 А.
Тел.: +998 78 140 91 91
Факс: +998 78 140 92 92

O'zbekiston KONCHILIK XABARNOMASI

ILMIY-TEXNIK VA ISHLAB CHIQRARISH JURNALI

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

Ta'isichilar:

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

Moliyaviy qo'llab quvvatlovchilar:

«Navoiy KMK» AJ

Bosh muharrir:

U.Z. Sharafutdinov

Bosh muharrir o'rinbosari:

Sh.Sh. Alikulov

Texnik va badiiy muharrir:

F.Yu. Zairova

Bo'limlar bo'yicha tahrir hay'ati tarkibi: *geotexnologiya* – Rakishev B.R. (Qozog'iston), Shashenko A.N. (Ukraina), Zairov Sh.Sh. (O'zbekiston), Misliboev I.T. (O'zbekiston), Nosirov U.F. (O'zbekiston), Raimjanov B.R. (O'zbekiston), Umarov F.Ya. (O'zbekiston); *geologiya* – Snitka N.P. (O'zbekiston), Turesebekov A.X. (O'zbekiston); *boyitish va metallurgiya* – Dementiev V.E. (Rossiya), Abdurahmonov S.A. (O'zbekiston), Sanaqulov K. (O'zbekiston), Samadov A.U. (O'zbekiston), Xasanov A.S. (O'zbekiston), Ergashev U.A. (O'zbekiston), Yoqubov M.M. (O'zbekiston); *ilmiy va laboratoriya tadqiqotlari* – Mishina O.V. (Germaniya), Mustaqimov O.M. (O'zbekiston), Muxiddinov B.F. (O'zbekiston), Nurmurodov T.I. (O'zbekiston), Sagdiyeva M.G. (O'zbekiston), Xamidov X.I. (O'zbekiston); *elektroenergetika sanoati* – Tabakman I.B. (Kanada), Mahmudov A.M. (O'zbekiston); *ekologiya* – Vorobyov A.G. (Rossiya), Gulyamov B.V. (O'zbekiston), Raziqov Z.A. (Tojikiston), Raxmatov A.B. (O'zbekiston); *iqtisod* – Vorobyov A.E. (Rossiya).

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.

Jurnaldan ko'chirib bosilganda manba qayd etilishi shart

Jurnalda chop etilgan ma'lumot va keltirilgan dalillarning aniqligi uchun muallif javobgardir

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>

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
Tel.: +99899 111-94-62

Nashr etishga 05.06.2024 y. imzolandi
A3 formatda. Adadi 100 nusxa
© O'zbekiston konchilik xabarnomasi 2024

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-исследовательский институт геотехнологии и цветной металлургии ООО «O'zGEORANGMETLIT»

При финансовой поддержке:

АО «Навоийский ГМК»

Главный редактор:

Шарафутдинов У.З.

Зам. главного редактора:

Аликулов Ш.Ш.

Технический и художественный редактор:

Заирова Ф.Ю.

Состав редколлегии по разделам: *геотехнология* – Ракишев Б.Р. (Казахстан), Шашенко А.Н. (Украина), Заиров Ш.Ш. (Узбекистан), Мислибоев И.Т. (Узбекистан), Носиров У.Ф. (Узбекистан), Раимжанов Б.Р. (Узбекистан), Умаров Ф.Я. (Узбекистан); *геология* – Снитка Н.П. (Узбекистан), Турсебеков А.Х. (Узбекистан); *обогащение и металлургия* – Дементьев В.Е. (Россия), Абдурахмонов С.А. (Узбекистан), Санакулов К. (Узбекистан), Самадов А.У. (Узбекистан), Хасанов А.С. (Узбекистан), Эргашев У.А. (Узбекистан), Якубов М.М. (Узбекистан); *научно-лабораторные изыскания* – Мишина О.В. (Германия), Мустакимов О.М. (Узбекистан), Мухиддинов Б.Ф. (Узбекистан), Нурмуродов Т.И. (Узбекистан), Сагдиева М.Г. (Узбекистан), Хамидов Х.И. (Узбекистан); *электроэнергетика* – Табакман И.Б. (Канада), Махмудов А.М. (Узбекистан); *экология* – Воробьев А.Г. (Россия), Гулямов Б.В. (Узбекистан), Разыков З.А. (Таджикистан), Рахматов А.Б. (Узбекистан); *экономика* – Воробьев А.Е. (Россия).

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.

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна

За точность фактов и достоверность информации ответственность несут авторы

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>

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 05.06.2024 г.
Формат А3. Тираж 100 экз.
© Горный вестник Узбекистана 2024

ISSN 2181-7383



4 780010 201760 >

MUNDARIJA / ОГЛАВЛЕНИЕ

KONCHILIK ISHLARI / ГОРНЫЕ РАБОТЫ

Тухташев А.Б., Назаров З.С., Абдурашидов Ш.М., Зарипова Ф.Б. Разработанная структурная классификация техногенных месторождений минерального сырья.....	4
Насиров У.Ф., Заиров Ш.Ш., Очиллов Ш.А., Раимкулова С.М. Разработка технологической схемы расположения взрывных скважин для увеличения степени разрушения горных пород в зоне нерегулируемого дробления.....	7
Маркенбаев Ж.Д., Полиновский К.Д., Дуйсебаев Б.О., Санакулов У.К. Перспективные варианты химической регенерации серной кислоты из маточных растворов сернокислотного ПСВ.....	10
Айдуйсенов Б.А., Полиновский К.Д., Дуйсебаев Б.О., Аликулов Ш.Ш. Перспективы электрохимической регенерации серной кислоты из маточных растворов сернокислотного ПСВ урана.....	16
Назаров З.С., Хакимов Ш.И., Назаров А.З. Разработка карьеров этапами и оценка целесообразности реализации способа, в условиях рыночной экономики современного горнодобывающего предприятия.....	21
Ишанходжаев З.К., Гаибназаров Б.А., Фатхиддинов А.У., Заирова Ф.Ю. Исследование режима детонационных волн в скважинных зарядах взрывчатых веществ.....	25

BOYITISH VA METALLURGIYA / ОБОГАЩЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

Sharafutdinov U.Z., Rajabboyev I.M., Qilichov N.B., Davlatova V.D. Texnologik eritmalaridan uranni sorbsiyalash jarayoniga sulfat ionlarning ta'sirini tadqiq qilish.....	28
Aliqulov Sh.Sh., Roziqov R.J. Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishda gidrodinamik jarayonlarni tadqiqot qilish.....	31
Якубов М.М., Джумаева Х.Ю., Хамидуллаев Б.Н., Ёкубов О.М. Усовершенствование технологии флотации руды месторождений «Кальмакыр» и «Ёшлик-1» с оборотным водоснабжением.....	34
Yoqubov O.M., Valiev X.R., Yakubov M.M., Maqsudxo'jaeva M.S. «Olmaliq KMK» AJ texnogen xom ashyo muammlarining innovatsion yechimlari.....	38

ILMIY-LABORATORIYA IZLANISHLARI / НАУЧНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Санакулов К., Хамидов Х.И., Фузайлов О.У., Нарзуллаев Ж.Н. Исследование гидрометаллургического окисления флотоконцентрата с использованием иона Fe ³⁺	42
Санакулов У.К., Ваповев Х.М., Аллаёров Н.Б., Жураев И.И. Изучение и анализ сточных вод гидрометаллургических производств АО «НГМК».....	45
Воробьев А.Е., Турлуев Р.А.В., Мадаева М.З., Воробьев К.А. Физико-химические особенности природных галлуазитовых нанотрубок.....	50
Мухиддинов Б.Ф., Самадов С.С., Ахтамов Д.Т., Шодиев А.Ф. Исследование процесса физико-химической модификации эпоксидных олигомеров блокированными диизоцианатами.....	56
Бобоназаров Ж.Р., Карабекян С.Х. Теоретические основы математического описания процессов фильтрации при подземном выщелачивании.....	59

Курбанов М.А., Рузиев Б.Т., Тимербулатов А.Р., Утаев С.М. Переработка отработанных магнезитовых капелей пробирного анализа....	62
Умаров Ф.Я., Худайбердиев О.Ж., Джураева Н.М., Заирова Ф.Ю. Влияние температурных факторов внешней среды на истечение продуктов детонации из скважины.....	66
Шакаров Т.И., Хурмаматов А.А., Султанова М.А., Исмадова Н.Т. Способы интенсификации измельчения в шаровых мельницах.....	69

MASHINASOZLIK TEXNOLOGIYASI / ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Egamberdiyev I.P., Hamroyev N.N., Ashurov X.X., Saibov M.F. Strukturaviy tashkil etuvchilarning yeyilishga bardoshlilik xususiyatiga ta'sirini tahlil qilish.....	74
Mamadiyorov M.Yu., Saidov A.N., Irnaeva L.S., Djuraeva D.M. Frezlash dastgohlarini modellashtirish asosida tadqiq qilish.....	78
Туйбойов О.В., Каримов К.А., Эгамбердиев И.П., Яхшиев Ш.Н. Комплексный анализ износа инструмента в современных производственных процессах.....	83

AVTOMATLASHTIRISH VA ELEKTROENERGETIKA / АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Bozorov B.N., Shodiyev N.O. Dasturiy ta'minotni ishlab chiqishda moslashuvchan yondashuvlar.....	89
Qarshibayev A.I., Jumayev Z.I. Konchilik korxonalarining elektr energiya iste'moliga ta'sir etuvchi omillarning tahlili.....	94
Taslimov A.D., Raximov F.M. Qishloq elektr tarmoqlarining ishonchlilik ko'rsatkichlari tahlili.....	96

MEHNAT MUHOFAZASII, SANOAT XAVFSIZLIGI VA EKOLOGIYA (ESG) / ОХРАНА ТРУДА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЯ (ESG)

Ходжибаев Д.Д., Разыков З.А., Мамадов И.А. Мониторинг качества подземных вод прилегающих территорий Дигмайского хвостохранилища.....	101
Jiang Ru, Zhang Dong. Environmental monitoring and control system of greenhouse based on internet of things technology.....	104

REKLAMA / РЕКЛАМА

На обложке: Epiroc

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 «UzGEORANGMETLIT».

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

Editorial Board: Vorobiev A.G. (Publishing house "Ore and Metals", Russia), Vorobiev A.E. (Grozny State Oil Technical University, Russia), Mishina O.V. (Engineering diverse GMBH, Germany), Dementiev V.E. (JSC "Irkutsk Research Institute of Noble and Rare Metals and Diamonds" Russia), Rakishev B.R. (Nazarbayev University, Kazakhstan), Razykov Z.A. (Mining and Metallurgical Institute of Tajikistan), Tabakman I.B. (Wenco International Mining Systems, Canada), Shashenko A.N. (National Technical University "Dnipro Polytechnic", Ukraine), Abdurahmonov S.A. (Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Uzbekistan), Gulyamov B.V. (State Committee for Industrial Safety of the Republic of Uzbekistan), Zairov Sh.Sh. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Nurmurodov T.I. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Muhiddinov B.F. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Misliboiev I.T. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Makhmudov A.M. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Mustakimov O.M. (Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Uzbekistan), Nosirov U.F. (Almalyk branch the National University of Science and Technology (MISIS), Uzbekistan), Raimzhanov B.R. (State Unitary Enterprise "Uzbek Scientific Research and Design and Survey Institute of Geology and Nonferrous Metallurgy "Uzgeorgantmetil", Uzbekistan), Rakhmatov A.B. (Republican specialized scientific and practical medical center for dermenovenerology and cosmetology, Uzbekistan), Sagdieva M.G. (State Enterprise "Institute of Mineral Resources", Uzbekistan), Sanakulov K.S. (Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Uzbekistan), Samadov A.U. (Almalyk branch of Tashkent State Technical University, Uzbekistan), Khasanov A.S. (JSC "Almalyk Mining and Metallurgical Plant", Uzbekistan), Snitka N.P. (Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Uzbekistan), Turesebekov A.Kh. (Institute of Geology and Geophysics named after Kh.M. Abdullaev, Uzbekistan), Umarov F.Ya. (Almalyk branch the National University of Science and Technology (MISIS), Hamidov X.I. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Ergashev U.A. (Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Uzbekistan), Yakubov M.M. (Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Uzbekistan).

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.

At a reprint of materials reference to the journal is required.

The accuracy of the facts and the accuracy of the information are the responsibility of the authors.

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

MINING WORK

Nasirov U.F., Zairov Sh.Sh., Ochilov Sh.A., Raimkulova S.M. Development of the technological scheme of blast borehole location to increase the degree of rock destruction in the zone of unregulated crushing..... 7

Markenbaev Zh.D., Polinovsky K.D., Duisebayev B.O., Sanakulov U.K. Promising options for the chemical regeneration of sulfuric acid from mother liquors of sulfuric acid ISL..... 10

Aiduisenov B.A., Polinovsky K.D., Duisebayev B.O., Alikulov Sh.Sh. Prospects of electrochemical regeneration of sulfuric acid from mother liquors of sulfuric acid ISL of uranium..... 16

Nazarov Z.S., Khakimov Sh.I., Nazarov A.Z. Development of quarries in stages and assessment of feasibility of method realisation, in conditions of market economy of modern mining enterprise..... 21

Ishankhodzhaev Z.K., Gaibnazarov B.A., Fathiddinov A.U., Zairova F.Yu. Investigation of the detonation wave mode in borehole explosive charges. 25

ENRICHMENT AND METALLURGY

Sharafutdinov U.Z., Rajabboev I.M., Kilichov N.B., Davlatova V.D. Investigation of the influence of sulfate ions on the process of uranium sorption from process solutions..... 28

SCIENTIFIC AND LABORATORY RESEARCH

Sanakulov K., Khamidov Kh.I., Fuzailov O.U., Narzullaev Zh.N. Investigation of hydrometallurgical oxidation of flotation concentrate by Fe³⁺ ions..... 42

Sanakulov U.K., Vapoev Kh.M., Allayorov N.B., Zhuraev I.I. Study and analysis of waste water from hydrometallurgical operations of JSC «NMMC»..... 45

Umarov F.Ya., Khudayberdiev O.Zh., Juraeva N.M., Zairova F.Yu. Impact of environmental temperature factors on the release of detonation products from the borehole..... 66

РАЗРАБОТАННАЯ СТРУКТУРНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ



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



Назаров З.С.,
доцент кафедры
«Горное дело» НГГТУ,
к.т.н.



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



Зарипова Ф.Б.,
ассистент кафедры
«Горное дело» НГГТУ

Maqolada texnogen konlarning tasniflarini ishlab chiqish va ularni o'zlashtirish shuningdek, nazariy ishlanmalarning konstruktiv xususiyatlari va texnogen xom ashyoni qazib olishning parametrlari taklif etilgan. Ko'rib chiqilgan ma'dan-tog' jinslar, boyitish fabrikalari chiqindilari va oltinni uyumlab ishqorlashdan hosil bo'lgan chiqindilar, yer yuzasidagi texnogen konlar uchun tavsiya etilgan strukturaviy tasnifga ko'ra, oltin rudali texnogen konlarni qazib olish texnologiyalari va texnologik sxemalarini ishlab chiqish imkonini beradi. Bu bizga eng kam iqtisodiy xarajatlar bilan qazib olish masalasini yechishga imkon beradi.

Tayanch iboralar: texnogen konlar, texnogen xom ashyo, texnogen xosila, strukturaviy tasnif, oltinni uyumlab ishqorlash chiqindilari, ag'darma.

В статье предложена разработанная структурная классификация техногенных месторождений и их освоение, а также теоретические наработки с заданными конструктивными особенностями и параметрами для добычи техногенного сырья. Для рассмотренных классов техногенных месторождений рудно-породных, хвостовых и отходов кучного выщелачивания согласно предложенной структурной классификации на дневной поверхности, даёт возможность разработки технологии и технологических схем отработки золоторудных техногенных месторождений. Которые позволят, решить возможность отработки с наименьшими экономическими затратами.

Ключевые слова: техногенные месторождения, техногенное сырьё, техногенные образования, структурная классификация, отходы кучного выщелачивания, отвал.

Приведённая классификация не претендует на универсальность в общем плане. В частности, для составления кадастра техногенных месторождений она явно не имеет достаточной полноты, так как не включает в себя характеристику запасов ни по минералогическому составу, ни по их количеству, ни по наиболее перспективным полезным компонентам. Однако для выбора технологии разработки, выбора горнотранспортного и выемочного оборудования при открытой разработке приведённая классификация является и необходимой, и достаточной. То что структурная характеристика техногенного сырья неразрывно связана с его образованием она позволяет использовать данную классификацию при обосновании технологии и технологических схем их отработки. При разработке способов освоения существующих и формирования будущих техногенных месторождений обращение к структурно-техногенным характеристикам отходов в горной промышленности актуально.

Породные отвалы, склады забалансовых руд, отходы кучного выщелачивания имеют свои структурно-текстурные характеристики, обусловленные видом и качеством. Они представлены, как правило, скально-обломочным материалом, размер которого в результате буровзрывных работ, экскавации и транспортировки на 95-98% не превышает 400-500 мм, а отходы кучного выщелачивания не превышают 1-5 мм, что в основных чертах требует разработки новых технологий и их отработки.

Выбор технологических схем в первую очередь зависит от класса техногенных месторождений, который в первом приближении определяет его структурно-текстурные характеристики. Для рассмотренных классов техногенных месторождений рудно-

породных, хвостовых и отходов кучного выщелачивания согласно предложенной структурной классификации на дневной поверхности, даёт возможность разработки технологии и технологических схем отработки золоторудных техногенных месторождений. При выборе технологических схем добыча полезных ископаемых может быть осуществлена путём цикличной, циклично-поточной и поточной технологиями. Если первые две имеют достаточно широкое распространение и подходят для большинства месторождений, то поточные технологии в силу своих особенностей имеют ограниченное применение.

Из поточных технологий более эффективным являются технологии с использованием роторных экскаваторов, и конвейерного транспорта. Эти технологии рассчитаны на производство с весьма большими годовыми объёмами горных работ, до нескольких десятков млн $m^3/год$, чего не предусматривается при разработке отходов кучного выщелачивания для использования их повторной переработки для получения концентрата или металла. Минимальная часовая производительность роторного экскаватора с конвейерным транспортом составляет 3500-4000 $m^3/ч$, а для мехлопат с вместимостью ковша 815 m^3 – 800-1000 $m^3/ч$ [9]. Одной из задач является решение вопроса управления усреднением содержания техногенного сырья для повторной переработки. Поточные технологии могут быть перспективными для разработки штабеля кучного выщелачивания приспособленного к условиям таких техногенных месторождений.

Если ориентироваться на производительность по разработке штабеля кучного выщелачивания в 10-20 млн $m^3/год$, то такая мощ-

Таблица 1

Структурная классификация техногенных месторождений на дневной поверхности

Класс техногенных месторождений	Подкласс	Техногенное сырьё	Вид и качество	Основной диапазон крупности техногенного сырья, мм
1. Рудно-породные	1.1. Склады	1.1.1. Забалансовые руды	Дробление по технологии открытой и подземной разработки полезных ископаемых	1-400
		1.1.2. Попутные руды		
		1.1.3. Разубоженные руды контактных зон		
	1.2. Отвалы	1.2.1. Скальные или полускальные породы вскрыши	Дробление по технологии открытой разработки	1-800
		1.2.2. Скальные или полускальные породы проходки	Дробление по технологии подземной разработки	1-400
		1.2.3. Моренные породы	Вскрышные работы с частичным дроблением валунов	0.01-200
1.2.4. Рыхлые породы		Вскрышные работы на рыхлых осадочных породах и грунтах	0.1-30	
1.2.5. Смешанные		Совместная отсыпка скальных, моренных или иных вскрышных пород	0.1-400	
2. Хвостовые	2.1. Хвостохранилища	2.1.1. Хвосты мокрого обогащения	Гравитация, флотация, магнитная сепарация и др.	0.01-5
		2.1.2. Хвосты сухого обогащения	Породовыборка, слюдовыборка и др.	0.01-30
3. Шлакозольные	3.1. Шлако- и шламоотвалы	3.1.1. Шлаки гранулированные	Отходы технологического процесса пирометаллургии	1-30
		3.1.2. Шлаки сплавленные		–
		3.1.3. Шламы металлургические		0.001-2.0
	3.2. Золошлако-отвалы	3.2.1. Золошлаковые смеси	Отходы теплостанций, работающих на твёрдом топливе	0.001-10
4. Отходы выщелачивания	4.1. Подушка выщелачивания	4.1.1. Золотосодержащие	Отходы кучного выщелачивания крупные и мелкодисперсные	1-5

ность вполне будет обеспечена циклическими, циклично-поточными и поточными технологиями. Теоретически на выемочно-погрузочных работах по этой технологии могут использоваться экскаваторы циклического и непрерывного действия и фронтальные погрузчики. Опыт работы показывает, что в забоях штабеля кучного выщелачивания лучше всего себя зарекомендовали фронтальные погрузчики, роторные экскаваторы с конвейерным комплексом. Как показывает опыт рыхление штабеля в забое в большинстве случаев производить без буровзрывных работ за счёт напорного усилия фронтального погрузчика и роторного экскаватора. Поэтому с экономической стороны для выемочно-погрузочных работ следует рекомендовать фронтальные погрузчики, роторные экскаваторы, в качестве вспомогательного оборудования можно использовать бульдозера.

Техногенное сырьё по своему значению можно назвать стратегическим резервом промышленности. Используя ТС, мы сохраняем природные месторождения для будущего, сохраняя их, мы создаём потенциальную базу для расширения производства в необходимое время и с меньшими затратами. В любом случае ТС должно сохраняться с учётом его возможного извлечения и последующего использования, а не считаться отходом, требующим утилизации и изолирования.

Успешному решению проблемы освоения минеральных ресурсов техногенных месторождений требует решение следующих задач: а) оценка перспектив и резервов расширения минерально-сырьевой базы за счёт вовлечения в эксплуатацию ТМ; б) выявление и оценка эффективности и целесообразности вовлечения конкретных ТМ в разработку для расширения минерально-сырьевой базы в настоящее время; в) разведка первоочередных для эксплуатации ТМ с постановкой на баланс объёмов содержащегося в них ТС и полезных компонентов; г) разработка новейших отечественных промышленных технологий для комплексного извлечения полезных компонентов из ТС.

В данной работе хотелось бы отметить многообразие технических, экономических, экологических и правовых сложностей в про-

блеме освоения и формирования ТМ. Основная доля этих сложностей появилась и продолжает сказываться только из-за долгого непризнания минеральных отходов горно-перерабатывающих предприятий минеральным сырьём. Это пример того, как важно решать такие проблемы, как использование отходов комплексно и до исчерпывающего завершения.

Проблема освоения техногенных месторождений минерального сырья объёмна и многогранна. Исследованием было проанализировано состояние уже существующих, т. е. уже сформированных техногенных месторождений, изучен богатый практический опыт их реального освоения и проектирования и разработана структурная классификация по вовлечению их в эксплуатацию с максимальной эффективностью.

В статье не рассматриваются техногенные месторождения, которые подвергаются предварительным физическим и/или химическим воздействиям до начала освоения с целью улучшения качества или увеличения количества техногенного минерального сырья.

Практически ни одно современное производство не обходится без разного рода отходов, которые не могут быть использованы в настоящий момент, и их приходится где-то размещать в надежде «может, потом пригодятся», а чаще всего – чтобы не мешали и по возможности не занимали много места. При этом естественным является желание получить доход от использования хотя бы части отходов сразу же при основном производстве или позднее, когда появится спрос на продукцию из этих отходов.

Аналогичный подход был характерен и для горнодобывающей отрасли. Подавляющее большинство полезных ископаемых, которые составляют минеральные ресурсы страны, являются по своему составу поликомпонентными, но за редкими исключениями они разрабатывались и продолжают разрабатываться. При этом все остальные компоненты, содержащиеся в рудах и вмещающих породах, количество которых может достигать одного и даже двух десятков, попадают в отходы, которые складываются преимущественно на дневной поверхности. Весь материал

таких отходов представляет собой вторичные минеральные ресурсы, в которых нередко содержится весьма ценное даже в настоящее время минеральное сырьё [1-3]. Уже не одно десятилетие горняки пытаются эффективно решить проблему комплексного освоения недр. Само понятие комплексного освоения недр впервые по-крупному было сформулировано академиком Н.В. Мельниковым [4, 5]. Развивая смысл этого понятия, он отмечал, что проблема повышения комплексности использования минерального сырья включает в себя также рациональное использование отходов горнопромышленного производства, в которых полезных компонентов часто бывает больше, чем в разрабатываемых полезных ископаемых. Отходы горнопромышленного производства отвалы вскрышных пород, хвосты обогажительных фабрик, шлаки и шламы металлургических заводов, золы тепловых электростанций часто имеют высокую промышленную ценность [2]. Продукция из отходов горнорудного производства в 2-4 раза дешевле, чем из естественного месторождения, а окупаемость капитальных вложений обычно не превышает 1-2 года. Растущие объёмы горной промышленности превращают отходы в важнейший источник различных видов вторичного минерального сырья, которые в своей совокупности составляют вторичные минеральные ресурсы. Для разъяснения термина «техногенные месторождения» нет необходимости вводить промежуточное – «техногенное образование» [7]. Техногенные образования или объекты (минеральные) – скопления минеральных веществ на поверхности земли или в горных выработках, образовавшиеся в результате отделения их от массива и складирования в виде отходов горного, обогажительного и металлургического производств. Техногенные месторождения – техногенные образования, по количеству и качеству содержащегося в них минерального вещества пригодного для эффективного использования в сфере материального производства в настоящее время или в будущем (по мере развития науки и техники) [7]. В создании структурной классификации техногенных месторождений, обеспечивающих эффективное освоение техногенных образований, работал ряд известных учёных мира и Республики Узбекистан [1-5]. Анализ опубликованных данных о технологиях разработки техногенных образований, золотодобычи и переработки показал, что несмотря на общепризнанный факт неоднородности структуры их до настоящего времени вопросам обоснованного выбора технологий открытой разработки ранее сформированных хвостохранилищ, представленных отходами обогащения золотосодержащих руд, рудо-породных складов, отвалов и отходов кучного выщелачивания уделяется недостаточно внимания. Отходы горнодобывающей и горно-перерабатывающей промышленности возникают на каждом этапе технологической цепочки, от выемки из недр полезного ископаемого до получения конечного продукта. В зависимости от того, на каком этапе выделены отходы, различают

структуру техногенного сырья, минеральному составу, который зависит от качества и состава руд и вмещающих их пород на каждом месторождении. Вторым фактором, наиболее важным для технологии разработки, являются структурные особенности, которые зависят от технологического этапа, создающего эти отходы. Иными словами, если вид и качество техногенного сырья определяют очерёдность разработки техногенного месторождения, то структура и взаимное расположение контурных слоев определяют технологию разработки техногенных месторождений.

По этой причине возникает необходимость классификации техногенных месторождений по структурному признаку техногенного сырья. Ранее предлагались различные классификации техногенных месторождений [6-8], в которых, однако, отсутствовал чёткий классификационный признак. Поэтому использовать эти классификации техногенных месторождений в качестве основы для создания типовых схем их разработки не представляется возможным. Как показывает анализ, существующие техногенные месторождения рассматриваемые в Республике Узбекистан чаще всего расположены на дневной поверхности, то разрабатывать их следует открытым способом. В нашем случае это обстоятельство стало начальным условием создания структурной классификации.

Характеристика вида и качества техногенных месторождений является не только граничным условием, но и определяющим признаком при выделении классов техногенных месторождений. При этом следует отметить, что такая характеристика, как способ разработки (подземный, открытый) естественного месторождения, на основе которого формируются техногенные месторождения, принципиальной роли для определения класса техногенных месторождений практически не играет. Материал техногенных месторождений во всех случаях представлен дезинтегрированной горной массой и различается такими физическими характеристиками, как диапазоны крупности гранулометрического состава горных пород и степень их связности. Исключение составляют только шлаковые отвалы, которые могут быть гранулированными и монолитно сплавленными.

Таким образом, вид и качество определяют основную структурную характеристику техногенных месторождений – диапазон гранулометрического состава извлечённой из недр и переработанной горной массы, т. е. техногенного сырья. Если подходить к классификации техногенных месторождений с позиций дифференциации технологических способов и механизмов для их разработки, то структурно-технологическая характеристика техногенного сырья будет являться определяющим признаком. По этому признаку все техногенные месторождения, расположенные на дневной поверхности, можно разделить на четыре основных класса, представленных отвалами горнодобывающей, перерабатывающей промышленности и отходами кучного выщелачивания. В статье предложена авторами разработанная уточненная, и дополненная классификация, которая представлена в табл. 1.

Библиографический список:

1. Трубецкой К. Н., Уманец В. Н., Никитин М. Б. Классификация техногенных месторождений, основные категории и понятия // Горный журнал. – № 12. – М. «Руда и металл», 1989. – С. 6-9.
2. Санакулов К.С. О возможности извлечения благородных и цветных металлов из отходов обогажительной фабрики // Горный вестник Узбекистана. – № 3 (74). – Навои, 2018 г. – С. 3-5.
3. Санакулов К.С. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. – Ташкент: Изд-во «Фан» АН РУз.
4. Гуменик И. Л., Матвеев А. С., Панасенко А. И. Классификация техногенных формирований при открытых горных работах // Горный журн. 1988. – № 12. – М. «Руда и металл», 1988. – С. 53-54.
5. Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А., Галенова И.В. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счёт вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов // Горный журнал. – № 12. – М. «Руда и металл», 2017. – С. 46-51.
6. Архипов А.В., Решетняк С.П. Техногенные месторождения. Разработка и формирование: монография // Алпатиты: КНЦ РАН, 2017. – 175 с.
7. Решетняк С.П., Данилкин А.А. Решение проблем промышленного освоения техногенных месторождений // Открытые горные работы в XXI веке: Сборник материалов международной научно-практической конференции. – Красноярск, ООО «НТЦ Горное дело», 2011. – С. 384-391.
8. Тухташев А.Б., Жабборов О.И., Абдурашидов Ш.М., Аброев С.Ш. Разработка техногенных образований кучного выщелачивания с изменением параметров ярусов штабеля // Горный вестник Узбекистана. – № 1 (96). – Навои, 2024 г. – С. 19-23.
9. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виницкий К.Е., Мельников Н.Н. и др. Открытые горные работы: справочник. – М.: Горное бюро, 1994. – 590 с.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО ДРОБЛЕНИЯ



Насиров У.Ф.,
заместитель директора
по научной работе и инновациям
АФ НИТУ «МИСиС»,
д.т.н., профессор



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



Очилов Ш.А.,
заведующий кафедрой
«Техника и технология геолого-
разведочных работ» УГН,
PhD, доцент



Раимкулова С.М.,
докторант кафедры
«Горное дело» ТГТУ

Maqolada karyerlarda portlovchi moddali skvajinali zaryadlarni portlatish paytida nazorat qilinadigan va nazorat qilinmaydigan maydalash zonalari o'rganildi. Tog' jinrlarini maydalash sifatini nazorat qilish asoslari va portlatish skvajinalarini joylashtirishning texnologik sxemasi ishlab chiqilgan. Tog' jinrlarining fizik-mexanik xususiyatlarining minimal to'plami va qazib-yuklash uskunalarini parametrlari asosida ishlab chiqilgan texnologik sxemaning parametrlarini hisoblash uchun formulalar tavsiya etiladi.

Tayanch iboralar: portlash energiyasini boshqarish, nazorat qilinadigan va nazorat qilinmaydigan maydalash zonalari, portlovchi modda zaryadi parametrlari, skvajinaning joylashuv to'ri, maydalash zonasini radiusi, skvajina joylashishining texnologik sxemasi, katta hajmli bo'laklarning chiqishi, tog' jinrlarini maydalash darajasi.

В работе исследованы зоны регулируемого и нерегулируемого дробления при взрыве скважинных зарядов взрывчатых веществ на карьерах. Разработаны основы регулирования качеством дробления горных пород и технологическая схема расположения взрывных скважин. Рекомендованы формулы для расчета параметров разработанной технологической схемы исходя из минимального набора физико-механических характеристик горных пород и параметров выемочно-погрузочного оборудования.

Ключевые слова: управление энергией взрыва, зоны регулируемого и нерегулируемого дробления, параметры заряда взрывчатых веществ, сетка расположения скважин, радиус зоны дробления, технологическая схема расположения скважин, выход негабарита, степень дробления горных пород.

Наблюдаемые в последние годы тенденции к увеличению удельного расхода взрывчатых веществ (ВВ) на открытых горных работах для облегчения условий работы и повышения производительности горнодобывающей техники, а также постоянно растущие объемы ведения взрывных работ обуславливают необходимость постоянного совершенствования техники и технологии взрывания и дробления горных пород под действием энергии взрыва [1].

С увеличением глубины карьеров наблюдается постоянное снижение ширины рабочих площадок, повышение крепости горных пород и усложнение гидрогеологических условий [2]. В связи с этим большое значение придается подготовке взорванной горной массы заданного гранулометрического состава, особенно в крепких, сильнотрещиноватых и нарушенных горных породах, использование в которых общеизвестных методов управления энергией взрыва не даёт положительных результатов.

При проведении массового взрыва на карьерах вокруг каждого скважинного заряда ВВ формируются зоны регулируемого и нерегулируемого дробления [3, 4] (рис. 1).

В непосредственной близости от заряда все отдельные разрушаются на значительное число кусков под действием волн напряжений и давления газов взрыва.

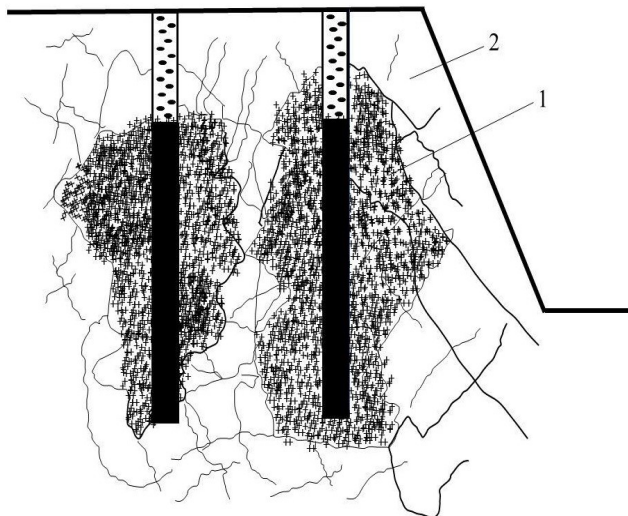


Рис. 1. Зоны дробления при взрыве скважинного заряда ВВ: 1 – зона регулируемого дробления; 2 – зона нерегулируемого дробления

Изменяя параметры заряда ВВ, можно направленно изменять крупность дробления горных пород в этой зоне. Размеры зоны регулируемого дробления увеличиваются с увеличением диаметра заряда дискретно, т.е. на одну, две, три разрушаемые отдельности.

Зоной нерегулируемого дробления являются участки горного массива, в которых заряд ВВ с принятыми детонационными свойствами и технологическими параметрами дробить породу не в состоянии, но она по разным причинам оказывается раздробленной. В этих зонах она разваливается взрывом по естественным отдельностям без существенного участия энергии разрушения заряда в процессе дробления горных пород.

Зоны нерегулируемого дробления встречаются в разных местах отбиваемого карьерного блока.

Задача методов регулирования дроблением состоит в том, чтобы тем или иным способом увеличить объем зоны регулируемого дробления и уменьшить или совсем ликвидировать зону практически нерегулируемого дробления, раздробить крупные отдельности в этой зоне.

Известные методы регулирования качеством дробления пород взрывом делятся на две группы, в зависимости от того, в какой зоне (регулируемого или практически нерегулируемого дробления) планируется изменить степень дробления горной породы [3].

1. Регулирование воздействия взрыва отдельного заряда на массив в зоне регулируемого дробления путём изменения: удельного расхода ВВ; диаметра заряда; конструкции заряда; направления инициирования сплошного заряда; качества забойки и ее длины.

2. Регулирование воздействия взрыва системы зарядов в зоне практически нерегулируемого дробления путем: изменения сетки расположения скважин и числа их рядов; изменения интервалов замедления и последовательности взрывания зарядов; взрывания в зажатой среде (на подпорную стенку).

В работе [5] установлен радиус зоны регулируемого дробления горных пород при взрыве скважинного заряда ВВ:

$$b_0 = a_0 \cdot \sqrt{\frac{P_{жс}}{k_3 \cdot \sigma_{расм}}}, \text{ м} \quad (1)$$

где b_0 – радиус зоны регулируемого дробления горных пород при взрыве скважинного заряда ВВ, м;

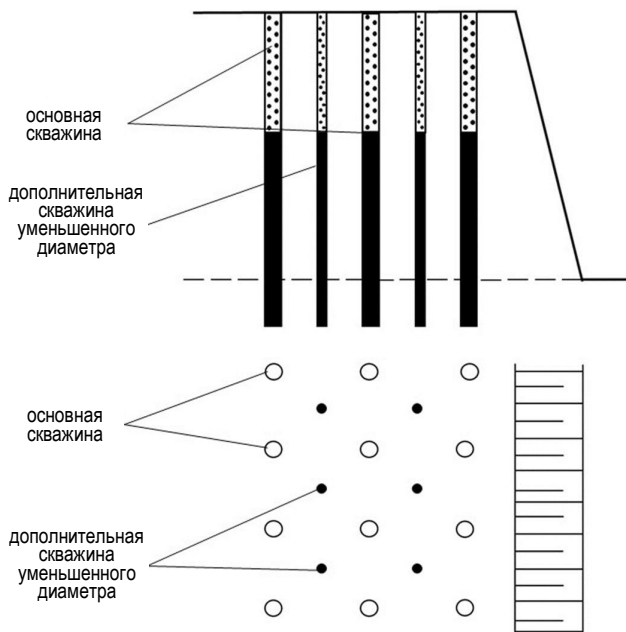


Рис. 2. Технологическая схема расположения основных и дополнительных скважин уменьшенного диаметра на уступе

a_0 – радиус скважинного заряда ВВ, м;
 $\sigma_{расм}$ – предел прочности горных пород на одноосное растяжение, Па;
 $P_{жс}$ – давление продуктов детонации в точке Жуге:

$$P_{жс} = \frac{\Delta D^2}{\gamma + 1}, \text{ Па} \quad (2)$$

Δ – плотность заряжения ВВ, кг/м³;
 D – скорость детонации заряда ВВ, м/с;
 γ – показатель изобары продуктов детонации;

$$k_3 = 1 + \frac{2\gamma P_{жс}}{E} (1 + \mu), \quad (3)$$

E – модуль упругости (Юнга) породы, Па;
 μ – коэффициент Пуассона, характеризующий ее сжимаемость.

Если удовлетворяются требования $a \geq 2b_0$; $b \geq 2b_0$, (4)

то выход негабаритов описывается соотношением

$$V_n^+ = V_e^+ (1 - q), \quad q \leq 1, \quad (5)$$

где V_n^+ – выход негабарита в развале, %;

V_e^+ – содержание негабарита в массиве (до взрыва), %;

$$\bar{q} = d_3^2 \Delta D^2 [(\gamma + 1) ab \sigma_{расм}]^{-1}, \quad (6)$$

d_3 – диаметр заряда, м.

Зона регулируемого дробления описывается соотношением:

$$v_{р0} = 4b_0^2 l_3, \text{ м} \quad (7)$$

а зона нерегулируемого дробления:

$$v_{н0} = (ab - 4b_0^2) l_3, \text{ м} \quad (8)$$

В результате проведенных комплексных исследований действия взрыва скважинных зарядов ВВ разработаны основы регулирования качеством дробления горных пород и за счёт эффективно использования энергии взрыва разработана технологическая схема расположения взрывных скважин, включающая бурение основных скважин по увеличенной квадратной сетке, и между ними дополнительных скважин уменьшенного диаметра.

Схема разработанной технологической схемы расположения основных и дополнительных скважин уменьшенного диаметра представлена на рис. 2.

Применение разработанной технологической схемы с учётом конкретных структурных особенностей горного массива позволяет получить заданную степень дробления и качество подготовки горной массы для различных технологических схем разработки с минимальными материальными и энергетическими затратами.

При оценке эффективности разработанной технологической схемы определяющими факторами являются выход негабарита и степень дробления горных пород.

При взрывном дроблении горных пород главным управляемым параметром является размер среднего куска горной массы, влияющий на удельное сопротивление разрушенного массива копанию, коэффициент разрыхления пород при выемочно-погрузочных и транспортных работах, удельные энергозатраты на механическое дробление и измельчение.

Следствием такого влияния является зависимость размера среднего куска разрушенной взрывом породы от оборудования технологического потока.

В целом, качество взрывоподготовки предполагает минимальные затраты на добычу и переработку полезного ископаемого,

$$C = C_{бур} + C_{взр} + C_{вт.др} + C_{экс} + C_{тр} + C_{др.об} + C_{изм} \rightarrow \min, \quad (9)$$

складывающиеся из расходов на бурение $C_{бур}$, взрывание $C_{взр}$, вторичное дробление $C_{вт.др}$, экскавацию $C_{экс}$, транспортирование $C_{тр}$, дробление на обогатительном заводе $C_{др.об}$ и измельчение перед обогащением $C_{изм}$. В связи с этим актуальным является регулирование крупности взрывного дробления горных пород карьера с целью снижения затрат.

В результате исследований по оптимизации энергозатрат в технологических потоках карьера рекомендуются формулы для расчета параметров разработанной технологической схемы исходя из минимального набора физико-механических характеристик горных пород и параметров выемочно-погрузочного оборудования, что позволяет обеспечить заданный средний кусок взорванной горной массы.

В первую очередь вычисляется оптимальный (с точки зрения энергозатрат) размер среднего куска взорванной горной массы по эмпирической формуле, полученной на основе обработки экспериментальных данных [1, 2]:

$$d_{cp,опт} = 0,08 + 0,75 \cdot 10^{-3} d_{сж} + 2 \cdot 10^{-3} V_k, \text{ м}, \quad (10)$$

где $d_{сж}$ – предел прочности пород на сжатие, МПа;
 V_k – вместимость ковша экскаватора, м³.

Проверяется полученный размер среднего куска взорванной горной массы на соответствие ковшу экскаватора

$$d_{cp,доп} \leq 0,2 \sqrt[3]{V_k}, \text{ м} \quad (11)$$

Определяется требуемый удельный расход ВВ для дробления массива с целью получения среднего куска заданного размера

$$q_n = (3,3 \times 10^{-3} d_{сж} \times \ln d_{cp,опт}) \times K_{вв}, \text{ кг/м}^3, \quad (12)$$

где $K_{вв}$ – коэффициент перевода от аммонита № 6ЖВ к практически используемому типу ВВ.

Вычисляется диаметр скважины для заданной высоты уступа

$$d_{скв} = 0,0078h \sqrt{0,0036 \delta_{сж} + 2,19}, \text{ м} \quad (13)$$

Рассчитывается вес заряда в скважине:

$$P_{зар} = 530 \times (D_{скв})^2 \times L_{скв}, \text{ кг}, \quad (14)$$

где $L_{скв}$ – длина скважины, м.

Вычисляется расстояние между скважинами:

$$a = \sqrt{\frac{530 \cdot D_{скв}^2 \cdot L_{скв}}{q_i \cdot h}}, \text{ м} \quad (15)$$

Определяется выход горной массы с 1 м скважины

$$V_{y\partial} = \frac{a^2 \cdot h}{L_{скв}} = \frac{530 \cdot D_{скв}^2}{q_n}, \text{ м}^3 / \text{ м} \quad (16)$$

При подготовке рудной массы к выемке параметры буровзрывных работ определяются с учетом требований потребителей к кусковатости и качеству поставляемой руды, что накладывает определенные ограничения на удельный расход ВВ и степень нарушения геологической структуры массива при взрыве с целью уменьшения перемешивания руды и вмещающих пород.

С увеличением размера среднего куска при прочих равных условиях энергозатраты на бурение $F_{бi}$ и взрывание $F_{вi}$ уменьшаются, на выемочно-погрузочные работы $F_{впрi}$ и измельчение $F_{измi}$ – возрастают, а суммарные энергозатраты при i -м размере среднего куска рудной массы в этом случае являются наиболее приемлемым критерием оценки:

$$F_{общ} = F_{бi} + F_{вi} + F_{впрi} + F_{измi} @ \min. \quad (17)$$

Таким образом, степень дробления размера среднего куска разрыхленного рудного массива определяется с учетом $F_{общ} @ \min$.

Библиографический список:

1. Шеметов П.А., Норов Ю.Д. Буровзрывные работы. Учебное пособие. – Ташкент: «Фан» АН РУз, 2004. – 116 с.
2. Мальгин О.Н., Шеметов П.А. и др. Оптимизация параметров взрывных работ на карьере // Горный журнал. – М.: Руда и металлы, 1992. – № 2. – С. 30-34.
3. Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: изд. МГИ, 1992. – 516 с.
4. Лапиков И.Н., Шляпин А.В., Казаков Н.Н. О границах зон нерегулируемого дробления // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во «Горная книга», 2010. – № 9. – С. 306-308.
5. Крюков Г.М., Докучович М.И., Жаворонко С.Н. Степень дробления и выход негабарита при взрывном рыхлении горных пород на карьерах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во «Горная книга», 2011. – № 5. – С. 347-351.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 7-9

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGICAL SCHEME OF BLAST BOREHOLE LOCATION TO INCREASE THE DEGREE OF ROCK DESTRUCTION IN THE ZONE OF UNREGULATED CRUSHING

¹Nasirov U.F., Deputy Director for Research and Innovation, Doctor of Technical Sciences, Professor.

¹Zairov 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.

²Ochilov Sh.A., Head of the Engineering and Technology of Geological Exploration Department, PhD, Associate Professor.

³Raimkulova S.M., Doctoral Student at the Department of Mining.

¹Almalyk Branch of the National University of Science and Technology «MISiS». Almalyk, Uzbekistan.

²University of Geological Sciences. Tashkent, Uzbekistan.

³Almalyk branch of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov. Almalyk, Uzbekistan.

Zones of regulated and unregulated crushing at blasting of borehole explosive charges at quarries are investigated in this paper. The bases of regulation of quality of rock crushing and technological scheme of arrangement of explosive boreholes are developed. Formulas for calculation of parameters of the developed technological scheme based on the minimum set of physical and mechanical characteristics of rocks and parameters of excavation-loading equipment are recommended.

Keywords: blast energy management, zones of regulated and unregulated crushing, explosive charge parameters, well grid, radius of crushing zone, technological scheme of wells location, oversize yield, degree of rock crushing.

Bibliographic list:

1. Shemetov P.A., Norov Yu.D. Drilling and blasting operations. Tutorial. – Tashkent: “Fan” of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 2004. – 116 p.
2. Malgin O.N., Shemetov P.A. and others. Optimization of blasting parameters in a quarry // Gornyy zhurnal. – Moscow, 1992. – No. 2, pp. 30-34.
3. Kutuzov B.N. Destruction of rocks by explosion: Textbook for universities. – 3rd ed., revised. and additional. – M.: ed. MGI, 1992. – 516 p.
4. Lapikov I.N., Shlyapin A.V., Kazakov N.N. On the boundaries of unregulated crushing zones // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – M.: Publishing house “Gornaya Kniga”, 2010. – No. 9, pp. 306-308.
5. Kryukov G.M., Dokutovich M.I., Zhavoronko S.N. The degree of crushing and the yield of oversized materials during explosive loosening of rocks in quarries // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – M.: Publishing house “Gornaya kniga”, 2011. – No. 5, pp. 347-351.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВАРИАНТЫ ХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПСВ



Маркенбаев Ж.Д.,
генеральный директор
ТОО «Байкен-У»



Полиновский К.Д.,
специалист
аффинажного производства
АО «МЗСС», к.т.н.



Дуйсебаев Б.О.,
генеральный директор ТОО
«Конструкторское бюро химического
машиностроения», д.т.н., профессор



Санакулов У.К.,
главный инженер
ООО «KOOLIN PLUS», PhD

Ish jarayonning reaktivligini kamaytirish uchun uran sulfat ISY ning uterus eritmalaridan sulfat kislotani kimyoviy qayta tiklash istiq-bollarini taqdim etadi. Bachadon eritmalarini demineralizatsiya qilishning standart jarayoni ularni ohak suti bilan qayta ishlash orqali amalga oshiriladi, bu esa chiqindi suv omborlariga kiradigan gips-gidroksid keki shaklida aralashmalarning cho'kishi bilan amalga oshiriladi. Gips-gidroksid kekidan gipsni yuvish va hosil bo'lgan eritmani ammoniy sulfatga aylantirish taklif etiladi. Ammoniy sulfatni ammiak va sulfat kislotaga aylantirishning turli usullari ko'rib chiqiladi (termal parchalanish, shu jumladan yordamchi sulfat hosil bo'lishi, kislotani ushlab turish usuli va boshqalar). Ammoniy sulfatni temir oksidi (3+) va keyinchalik pirohidroliz yoki temir sulfatning avtoklav gidrolizini (3+) sintirlash orqali sulfat kislotani qayta tiklash usuli eng istiqbolli hisoblanadi. Pirohidroliz mahsulotlari sulfat kislotaga va temir oksidi (3+) bo'lib, u ammoniy sulfat bilan sintirlashga qaytadi.

Tayanch iboralar: sulfat kislotaga, uranni in-situ yuvish, kimyoviy regeneratsiya, sulfat o'z ichiga olgan bachadon eritmalarini, demineralizatsiya, gips-gidroksid keki, gipsni yuvish, konversiya, ammoniy sulfat, temir sulfat (3+), pirogidroliz, avtoklav gidroliz.

В работе представлены перспективы химической регенерации серной кислоты из маточных растворов сернокислотного ПСВ урана с целью снижения реагентоемкости процесса. Стандартный процесс деминерализации маточных растворов осуществляется путём их обработки известковым молоком с осаждением примесей в форме гипсо-гидроксидного кека, который поступает в хвостохранилища. Предлагается из гипсо-гидроксидного кека производить выщелачивание гипса и полученный раствор конвертировать в сульфат аммония. Рассмотрены различные способы последующей конверсии сульфата аммония в аммиак и серную кислоту (термическое разложение, в т.ч. с образованием вспомогательного сульфата, метод удержания кислоты и др.). В качестве наиболее перспективного рассматривается способ регенерации серной кислоты путём спекания сульфата аммония его оксидом железа (3+) и последующего пирогидролiza либо автоклавного гидролиза сульфата железа (3+). Продуктами пирогидролiza являются серная кислота и оксид железа (3+), который возвращается на спекание с сульфатом аммония.

Ключевые слова: серная кислота, ПСВ урана, химическая регенерация, сульфатсодержащие маточные растворы, деминерализация, гипсо-гидроксидный кек, выщелачивание гипса, конверсия, сульфат аммония, сульфат железа (3+), пиро-гидролиз, автоклавный гидролиз.

Серная кислота столь широко применяется в качестве реагента в целом ряде химических и металлургических производств, что её часто иносказательно называют «хлебом химии». Одновременно она является промпродуктом и отходом многих металлургических производств, будучи наиболее удобной формой, в которую утилизируется сернистый газ – неизбежный отход в производстве целого ряда тяжелых цветных металлов из сульфидных руд. Данный фактор длительное время был причиной её низкой стоимости, предопределившим столь широкое её применение. Однако в последние годы в мире наблюдается взрывной рост цен на серную кислоту из-за резкого роста спроса на фосфорные удобрения, в производстве которых она является основным реагентом. Это привело к резкому снижению рентабельности целого ряда химических и металлургических производств, в которых применяется серная кислота. В связи с этим, весьма актуальной стала задача регенерации серной кислоты из сульфатсодержащих маточных растворов.

В числе прочих отраслей гидрометаллургии, серная кислота широко используется при подземном скважинном выщелачивании (ПСВ) урана, никеля, кобальта, меди и др. Одним из её важных

достоинств в качестве реагента является экологичность, поскольку при рассеивании за пределы контура серная кислота взаимодействует с кальцийсодержащими породами, образуя малорастворимый гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), а сульфаты цветных металлов восстанавливаются в нерастворимые сульфиды в результате протекания технологического процесса *биохимической сульфатредукции*, за счёт чего происходит самоочистка подземных вод от сульфат-ионов [1].

Поскольку при ПСВ используются выщелачивающие растворы (ВР) низкой концентрации (как правило, $5 \div 100 \text{ г/дм}^3$), это существенно удорожает их регенерацию традиционными методами. В то же время данный фактор позволяет не предъявлять высоких требований к концентрации регенерированных растворов, что расширяет возможности выбора технологии регенерации.

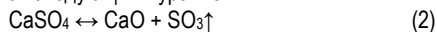
1. Исследования прошлых лет в области регенерации серной кислоты из маточных растворов ПСВ.

Одним из наиболее распространённых методов деминерализации оборотных и сбросных сульфатных маточных растворов (МР) является их обработка взвесью гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (т.н.

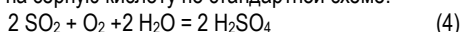
известковым молоком) до $pH = 9 \div 11$ [2], что приводит к осаждению ионов металлов II-XV групп (в форме гидроксидов), кремния (в форме гидросиликатов) и сульфат-ионов (в форме гипса). Главным достоинством этого метода является технологическая простота и низкая стоимость, а недостатками – низкая пригодность гипсо-гидроксидного кека к утилизации (как правило, его направляют в хвостохранилища) и экологическая нагрузка («углеродный след»), поскольку сырьём для производства известкового молока является негашеная известь, которую получают путём прокалывания (т.н. кальцинации) природного карбоната кальция (например, известняка или мела) при температуре $900 \dots 1200^\circ\text{C}$, причём побочным продуктом процесса является углекислый газ, который сбрасывается в атмосферу:



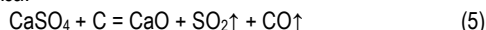
Регенерировать серную кислоту из гипсового кека технически несложно: гипс подвергается термическому разложению (пиролизу) на оксид кальция и оксиды серы, которые являются основным сырьём в производстве серной кислоты. Процесс пиролиза сульфата кальция описывается следующими уравнениями:



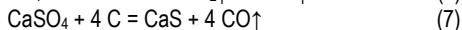
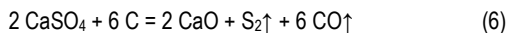
Равновесие обратимой реакции (3) при температуре выше 700°C смещено вправо, в то время как реакция (2) эффективно протекает лишь при $1400 \dots 1450^\circ\text{C}$. Поэтому серный ангидрид, образующийся в результате реакции (2), немедленно и почти полностью разлагается на кислород и сернистый ангидрид, который перерабатывается на серную кислоту по стандартной схеме:



Однако данный способ, будучи простым технически, достаточно сложен технологически: во-первых, процесс термического разложения требует высоких энергозатрат; во-вторых, из-за высокой температуры процесса и агрессивности оксидов серы аппаратное оформление процесса является весьма дорогостоящим, поскольку требует применения особо жаростойких и коррозионностойких материалов. Понизить температуру пиролиза можно путём подпитки к гипсу кокса:



Но в этом случае процесс осложняется протеканием побочных реакций [3]:



Поэтому регенерация серной кислоты из гипсовых отходов методом термического разложения считается экономически нецелесообразной.

Более 15 лет назад в Институте Высоких Технологий НАК «Казатомпром» была разработана технология электродиализной обработки МР ПСВ урана [4, 5]. При этом, поскольку процесс ПСВ урана эффективно протекает только при наличии окислителей, главной задачей являлось повышение ОВП оборотных растворов, а регенерация серной кислоты была лишь побочным эффектом. Способ осуществлялся следующим образом: МР, содержащий $25 \div 30 \text{ г/дм}^3$ сульфат-ионов и $1 \div 4 \text{ г/дм}^3$ свободной серной кислоты, нейтрализовался раствором едкого натра до $pH = 6,9 \div 11,5$ с целью гидролитического осаждения балластных катионов, главным образом железа ($1,0 \div 1,3 \text{ г/дм}^3$), алюминия ($0,4 \div 0,7 \text{ г/дм}^3$) и магния ($0,6 \div 0,7 \text{ г/дм}^3$), а также остатков урана. Затем полученный раствор сульфата натрия подвергался электродиализу, щёлочной ретентат (раствор едкого натра) возвращался на стадию нейтрализации исходного МР, а пермеат и кислотный ретентат (раствор серной кислоты) – на производство ВР. В процессе экспериментов выяснилось, что главным недостатком данной схемы является высокий расход энергии при электродиализе: расход электроэнергии на регенерацию составил $2150 \div 2500 \text{ кВт-ч/т}$ кислоты (в пересчёте на 100% концентрацию). Поскольку в 2023 г. стоимость электроэнергии

в Казахстане составляла около $0,07 \text{ \$/кВт-ч}$, а средняя цена серной кислоты на мировом рынке – $89 \text{ \$/т}$, электрохимическая регенерация серной кислоты по данной схеме оказывается нерентабельной даже с учётом стоимости попутно получаемого водорода (в количестве $228 \text{ м}^3/\text{т}$ кислоты).

2. Конверсия гипсо-гидроксидного кека в сульфат аммония.

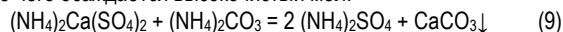
Как указывалось в разделе 1, одним из наиболее распространённых методов деминерализации сульфатных МР является их обработка известковым молоком с получением гипсо-гидроксидного кека. Извлечение сульфат-ионов из гипса в растворимую форму в целом не представляет сложности – так, ещё в 1950-60-х гг. в ряде стран широко применялся промышленный способ конверсии природного гипса и гипсо-содержащих отходов (например, фосфогипса) в сульфат аммония и карбонат кальция путём обменной реакции с карбонатом аммония [6]:



Способ осуществлялся следующим образом: пульпу тонкоизмельченного гипса в воде обрабатывали $25 \div 33\%$ -ным раствором карбоната аммония, в результате чего происходило осаждение хорошо фильтрующихся кристаллов карбоната кальция.

Поскольку сульфат аммония в настоящее время является побочным продуктом производства целого ряда отраслей химической технологии (производства капролактама, акрилатного производства, коксохимического производства), его целевое производство нерентабельно, однако в последние годы вышеуказанный способ конверсии оказался востребован для переработки фосфогипса в более ценный и востребованный карбонат кальция (фосфомел). В результате конверсии в течение $30 \div 360 \text{ мин}$ при температуре $50 \div 57^\circ\text{C}$ и расходе карбоната аммония $100 \div 110\%$ от стехиометрии был получен $34,3 \div 36,3\%$ -ный раствор сульфата аммония и фосфомел с содержанием сульфата кальция не более $2,5 \div 3\%$ [7, 8].

Для утилизации гипсо-гидроксидного кека технология конверсии гипса в сульфат аммония не применялась, т.к. для производства сульфата аммония пригоден только гипс, содержащий не менее $97 \div 97,5\% \text{ CaSO}_4$ (в расчёте на безводное вещество), поскольку присутствие соединений железа, алюминия и других примесей затрудняет фильтрацию и промывку карбонатного кека [6]. Однако в 2016 г. в Великобритании был разработан способ переработки в высокочистый гипс практически любого сырья, содержащего сульфат кальция [9]. Согласно этому способу, гипсо-содержащее сырьё растворяют в горячем ($80 \dots 150^\circ\text{C}$) концентрированном ($25 \div 50\%$) растворе сульфата аммония с образованием двойного сульфата $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$, отделяют примеси путём декантации, фильтрации либо центрифугирования и затем осаждают кальций из раствора в форме высокочистого гипса или мела. Далее очищенный раствор может быть переработан по двум вариантам. В первом варианте он охлаждается до комнатной температуры, в результате чего из него кристаллизуется коктаит $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который затем гидролизуют холодной водой на высокочистый гипс и раствор сульфата аммония, который после упаривания возвращается в голову процесса. Во втором варианте очищенный раствор охлаждается до $40 \dots 50^\circ\text{C}$ и обрабатывается раствором карбоната аммония, в результате чего осаждается высокочистый мел:

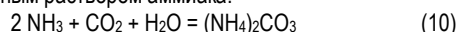


Поскольку реакция (8) протекает в пульпе, а реакция (9) – в растворе, её скорость почти на порядок выше (длительность процесса составляет $10 \div 20 \text{ мин}$).

Исходя из вышеизложенного, предлагается следующая схема конверсии:

После обработки сульфатных МР известковым молоком и возвращения очищенного раствора в оборот (на приготовление ВР), гипсо-гидроксидный кек обрабатывается горячим ($80 \dots 150^\circ\text{C}$) концентрированным раствором сульфата аммония, в результате чего

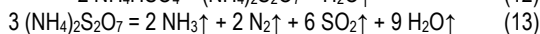
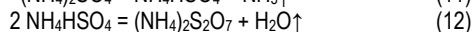
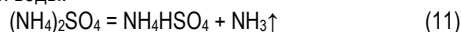
гипс растворяется с образованием двойного сульфата $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$, а гидроксидный ке́к после доизвлечения ценных компонентов (например, в случае урана – путём отмычки в карбонатных растворах) направляется в хвостохранилище. Очищенный раствор $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ охлаждается до 40...50°C и обрабатывается концентрированным раствором карбоната аммония, в результате чего карбонат кальция осаждается и отделяется путём декантации, фильтрации либо центрифугирования, а раствор сульфата аммония разделяется на две части. Одна часть упаривается и возвращается на обработку гипсо-гидроксидного ке́ка, а другая направляется на регенерацию серной кислоты. Осажденный из раствора карбонат кальция утилизируется как товарный продукт «мел химически осажденный» (применяется в цементной, резиновой и других отраслях промышленности [7]) либо подвергается кальцинации по уравнению (1), причём углекислый газ не сбрасывается в атмосферу, а абсорбируется водным раствором аммиака:



Полученный в результате реакции (10) раствор карбоната аммония возвращается на осаждение мела из сульфатного раствора по уравнению (9), а полученная в результате кальцинации негашёная известь возвращается на производство известкового молока для очистки очередной порции МР. Таким образом, в предлагаемой технологии «углеродный след» многократно снижается по сравнению с ныне принятой схемой.

3. Способы регенерации серной кислоты из сульфата аммония.

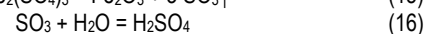
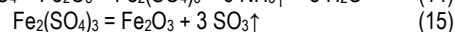
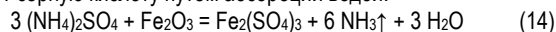
Разработкой различных способов регенерации серной кислоты из сульфата аммония ученые занимаются уже почти 100 лет. Большинство из этих способов предусматривают термическое разложение сульфата аммония. Следует заметить, что при обычных условиях нагрева данный процесс протекает постадийно, причём образование серной кислоты не происходит, поскольку на последней стадии имеет место восстановление серы (6+) в серу (4+) и окисление аммиака до азота и воды:



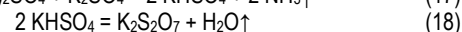
Поэтому почти все известные способы конверсии, основанные на термическом разложении сульфата аммония, предусматривают лишь частичное его разложение на гидросульфат аммония и аммиак по уравнениям (11, 12), которое протекает в интервале температур 250...400°C (тогда как нежелательная реакция (13) протекает в интервале температур 520...590°C [10]). Единственное исключение составляет запатентованный в 2002 г. способ термического разложения сульфата аммония на аммиак и серную кислоту [11], который предусматривает нагрев смеси сульфата аммония с концентрированной серной кислотой в соотношении 1 : (2,0...0,1). На первой стадии процесса нагрев ведётся до температуры 240...270°C, в результате чего сульфат аммония плавится, образуя жидкий слой, несмешивающийся с серной кислотой, а на второй стадии – до температуры 285±5°C, в результате чего происходит разложение сульфата аммония на газообразный аммиак и жидкую серную кислоту, которая идеально смешивается с концентрированной серной кислотой из исходной базовой смеси. Главным недостатком этого способа, препятствующим широкому внедрению, является необходимость поддерживать температуру в очень узком интервале 285±5°C, что требует весьма сложного аппаратного оформления.

Способы, разработанные в прошлом веке, преимущественно предусматривали конверсию сульфата аммония в какой-либо иной сульфат. Так, в СССР ещё в 1934 г. была подана заявка [12] на способ получения аммиака и серной кислоты из сульфата аммония путём его нагревания совместно с оксидом железа (3+) до 350°C, в результате чего аммиак переходит в газовую фазу, а сульфат-ион связывается с железом в сульфат железа (3+), который затем подвергают пиролизу с образованием оксида железа (3+), который

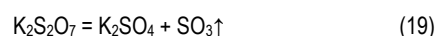
возвращают в голову процесса, и серного ангидрида, из которого получают серную кислоту путём абсорбции водой:



В ФРГ в 1963 г. был запатентован похожий способ [13], согласно которому сульфат аммония нагревают совместно с сульфатом калия K_2SO_4 до 350°C, в результате чего аммиак переходит в газовую фазу, а сульфат-ион связывается с сульфатом калия в гидросульфат калия, который при дальнейшем нагреве обезвоживается до пиросульфата калия:



Образующийся по уравнению (18) пиросульфат калия затем подвергают пиролизу с образованием сульфата калия, который возвращают в голову процесса, и серного ангидрида, из которого получают серную кислоту путём абсорбции водой по уравнению (16):



Главным недостатком обоих способов является то, что хотя реакции (15) и (19) начинают протекать уже при температуре 500 °C и 450°C соответственно, однако скорости, достаточно высокой для промышленного применения, они достигают лишь при существенно более высоких температурах, что приводит к частичному разложению серного ангидрида по реакции (3), равновесие которой имеет место при 700°C.

Так, пиролиз сульфата железа (3+) протекает с достаточно высокой скоростью лишь при температуре выше 800°C [14], когда в газовой фазе SO_2 преобладает над SO_3 .

Пиролиз гидросульфата калия достаточно эффективно протекает уже при 600...650°C [13], однако и в этом случае содержание SO_2 в газовой фазе неприемлемо велико, поскольку уже при 600°C соотношение $\text{SO}_2 : \text{SO}_3$ составляет 30 : 70 [15, 16].

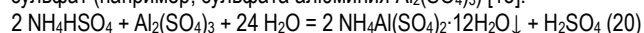
В начале XXI века был разработан ряд новых способов получения серной кислоты и аммиака из сульфата аммония. Большинство из них предусматривают на первом этапе термическое разложение сульфата аммония по уравнениям (11, 12) на гидросульфат аммония и аммиак, поэтому в уравнениях в качестве реагента в ряде случаев сразу указан гидросульфат аммония.

Гидросульфат аммония может быть разделен на сульфат аммония и серную кислоту путём т.н. метода удерживания кислоты (Acid Retardation) на сильноосновных гелевых анионитах с использованием эффекта Гиббса-Доннана [17] – в частности, такая схема предусмотрена патентом ВОИС № 2008025166A1 и патентом РФ № 2574247 [18-20].

Данная технология позволяет регенерировать серную кислоту с концентрацией до 150±200 г/дм³, что вполне достаточно для использования её в качестве ВР при сернокислотном ПСВ.

Однако полученный раствор серной кислоты содержит существенную примесь ионов аммония, что на многих предприятиях, использующих ПСВ, неприемлемо из экологических соображений (из-за низкого значения ПДК на аммоний-ион).

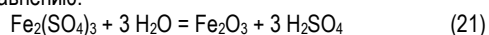
Также существует способ разделения гидросульфата аммония на сульфат аммония и серную кислоту путём смешивания концентрированных растворов гидросульфата аммония и т.н. вспомогательного сульфата, образующего с сульфатом аммония двойной сульфат (например, сульфата алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) [15]:



Способ основан на том, что при комнатной температуре растворимость как гидросульфата аммония, так и сульфата алюминия почти на порядок выше растворимости двойного сульфата (алюмоаммониевых квасцов $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), поэтому в результате протекания реакции (20) осаждаются около 80% алюминия и аммония, а в растворе остаётся главным образом серная кислота.

Однако очевидно, что этот способ имеет тот же недостаток, что и вышеперечисленные – полученный раствор серной кислоты содержит существенную примесь ионов аммония.

Более перспективным представляется следующий способ: сульфат аммония конвертируется в сульфат железа (3+) по уравнению (15) вышеописанным способом [12], но затем сульфат железа подвергается не пиролизу, а гидролизу либо пирогидролизу, что позволяет избежать разложения серного ангидрида по уравнению (3). Поскольку реакция (16) сильно экзотермична (тепловой эффект равен 84,7 кДж/моль), в присутствии водяных паров равновесие реакции (3) столь существенно смещается влево, что при пирогидролизе сульфата железа (3+) даже при высоких температурах выделение сернистого газа практически отсутствует. Пирогидролиз протекает по уравнению:



которое представляет собой сумму уравнений (15) и (16).

Согласно данным работы [14], оптимальным режимом пирогидролиза сульфата железа (3+) является проведение процесса в кипящем слое, состоящем из гранул оксида железа со средним диаметром 0,5 мм, при 850...860°C водяным паром, перегретым до 250...260°C. При данных условиях процесс протекает почти мгновенно, причём степень пирогидролиза достигает 99,5÷99,8%. Степень регенерации серной кислоты достигала 99,6%; концентрация ее в растворе составила 98,3% (мас.). В результате пирогидролиза образовывались частицы оксида железа, размер основной массы (до 95%) которых составлял 0,4÷0,6 мм, кажущаяся плотность 3,3÷3,5 т/м³, усилие раздавливания гранулы 4500÷6000 Н.

У указанной технологии, наряду с несомненными достоинствами, есть два крупных недостатка:

а) в результате протекания реакции (21) оксид железа образуется в виде крупных частиц с низкой пористостью, тогда как на стадии конверсии сульфата аммония в сульфат железа для эффективного протекания реакции (14) желательнее использовать оксид железа высокой дисперсности.

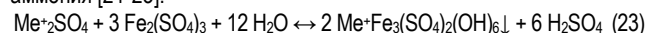
б) хотя температура пирогидролиза существенно ниже температуры пиролиза гипса, но всё же достаточно высока, поэтому аппаратное оформление процесса также требует применения достаточно дорогостоящих жаростойких и коррозионностойких материалов.

Поэтому в ряде случаев (в частности, при регенерации МР ПСВ) удачной альтернативой пирогидролизу может быть высокотемпературный гидролиз.

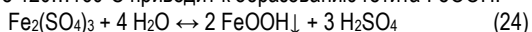
Гидролитическое разложение сульфата железа (3+) происходит поэтапно с образованием в качестве промежуточных продуктов ряда основных сульфатов с общей формулой $\text{Fe}(\text{SO}_4)_x(\text{OH})_{3-2x} \cdot \text{Y} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (где $X < 1,5$, $Y = 0 \div 1$), причём реакции гидролиза обратимы, и глубина их протекания в существенной степени зависит от концентрации и температуры раствора – чем выше температура раствора и ниже его концентрация, тем глубже протекает гидролиз. При комнатной температуре гидролиз обычно протекает по уравнению:



При повышенных температурах (50...100 °C) гидролиз обычно протекает с образованием ярозита $\text{Me}^+\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, где Me^+ – Na^+ , K^+ , NH_4^+ , H_3O^+ , причём интенсификации данного процесса способствует наличие в растворе ионов щелочных металлов или аммония [21-23]:



По данным [24], гидролиз в гидротермальных условиях при температуре 120...160°C приводит к образованию гётита FeOOH :



При температуре 180...200°C – к образованию гематита Fe_2O_3 (в этом случае процесс протекает по тому же уравнению (21), что и пирогидролиз).

Опыты, проведенные авторами данной работы, показали, что равновесие реакции (22) наступает при $\text{pH} \sim 2,8$, чего совершенно недостаточно для практических целей регенерации кислоты. Осаждение ярозита, по данным [22], протекает только при значениях pH , превышающих 1 (что соответствует концентрации свободной серной кислоты всего 0,09 М = 8,8 г/дм³), т.е. данный вариант также малоприменим для практических целей. Гидротермальный гидролиз, по данным [24], позволяет получить концентрацию серной кислоты в гидролизате на уровне 25÷100 г/дм³, что вполне достаточно для использования его в качестве ВР при ПСВ. При этом следует учитывать, что ярозит и гематит образуют компактные, хорошо промываемые и фильтрующиеся осадки с низкой влажностью (20÷50%), тогда как гётит – объемный, плохо промываемый и фильтрующийся осадок с очень высокой влажностью (88÷90%), поэтому вести гидролиз по режимам, приводящим к образованию гётита, в промышленных условиях нецелесообразно.

Таким образом, единственной альтернативой пирогидролиза, практически пригодной для промышленного применения, является гидротермальный (автоклавный) гидролиз при температуре 180...200°C.

В этом случае, в отличие от пирогидролиза, оксид железа образуется весьма дисперсным, что удобно при возвращении его в производственный цикл на стадию спекания с сульфатом аммония. Однако аппаратное оформление процесса также является достаточно дорогостоящим, поскольку требует использование автоклавов: согласно фазовой диаграмме воды, вышеуказанный интервал температур гидролиза соответствует давлению 1,0÷1,6 МПа. Следовательно, выбор между пирогидролизом и автоклавым гидролизом определяется как стоимостью аппаратуры, так и требованиями к регенерированной кислоте: пирогидролиз позволяет получить достаточно чистую концентрированную кислоту, а автоклавный гидролиз – разбавленную (25÷100 г/дм³) и при этом содержащую существенную примесь железа (3+). Однако в случае ПСВ сульфидных (медных, цинковых и др.) и урановых руд это является не недостатком, а достоинством технологии, поскольку в этом случае железо (3+) является окислителем, резко интенсифицирующим процесс ПСВ. При ПСВ окисленных руд (никелевых, вольфрамовых и др.) наличие железа (3+) в ВР не требуется, однако и не является критичным, т.к. данные руды всегда содержат большое количество гётита, в котором и концентрируется 50÷90% полезных компонентов месторождения. Поэтому для успешного выщелачивания таких руд необходимо полное растворение гётита в ВР, в результате чего продуктивные растворы всегда содержат железо (3+) в достаточно высокой концентрации (как правило, 10÷40 г/дм³).

Напоследок следует упомянуть о том, что перспективным способом регенерации серной кислоты также является электролиз, но рассмотрение электрохимических способов регенерации выходит за рамки данного исследования. Вкратце можно указать следующее: важнейшей особенностью электролитической регенерации серной кислоты является то, что её побочными продуктами являются водород и кислород, образующиеся в количестве 228 $\text{нм}^3/\text{т}$ и 114 $\text{нм}^3/\text{т}$ кислоты соответственно. Расчёт показывает, что электролитический способ регенерации серной кислоты из раствора сульфата аммония является высокоэкономичным при условии наличия в регионе спроса на попутный водород, тогда как в случае отсутствия такого спроса он становится низкорентабельным.

Выводы:

Наиболее целесообразным способом химической регенерации серной кислоты из МР сернокислотного ПСВ урана представляется следующий:

- деминерализация оборотных и сбросных МР путем обработки известковым молоком с образованием гипсо-гидроксидного кека;
- выщелачивание сульфатов из гипсо-гидроксидного кека горячим концентрированным раствором сульфата аммония;

– осаждение раствором карбоната аммония карбонатного кека с его последующей кальцинацией и возвращением продуктов в производство (углекислого газа – на регенерацию раствора карбоната аммония, а негашеной извести – на деминерализацию МР);

– упаривание и кристаллизация раствора сульфата аммония и последующее спекание с оксидом железа (3+) с получением в качестве продуктов сульфата железа (3+) и аммиака, который абсорби-

руется водой и направляется на абсорбцию углекислого газа с целью регенерации раствора карбоната аммония.

– пирогидролиз либо автоклавный гидролиз сульфата железа (3+) с получением серной кислоты и оксида железа (3+), который возвращается на спекание с сульфатом аммония. Выбор между пирогидролизом и автоклавным гидролизом определяется как требованиями к концентрации и чистоте регенерированной кислоты, так и стоимостью аппаратного оформления.

Библиографический список:

1. Соколова Г.А., Каравайко Г.И. Физиология и геохимическая деятельность тионовых бактерий. – М.: Наука, 1964. – 334 с.
2. Очистка стоков от сульфатов (электронный ресурс <https://www.vo-da.ru/articles/ochistka-ot-sulfatov/fiziko-himicheskie-metody>).
3. Урусов В.В. Термографическое исследование реакции совместного разложения CaSO_4 и CaS , на CaO , SO_2 и S_2 в процессе переработки фосфогипса на серную кислоту и известь – в кн.: Гипс и фосфогипс: Сборник работ по хим. переработке гипса и фосфогипса // Под ред. акад. С.И. Вольфовича. – Москва: Госхимиздат, 1958. – С. 126-137.
4. Дуйсебаев Б.О., Садыков М.Ж., Принзин Н.А., Близнюк В.И., Карманов Е.М. Разработка технологии подземного выщелачивания урана с применением электрохимических методов // КИМС. – № 1. 2008. – С. 19-27.
5. Дуйсебаев Б.О., Садыков М.Ж., Принзин Н.А., Близнюк В.И., Карманов Е.М. Исследование электродиагностических процессов при электрохимической обработке урансодержащих растворов // ГИАБ. – Москва, 2009. – С. 392-399.
6. Позин М.Е. и др. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, оксидов и кислот), ч. II, Л.: «Химия», 1974. – 768 с.
7. Сизяков В.М., Нутрихина С.В., Левин Б.В. Технология комплексной переработки фосфогипса конверсионным способом с получением сульфата аммония, фосфомела и новых продуктов // Записки Горного института. СПб. Т. 197 (2012). – С. 239-244.
8. Холмуродов Ж.Э. Намазов Ш.С. Раджабов Р., Сейтназаров А.Р., Муродов Ж.З. Жидкофазная конверсия природного гипса с помощью раствора карбоната аммония // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2022, №9 (102) (электронный ресурс <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14244>).
9. Патент Великобритании № 2557605А (2016) Method of producing high purity gypsum (электронный ресурс <https://patents.google.com/patent/GB2557605A/en>).
10. Halstead W.D. Thermal decomposition of ammonium sulphate - Journal of Applied Chemistry 20(4), April 2007: p.129–132 (электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/230370295_Thermal_decomposition_of_ammonium_sulphate).
11. Патент ВОИС № 2003027018А1 (2002) Chemical and thermal decomposition of ammonium sulphate into ammonia and sulphuric acid (электронный ресурс <https://patents.google.com/patent/WO2003027018A1/en>).
12. А.с. СССР № 45919 (1934) Способ получения аммиака и серной кислоты (электронный ресурс https://yandex.ru/patents/doc/SU45919A1_19360229).
13. Патент ФРГ № 1151492 (1963) Verfahren zur Gewinnung von Ammoniak und Schwefelsäure aus Ammoniumsulfat und/oder –hydrogensulfat bzw. aus deren Lösungen in Wasser oder Schwefelsäure (электронный ресурс <https://patents.google.com/patent/DE1151492B/de>).
14. Ульянов В.П., Булавин В.И., Ульянова И.В. Исследование процесса термической регенерации кислот из смеси азотно-плавиковокислотных и сернокислотных отработанных травильных растворов // Интегрированные технологии и энергосбережение, 2004, №4, с.97-106 (электронный ресурс <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/1866>).
15. Патент РФ № 2560445С2 (2013) Способ производства аммиака и серной кислоты из сульфата аммония (электронный ресурс https://yandex.ru/patents/doc/RU2560445C2_20150820).
16. Halstead W.D., Laxton J.W. Equilibria in the $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3/\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SO}_3$ system. - Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases (электронный ресурс <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1974/f1/19747000807>).
17. Эффект Доннана. Мембранное равновесие Доннана (электронный ресурс https://studopedia.ru/12_83901_effekt-donnana-membranное-ravnovesie-donnana.html).
18. Патент ВОИС № 2008025166А (2007) Process for producing ammonia and sulfuric acid from a stream comprising ammonium sulfate (электронный ресурс <https://patents.google.com/patent/WO2008025166A1/en>).
19. Патент РФ № 2574247С1 (2014) Способ переработки глиноземсодержащего сырья и способ вскрытия глиноземсодержащего сырья при его переработке (электронный ресурс https://yandex.ru/patents/doc/RU2574247C1_20160210).
20. Хамизов Р.Х., Зайцев В.А., Груздева А.Н. и др. О возможности кислотно-солевой переработки глиноземсодержащего сырья в замкнутом реакгентном цикле. – Журнал прикладной химии, 2020, Т. 93, Вып. 7. – С.1024-1032.
21. Салониов В.А., Савко А.В., Минаковский А.Ф. Исследование процесса образования основных сульфатов железа (III) в системе $\text{FeSO}_4 - \text{NH}_4\text{OH} - \text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$. Труды БГТУ. Серия 3, Химия и технология неорганических веществ, 2008. – С. 60-64 (электронный ресурс <https://elib.belstu.by/handle/123456789/38525>).
22. Basciano L.C. Crystal chemistry of the jarosite group of minerals // L.C. Basciano // Ontario: Queen's University Kingston, 2008. –184 с.
23. Марзулис Е.В., Гецкин Л.С., Запужалов Н.А. Исследование гидролитического осаждения железа в системе $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 - \text{NH}_3 - \text{H}_2\text{O}$ / ЖХХ, 1974. – № 5. – С. 1362-1365.
24. Кятай А.Г., Брюквин В.А., Дьяченко В.Т. и др. Физико-химические исследования основных закономерностей гидролиза сульфата железа (III) в гидротермальных условиях // Цветные металлы, 2011, № 8. – С.125-130 (электронный ресурс <https://rudmet.ru/journal/648/article/8214>).

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 10-15

PROMISING OPTIONS FOR THE CHEMICAL REGENERATION OF SULFURIC ACID FROM MOTHER LIQUORS OF SULFURIC ACID ISL

¹Markenbaev Zh.D., General Director.

²Polinovsky K.D., Gold parting process specialist, Ph.D.

³Duisebayev B.O., General Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.

⁴Sanakulov U.K., Chief Engineer, PhD.

¹«Baiken-U» LLP.

²JSC «Moscow special alloys processing plant».

³LLP «Design Bureau of Chemical Engineering».

⁴«KAOLIN PLUS» LLC, PhD.

The paper presents the prospects of electrochemical regeneration of sulfuric acid from mother liquors of sulfuric acid ISL of uranium in order to reduce the reagent intensity of the process. The standard process of demineralization of mother liquor is carried out by treating them with lime milk with precipitation of impurities in the form of gypsum hydroxide cake, which enters the tailings dams. It is proposed to leach gypsum from gypsum hydroxide cake and convert the resulting solution into ammonium sulfate. Various methods of subsequent conversion of ammonium sulfate into ammonia and sulfuric acid (thermal decomposition, including with the formation of auxiliary sulfate, acid retardation method, etc.) are considered. The most promising method is considered to be the regeneration of sulfuric acid by sintering ammonium sulfate with its iron (III) oxide and subsequent pyro-hydrolysis or autoclave hydrolysis of ferric sulfate. The products of pyro-hydrolysis are sulfuric acid and iron (III) oxide, which is returned to sintering with ammonium sulfate.

Keywords: sulfuric acid, uranium ISL, chemical regeneration, sulfate-containing mother liquor, demineralization, gypsum hydroxide cake, gypsum leaching, conversion, ammonium sulfate, ferric sulfate, pyro-hydrolysis, autoclave hydrolysis.

Bibliographic list:

- Sokolova G.A., Karavaiko G.I. Physiology and geochemical activity of thionic bacteria. – M.: Nauka, 1964. – 334 p.
- Assessment of the state of the soulshats. Available at: <https://www.vo-da.ru/articles/ochistka-ot-sulfatov/fiziko-himicheskie-metody> (in Russ.).
- Urusov V.V. Thermographic study of the reaction of co-decomposition of CaSO₄ and CaS, on CaO, SO₂ and S₂ in the process of processing phosphogypsum into sulfuric acid and lime - in the book: Gypsum and phosphogypsum: Collection of works on chemical processing of gypsum and phosphogypsum // Ed. Academician S.I. Volfkovich. – Moscow: Goskhimizdat, 1958, pp. 126-137.
- Duisebayev B.O., Sadykov M.Zh., Prinzin N.A., Bliznyuk V.I., Karmanov E.M. Development of technology for underground uranium leaching using electrochemical methods // KIMS. No. 1. 2008, pp. 19-27.
- Duisebayev B.O., Sadykov M.Zh., Prinzin N.A., Bliznyuk V.I., Karmanov E.M. Investigation of electro dialysis processes in electrochemical treatment of uranium-containing solutions // GIAB, 2009, pp. 392-399.
- M.E. Pozin et al. Technology of mineral salts (fertilizers, pesticides, industrial salts, oxides and acids), part II, L.: «Chemistry», 1974. – 768 p.
- Sizyakov V.M., Nutrikhina S.V., Levin B.V. Technology of complex processing of phosphogypsum by conversion method to obtain ammonium sulfate, phosphomel and new products // Notes of the Mining Institute. St. Petersburg, vol. 197 (2012), pp. 239-244.
- Kholmurodov J.E. Namazov S.S. Radzhabov R., Seytnazarov A.R., J. Murodov.Z. Liquid-phase conversion of natural gypsum using an ammonium carbonate solution // Universe: technical sciences: electron. scientific journal. 2022, No. 9 (102). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14244> (in Russ.).
- Uk. Patent No. 2557605A (2016) Method for producing high purity gypsum. Available at: <https://patents.google.com/patent/GB2557605A/en/>
- Halstead W.D. Thermal decomposition of ammonium sulphate – Journal of Applied Chemistry 20 (4), April 2007. p. 129-132 (электронный ресурс https://www.researchgate.net/publication/230370295_Thermal_decomposition_of_ammonium_sulphate).
- WIPO Patent No. 2003027018A1 (2002) Chemical and thermal decomposition of ammonium sulphate into ammonia and sulphuric acid. Available at: <https://patents.google.com/patent/WO2003027018A1/en>.
- A.S. USSR No. 45919 (1934) Method for the production of ammonia and sulfuric acid. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/SU45919A1_19360229 (in Russ.).
- DE pat. No. 1151492B (1963) Verfahren zur Gewinnung von Ammoniak und Schwefelsäure aus Ammoniumsulfat und/oder – hydrogensulfat bzw, aus deren Lösungen in Wasser oder Schwefelsäure. Available at: <https://patents.google.com/patent/DE1151492B/de>.
- Ulyanov V.P., Bulavin V.I., Ulyanova I.V. Investigation of the process of thermal regeneration of acids from a mixture of nitric-hydrofluoric acid and sulfuric acid waste pickling solutions // Integrated Technologies and Energy Saving, 2004, no. 4, pp.97-106. Available at:<http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/1866> (in Russ.).
- RF Patent No. 04445C2 (2013) Method for the production of ammonia and sulfuric acid from ammonium sulfate. Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2560445C2_20150820 (in Russ.).
- Halstead W.D., Laxton J.W. Equilibria in the Fe₂(SO₄)/Fe₂O₃/SO₂ system. Journal of the Chemical Society, Faraday Transactions 1: Physical Chemistry in Condensed Phases. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/1974/f1/f1974700807>.
- The Donnan effect. Donnan's membrane equilibrium. Available at: https://studopedia.su/12_83901_effekt-donnana-membrannoe-ravnovesie-donnana.html (in Russ.).
- WIPO Patent No. 2008025166A (2007) Process for producing ammonium and sulfuric acid from a stream containing ammonium sulfate. Available at: [Available at: https://patents.google.com/patent/WO2008025166A1/en](https://patents.google.com/patent/WO2008025166A1/en).
- RF Patent No. 2574247C1 (2014) A method for processing alumina-containing raw materials and a method for opening alumina-containing raw materials during its processing Available at: https://yandex.ru/patents/doc/RU2574247C1_20160210(in Russ.).
- Khamizov R.H., Zaitsev V.A., Gruzdeva A.N. et al. On the possibility of acid-salt processing of alumina-containing raw materials in a closed reagent cycle // Journal of Applied Chemistry, 2020. Vol. 93, Issue 7, pp.1024-1032.
- Salonikov V.A., Savko A.V., Minakovskiy A.F. Investigation of the formation of basic iron (III) sulfates in the FeSO₄ – NH₄OH – O₂ – H₂O system. - Works of BSTU. Series 3. Chemistry and technology of inorganic substances, 2008, pp.60-64. Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/38525> (in Russ.).
- Basciano L.C. Crystal chemistry of the jarosite group of minerals // L.C. Basciano // Ontario: Queen's University Kingston, 2008. – 184 p.
- Margulis E.V., Getskin L.S., Lauchalov N.A. Investigation of the hydrolytic deposition of iron in the Fe₂(SO₄)₃ – NH₃ – H₂O system // Journal of Neogranic Chemistry, 1974. – No.5, pp. 1362-1365.
- China A.G., Bryukvin V.A., Dyachenko V.T. and others. Physico-chemical studies of the basic patterns of hydrolysis of iron (III) sulfate under hydrothermal conditions // Non-ferrous metals, 2011. No. 8-9, pp. 125-130. Available at: <https://rudmet.ru/journal/648/article/8214/>(in Russ.).

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РЕГЕНЕРАЦИИ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ ИЗ МАТОЧНЫХ РАСТВОРОВ СЕРНОКИСЛОТНОГО ПСВ УРАНА



Айдуисенов Б.А.,
генеральный директор
ТОО «Хорасан-У»



Полиновский К.Д.,
специалист
аффинажного производства
АО «МЗСС», к.т.н.



Дуйсебаев Б.О.,
генеральный директор ТОО
«Конструкторское бюро химического
машиностроения», д.т.н., профессор



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

Ish jarayonning reaktivligini kamaytirish uchun uran sulfat ISY ning uterus eritmalaridan sulfat kislotani elektrokimyoviy qayta tiklash istiqbollarini taqdim etadi. O'tgan yillardagi tajriba shuni ko'rsatadiki, bachadon eritmalarini elektrodializ qilish orqali sulfat kislotani qayta tiklashda energiya sarfi jarayonning past samaradorligi tufayli qabul qilinishi mumkin emas, chunki bachadon eritmaları past konsentratsiyaga va natijada past elektr o'tkazuvchanligiga ega. Bachadon eritmalarini demineralizatsiya qilishning standart jarayoni ulami ohak suti bilan qayta ishlash orqali amalga oshiriladi, bu esa chiqindi suv omborlariga kiradigan gips-gidroksid keki shaklida aralashmalarning cho'kishi bilan amalga oshiriladi. Gips-gidroksidli kekdan gipsni yuvish va hosil bo'lgan eritmani yuqori konsentratsiyali (34,3÷36,3%) ammoniy sulfat eritmasiga aylantirish taklif etiladi, undan keyin elektrodializ bilan sulfat kislotani qayta tiklash mumkin. Hisoblash shuni ko'rsatadiki, texnologiyaning ushbu versiyasi elektrodializ uchun energiya sarfini 2 baravar kamaytiradi. Shu bilan birga, iste'mol qilingan elektr energiyasining narxi 86÷88% ga elektrodializ – elementar vodorod va kislorod mahsulotlarining narxi bilan qoplanishi mumkin.

Tayanch iboralar: sulfat kislotasi, uranni in-situ yuvish, elektrokimyoviy regeneratsiya, sulfat o'z ichiga olgan bachadon eritmaları, demineralizatsiya, gips-gidroksid keki, gipsni yuvish, konversiya, ammoniy sulfat, elektrodializ, elektr energiyasini iste'mol qilish.

В работе представлены перспективы электрохимической регенерации серной кислоты из маточных растворов сернокислотного ПСВ урана с целью снижения реагентоемкости процесса. Опыт прошлых лет показывает, что при регенерации серной кислоты путем электродиализа маточных растворов затраты энергии неприемлемо велики из-за низкого КПД процесса, поскольку маточные растворы имеют низкую концентрацию и, как следствие, низкую электропроводность. Стандартный процесс деминерализации маточных растворов осуществляется путем их обработки известковым молоком с осаждением примесей в форме гипсо-гидроксидного кека, который поступает в хвостохранилища. Предлагается из гипсо-гидроксидного кека производить выщелачивание гипса и полученный раствор конвертировать в раствор сульфата аммония с высокой концентрацией (34,3÷36,3%), из которого затем электродиализом регенерировать серную кислоту. Расчет показывает, что данный вариант технологии позволит снизить затраты энергии на электродиализ в 2 раза. При этом стоимость израсходованной электроэнергии может быть на 86÷88% компенсирована стоимостью попутных продуктов электродиализа – элементарного водорода и кислорода.

Ключевые слова: серная кислота, ПСВ урана, электрохимическая регенерация, сульфатсодержащие маточные растворы, деминерализация, гипсо-гидроксидный кек, выщелачивание гипса, конверсия, сульфат аммония, электродиализ, расход электроэнергии.

Уже более ста лет серная кислота широко применяется в качестве реагента в целом ряде химических и металлургических производств. Длительное время главным фактором, предопределившим столь широкое её применение, была низкая стоимость. Дело в том, что серная кислота является наиболее удобной формой, в которую утилизируется сернистый газ – неизбежный отход в производстве целого ряда тяжелых цветных металлов из сульфидных руд. По этой причине на протяжении многих лет стоимость серной кислоты была практически нулевой – многие металлургические комбинаты отдавали её бесплатно на условиях самовывоза. Однако в последние годы из-за резкого роста спроса на фосфорные удобрения, в производстве которых серная кислота является основным реагентом, в мире наблюдался взрывной рост цены на серную кислоту, что резко снизило рентабельность целого ряда химических и металлургических производств, в которых серная кислота являлась основным реагентом.

В связи с этим на многих производствах остро встал вопрос о регенерации серной кислоты из сульфатсодержащих маточных растворов (МР).

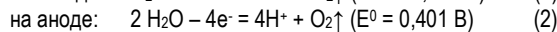
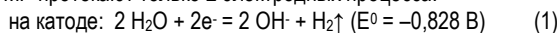
Одной из отраслей металлургии, в которых широко используется серная кислота, является подземное скважинное выщелачивание (ПСВ) урана, меди, никеля, кобальта и ряда других металлов. Одним из её важных достоинств в качестве реагента является низкий экологический риск от её использования, поскольку в природе существует т.н. «серный цикл» (круговорот серы) – биогеохимический цикл, в котором сера перемещается в биосфере, гидросфере и литосфере Земли. В частности, в случае растекания выщелачивающих растворов (ВР) за пределы контура свободная серная кислота взаимодействует с кальцийсодержащими породами и связывается ими в гипс (малорастворимый дигидрат сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), а сульфаты железа и цветных металлов вследствие т.н. процесса биохимической сульфатредукции восстанавливаются

в нерастворимые сульфиды, за счёт чего происходит самоочистка подземных вод от сульфат-ионов [1].

Поскольку при ПСВ урана используются ВР низкой концентрации (как правило, $5 \div 50 \text{ г/дм}^3$), это существенно осложняет их регенерацию традиционными методами (в частности, как будет показано ниже, электролизом маточных растворов). В то же время данная особенность технологии позволяет не предъявлять высоких требований к концентрации регенерированных растворов, что позволяет упростить технологию регенерации.

1. Исследования прошлых лет в области электрохимической регенерации серной кислоты из маточных растворов ПСВ урана/

Самыми простыми и эффективными способами регенерировать серную кислоту из раствора её солей являются электрохимические – электролиз и электродиализ. Поскольку стандартный электродный потенциал практически всех катионов, входящих в состав МР ПСВ урана, существенно ниже, чем у водорода, а стандартный электродный потенциал сульфат-ионов, выше, чем у воды, в процессе электролиза МР протекают только 2 электродных процесса:



Таким образом, происходит электролитическое разложение воды, а катионы металлов и анионы сульфата, входящие в состав МР, в процессе не участвуют. В результате в диафрагменном электролизёре в прикатодном пространстве образуется щёлочь, а в прианодном – кислота. В электродиализаторе же могут быть получены сразу три продукта – пермеат (очищенная вода) и два ретендата (кислотный и щелочной). Более 15 лет назад в Институте Высших Технологий НАК «Казатомпром» была разработана технология электродиализной обработки МР ПСВ урана [2, 3]. При этом, поскольку процесс ПСВ урана эффективно протекает только при наличии окислителей, главной задачей являлось повышение ОВП оборотных МР, а регенерация серной кислоты была лишь побочным эффектом. Способ осуществлялся следующим образом: МР, содержащий $25 \div 30 \text{ г/дм}^3$ сульфат-ионов и $1 \div 4 \text{ г/дм}^3$ свободной серной кислоты, нейтрализовался раствором едкого натра до $\text{pH} = 6,9 \div 11,5$ с целью гидролитического осаждения балластных катионов, главным образом железа ($1,0 \div 1,3 \text{ г/дм}^3$), алюминия ($0,4 \div 0,7 \text{ г/дм}^3$) и магния ($0,6 \div 0,7 \text{ г/дм}^3$), а также остатков урана. Затем полученный раствор сульфата натрия подвергался электродиализу, щелочной ретендат (раствор едкого натра) возвращался на стадию нейтрализации исходного МР, а пермеат и кислотный ретендат (раствор серной кислоты) – на производство ВР. Главным недостатком данной схемы является высокий расход энергии при электродиализе, вследствие чего данный способ оказался экономически нерентабельным.

При катодной плотности тока 100 А/м^2 напряжение на ванне составляло $3,8 \div 4,0 \text{ В}$, а при 200 А/м^2 – $4,5 \text{ В}$. Расчёт показывает, что при выходе по току (ВТ), равном $98 \div 99 \%$, при указанном напряжении расход электроэнергии на регенерацию серной кислоты составит $2100 \div 2500 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т}$ (в пересчёте на 100% концентрацию). В 2023 г. стоимость электроэнергии в Казахстане составляла около $0,07 \text{ \$/кВт}\cdot\text{ч}$, а средняя цена серной кислоты на мировом рынке – $89 \text{ \$/т}$, так что электрохимическая регенерация серной кислоты по указанной схеме оказывается нерентабельной даже с учётом стоимости попутно получаемого водорода (в количестве $228 \text{ нм}^3/\text{т}$ кислоты).

Нерентабельность данной схемы является следствием низкого КПД процесса – выход по энергии составлял всего $27 \div 31 \%$, тогда как КПД существующих электролизных установок для получения водорода находится в пределах $60 \div 73 \%$ [4]. Рассмотрим причины данного явления более подробно.

Напряжение на электролизере (U, В) в самом общем случае складывается из следующих составляющих:

$$U = (E_{\text{P}^{\text{A}}} - E_{\text{P}^{\text{K}}}) + |\eta_{\text{A}}| + |\eta_{\text{K}}| + \Delta U_{\text{эл}} + \Delta U_{\text{д}} + \Delta U_{\text{тз}} + \Delta U_{\text{к}} \quad (3),$$

где $E_{\text{P}^{\text{A}}}$ и $E_{\text{P}^{\text{K}}}$ – равновесные потенциалы анодной и катодной реакций;

η_{A} и η_{K} – перенапряжение анодного и катодного процессов;

$\Delta U_{\text{эл}}$ – падение напряжения в электролите, которое зависит от удельной электропроводности раствора электролита и расстояния между электродами;

$\Delta U_{\text{д}}$ – падение напряжения в диафрагме зависит от удельного сопротивления диафрагмы, поры которой заполнены электролитом, и ее толщины;

$\Delta U_{\text{тз}}$ – падение напряжения в теле электродов;

$\Delta U_{\text{к}}$ – падение напряжения в контактах.

Разность равновесных потенциалов носит название обратимого напряжения разложения или ЭДС-разложения [5]. Для воды при 25°C оно составляет $1,228 \text{ В}$, но при обычной для промышленных электролизёров рабочей температуре 80°C снижается до $1,18 \text{ В}$ [6]. В современных электролизёрах значение $\Delta U_{\text{д}}$, как правило, не превышает $0,1 \text{ В}$, $\Delta U_{\text{эл}} - 0,2 \text{ В}$, а $\Delta U_{\text{тз}}$ и $\Delta U_{\text{к}}$ в сумме – $0,05 \text{ В}$.

Наибольшие тепловые потери при электролизе вызваны перенапряжением (сумма $|\eta_{\text{A}}|$ и $|\eta_{\text{K}}|$ обычно составляет $0,2 \div 0,6 \text{ В}$), и большинство разработок, имеющих целью повышение КПД электролизёров, направлены именно на снижение суммарного перенапряжения (например, путём нанесения на электроды специальных покрытий, обеспечивающих формирование развитой поверхности [7]).

В современных электролизных установках для получения водорода для обеспечения минимального значения $\Delta U_{\text{эл}}$ используют в качестве электролита раствор едкого кали с концентрацией $27 \div 30 \%$ [6, 7], который имеет очень высокую удельную электропроводность – $544 \div 545 \text{ мСм/см}$ [8].

Для сравнения, МР, использованный в экспериментах в работах [2, 3], согласно расчёта по данным [8], имел удельную электропроводность $32 \div 37 \text{ мСм/см}$, т.е. в $15 \div 17$ раз ниже, поэтому значение $\Delta U_{\text{эл}}$ превышало 2 В , а общее напряжение на ванне составляло $3,8 \div 4,5 \text{ В}$. Исходя из этого, регенерация серной кислоты путём непосредственного электролиза либо электродиализа МР ПСВ урана представляется экономически нецелесообразной из-за их пониженной электропроводности.

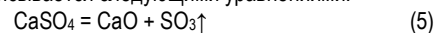
2. Конверсия гипсосодержащих отходов в сульфат аммония.

Одним из основных методов деминерализации оборотных и сбросных сульфатных МР является их обработка известковым молоком (взвесью гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$) [9], что приводит к осаждению сульфат-ионов в форме гипса, кремния – в виде гидросиликатов, а ионов металлов II-XV групп – в виде гидроксидов.

Главным достоинством этого метода является технологическая простота и низкая стоимость, а недостатками – низкая пригодность гипсо-гидроксидного кека к утилизации (как правило, его захоранивают) и экологическая нагрузка («углеродный след»), поскольку сырьём для производства известкового молока является негашеная известь CaO , которую получают путём кальцинации (прокаливания при температуре $900 \dots 1100^\circ\text{C}$) известняка или мела (природного карбоната кальция CaCO_3), причём побочным продуктом является углекислый газ CO_2 , который сбрасывается в атмосферу:

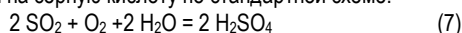


Технически регенерация серной кислоты из гипсового кека не представляет особой сложности – гипс подвергается термическому разложению (пиролизу) на оксид кальция и оксиды серы, которые направляют на регенерацию серной кислоты. Процесс пиролиза сульфата кальция описывается следующими уравнениями:



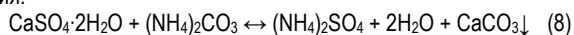
Реакция (5) эффективно протекает лишь при $1400 \dots 1450^\circ\text{C}$, в то время как при температуре выше 700°C равновесие обратной реакции (6) существенно смещено вправо, поэтому образующийся в результате реакции (5) серный ангидрид немедленно и почти пол-

ностью разлагается на кислород и сернистый газ SO_2 , который перерабатывается на серную кислоту по стандартной схеме:



Однако при всей технической простоте, данный способ является сложным и дорогостоящим с точки зрения технологии. Во-первых, процесс пиролиза требует больших энергозатрат, причём из-за агрессивности оксидов серы и высокой температуры пиролиза аппаратное оформление процесса требует применения весьма дорогостоящих жаростойких и коррозионностойких материалов. Во-вторых, хотя синтез серной кислоты по уравнению (7) и является общепринятым методом её получения (т.н. контактный способ), но он является достаточно сложным и дорогостоящим из-за необходимости использования катализатора на основе ванадия, стоимость которого на мировом рынке за последние годы существенно выросла. Поэтому регенерация серной кислоты из гипсовых отходов методом пиролиза в настоящее время признана экономически нецелесообразной.

При этом еще в 1950-60-х гг. в Индии и некоторых других странах широко применялся способ промышленного производства сульфата аммония из природного гипса и гипсосодержащих отходов (например, фосфогипса) путём обменной реакции с карбонатом аммония:



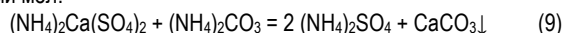
Способ осуществлялся следующим образом: пульпу тонкоизмельченного гипса в воде обрабатывали 25÷33% раствором карбоната аммония, в результате чего карбонат кальция осаждался в форме крупных, хорошо фильтрующихся и промываемых пластинчатых кристаллов [10].

В настоящее время целевое производство сульфата аммония нерентабельно, поскольку он является побочным продуктом производства целого ряда отраслей химической технологии (производства капролактама, акрилатного производства, коксохимического производства), однако, в последние годы вышеуказанный способ конверсии оказался востребован для переработки фосфогипса в более ценный и востребованный карбонат кальция (фосфомел). В результате конверсии в течение 30÷360 мин при температуре 50÷57°C и расходе карбоната аммония 100÷110% от стехиометрии был получен карбонат кальция с содержанием 2,5÷3% сульфата кальция и раствор сульфата аммония с концентрацией 34,3÷36,3% [11, 12].

До последнего времени считалось, что технология конверсии гипса в сульфат аммония не может быть применена для утилизации гипсо-гидроксидного кека, поскольку на технологический процесс и на качество готового продукта оказывает большое влияние качество гипсового сырья: гипс, используемый для производства сульфата аммония, должен содержать не менее 97÷97,5% CaSO_4 (в расчете на безводное вещество), поскольку присутствие соединений железа, алюминия и других примесей затрудняет фильтрацию и промывку осадка CaCO_3 [10]. Однако в 2016 г. в Великобритании был разработан способ производства высокочистого гипса, позволяющий перерабатывать любое сырьё, содержащее сульфат кальция, путем его растворения в горячем (80...150°C) концентрированном (25÷50%) растворе сульфата аммония с образованием двойного сульфата $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$, отделения примесей путём декантации, фильтрации либо центрифугирования и последующего осаждения кальция из раствора в форме очищенного гипса либо высокочистого мела [13].

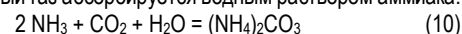
В первом (базовом) варианте очищенный раствор охлаждается до комнатной температуры (10...30°C), в результате чего из него кристаллизуется кокаит $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, который затем гидролизуются холодной водой на высокочистый гипс и раствор сульфата аммония, который после упаривания возвращается в голову процесса. Во втором (дополнительном) варианте очищенный раствор охлаждается до 20...60°C и обрабатывается раствором карбоната

аммония, в результате чего в течение 10÷20 мин осаждается высокочистый мел:



Исходя из вышеизложенного, предлагается следующая схема конверсии:

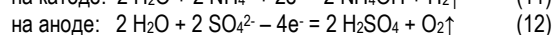
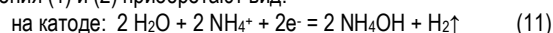
После обработки сульфатных МР известковым молоком очищенный раствор возвращается в оборот (на приготовление ВР), а гипсо-гидроксидный кек обрабатывается горячим (80...110°C) концентрированным раствором сульфата аммония, в результате чего гипс растворяется с образованием двойного сульфата $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$, а гидроксидный кек отделяется путём декантации, фильтрации либо центрифугирования и затем после доизвлечения урана (например, путём отмывки в карбонатных растворах) направляется в хвостохранилище. Очищенный раствор $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ охлаждается до 40...50°C и обрабатывается концентрированным (25÷33%) раствором карбоната аммония, в результате чего кальций осаждается в форме карбоната, а раствор сульфата аммония разделяется на две части. Одна часть раствора упаривается и возвращается на выщелачивание гипсо-гидроксидного кека, а другая направляется на электролитическую регенерацию серной кислоты. Осажденный из раствора карбонат кальция утилизируется как товарный продукт «мел химически осаждённый» (применяется в цементной, резиновой, медицинской и других отраслях промышленности [11]) либо подвергается кальцинации по уравнению (4). Полученная в результате кальцинации негашеная известь возвращается на производство известкового молока для очистки очередной порции МР, а углекислый газ абсорбируется водным раствором аммиака:



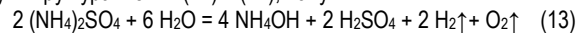
Полученный в результате реакции (10) раствор карбоната аммония возвращается на осаждение мела из сульфатного раствора по уравнению (9). Таким образом, в отличие от ныне принятой схемы, в предлагаемой технологии «углеродный след» многократно снижается.

3. Электрохимическая регенерация серной кислоты из раствора сульфата аммония

Как указывалось в разделе 1, в процессе электролиза МР происходит электролитическое разложение воды, а катионы металлов и анионы сульфата, входящие в состав МР, в процессе не участвуют. Аналогичным образом протекает процесс электролиза раствора сульфата аммония. В электролизаторе, благодаря наличию полупроницаемых мембран, катионы аммония концентрируются в католите, а анионы сульфата – в анолите, и в процессе электролиза уравнения (1) и (2) приобретают вид:



Суммируя уравнения (11) и (12), получим:



Полученная в результате реакции (13) серная кислота с концентрацией 28÷29% возвращается на производство ВР, а раствор аммиака возвращается на абсорбцию углекислого газа по уравнению (10), продукт которой – раствор карбоната аммония – возвращается на осаждение мела из сульфатного раствора по уравнению (9). Таким образом, в производственный цикл возвращаются все полупродукты и продукты, за исключением гидроксидного кека, представляющего собой смесь гидроксидов и гидросиликатов металлов II-XV групп (главным образом железа, алюминия и магния). Следует заметить, что вполне возможно некоторое усовершенствование схемы очистки сульфатных МР, которое позволит вместо гидроксидного кека получать отдельно оксиды указанных металлов в форме товарных продуктов, однако, этот вопрос выходит за рамки данного исследования.

Как видно из уравнения 14, в результате электрохимической регенерации серной кислоты из раствора сульфата аммония на 1 моль кислоты попутно образуются 0,5 моля кислорода и 1 моль

водорода (в пересчете на 1 т кислоты – 228 нм³), который является ценным товарным продуктом. Как указывалось в разделе 1, в современных электролизных установках для получения водорода для обеспечения минимального значения $\Delta U_{эл}$ используют в качестве электролита раствор едкого кали с концентрацией 27÷30% [6, 7], который имеет очень высокую удельную электропроводность – 544÷545 мСм/см [8]. Для сравнения, в результате конверсии гипса образуется раствор сульфата аммония с концентрацией 34,3÷36,3% [11, 12] и удельной электропроводностью 245÷249 мСм/м [8] – что существенно ниже, чем для едкого кали, но почти на порядок выше, чем у МР, использованных в опытах [2, 3].

Как указывалось в разделе 1, КПД существующих электролизных установок для получения водорода находится в пределах 60÷73%, что соответствует расходу электроэнергии 5,0÷4,1 кВт·ч/нм³ H₂ (≈ 55,5÷45,5 кВт·ч/кг H₂) и напряжению 1,70÷2,05 В, из которых на долю $\Delta U_{эл}$ приходится около 0,2 В. Поскольку электропроводность раствора сульфата аммония в ~2,2 раза выше, чем раствора едкого кали, при его электролизе следует ожидать повышения значения $\Delta U_{эл}$ до ~0,44 В, а общего напряжения на электролизёре до 1,94÷2,29 В (т.е. на 12÷14%). Расчёт показывает, что при ВТ, равном 98÷99%, расход электроэнергии на регенерацию серной кислоты составит 1070÷1270 кВт·ч/т (в пересчете на 100% концентрацию), т.е. в 2 раза меньше, чем в работах [2, 3]. При этом следует учитывать, что важными и дорогостоящими попутными продуктами являются осаждаемый мел и водород.

В условиях, когда водород востребован как товарный продукт, на него и следует отнести основные затраты на электролиз. Тогда электролиз сульфата аммония вместо едкого кали приведёт к росту затрат электроэнергии с 5,0÷4,1 до 5,59÷4,68 кВт·ч/нм³ H₂ (или с 55,5÷45,5 до 62,0÷52,0 кВт·ч/кг H₂), и если на регенерацию серной кислоты отнести только указанный прирост затрат энергии (0,58÷0,59 кВт·ч/нм³ H₂ ~ 6,5 кВт·ч/кг H₂), расход электроэнергии составит всего 130÷135 кВт·ч/т серной кислоты. Если же в данном регионе водород не востребован как товарный продукт, то его наиболее целесообразно утилизировать путем «сжигания» в топливных элементах – электрохимических устройствах, которые в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывают электроэнергию [14]. Поскольку теплота сгорания водорода составляет 120 МДж/кг, а КПД топлив-

ных элементов в среднем составляет 60% [14, 15], утилизация водорода позволит снизить затраты электроэнергии на 20 кВт·ч/кг H₂, тогда в пересчёте на серную кислоту расход электроэнергии составит 660÷860 кВт·ч/т, т.е. в 5,0÷6,5 раза больше, чем при утилизации водорода в качестве товарного продукта. В этом случае электрохимическая регенерация серной кислоты с утилизацией водорода в топливных элементах в настоящее время будет низкорентабельной, но с учетом тенденции к росту цен на серную кислоту в перспективе может оказаться востребованной.

Выводы:

Наиболее целесообразным способом электрохимической регенерации серной кислоты из маточных растворов сернокислотного ПСВ урана представляется следующий:

- деминерализация оборотных и сбросных МР путём обработки известковым молоком с образованием гипсо-гидроксидного кека;
- выщелачивание сульфата кальция из гипсо-гидроксидного кека горячим концентрированным раствором сульфата аммония;
- осаждение карбонатного кека раствором карбоната аммония с последующей утилизацией в виде товарного продукта («мел химически осаждаемый») либо кальцинацией и возвращением продуктов в производство (известки – на деминерализацию МР, а углекислого газа – на регенерацию раствора карбоната аммония);
- электролиз раствора сульфата аммония с получением раствора аммиака (который возвращается на регенерацию раствора карбоната аммония), серной кислоты (которая возвращается на производство ВР) и попутным получением водорода и кислорода.

2. Способ является высокорентабельным при условии наличия в регионе спроса на попутный водород – в случае отнесения основных энергозатрат на получение водорода расход электроэнергии составит всего 130÷135 кВт·ч/т серной кислоты.

3. В случае отсутствия в регионе спроса на попутный водород он может быть утилизирован путем «сжигания» в топливных элементах, но в этом случае расход электроэнергии возрастает в 5,0÷6,5 раз – до 660÷860 кВт·ч/т серной кислоты. В этом случае электрохимическая регенерация серной кислоты становится низкорентабельной, но с учетом тенденции к росту цен на серную кислоту в перспективе может оказаться востребованной.

4. Важным достоинством данной технологии является многократное уменьшение «углеродного следа».

Библиографический список:

1. Соколова Г.А., Каравайко Г.И. Физиология и геохимическая деятельность тионовых бактерий. – М: Наука, 1964. – 334 с.
2. Дуйсебаев Б.О., Садыков М.Ж., Принзин Н.А., Близнюк В.И., Карманов Е.М. Разработка технологии подземного выщелачивания урана с применением электрохимических методов // КИМС. – № 1. 2008. – С. 19-27.
3. Дуйсебаев Б.О., Садыков М.Ж., Принзин Н.А., Близнюк В.И., Карманов Е.М. Исследование электролизных процессов при электрохимической обработке урансодержащих растворов // ГИАБ, 2009. – С. 392-399.
4. Аминов Р.З., Байрамов А.Н. Оценка эффективности получения водорода на базе вепиковой электроэнергии АЭС // Водородная экономика, 2016. № 05-06 (193-194). – С. 59-70. https://www.researchgate.net/publication/301330711_Ocenka_effektivnosti_polucenia_vodoroda_na_baze_vnerikovoj_elektroenergii_AES.
5. Проектирование технологии и оборудования электрохимических производств: учебно-методическое пособие // Т.Н. Останина, Н.И. Останин, А.Е. Новиков, А.Б. Даринцева, В.М. Рудой, В.С. Никитин. Под общ. ред. Ю.П. Зайкова. Министерство науки и высшего образования РФ, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2022. – 160 с.
6. Прикладная электрохимия (учебник) // Алабышев А.А., Вячеславов П.М., Гальбек А.А. и др. Под ред. Федотьева Н.П. 3-е изд. – Л.: Химия, 1974. – 535 с.
7. Богданович А.О., Мерзляков Н.А., Шутова А.И., Останин Н.И. Снижение энергозатрат при электролитическом получении водорода // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной памяти профессора Данилова Н.И. (1945-2015) – Даниловских чтений (Екатеринбург, 10-14 декабря 2018 г.). – Екатеринбург: УрФУ, 2018. – С. 113-116. https://elar.ufu.ru/bitstream/10995/74836/1/ersps_2018_021.pdf.
8. Сайт ЗАО «Эталон-Прибор». Таблица электропроводности различных сред. <https://etalon-chel.ru/help/raskhodometry/tablica-ehlektroprovodnosti-razlichnykh-sred/?ysclid=lvhh644f77335934980>.
9. Очистка стоков от сульфатов. <https://www.vo-da.ru/articles/ochistka-ot-sulfatov/fiziko-himicheskie-metody>.
10. Позин М.Е. и др. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот). Ч. II. – Л.: «Химия», 1974. – 768 с.

11. Сизяков В.М., Нутрихина С.В., Левин Б.В. Технология комплексной переработки фосфогипса конверсионным способом с получением сульфата аммония, фосфомела и новых продуктов // Записки Горного института. СПб. – Т. 197 (2012). – С. 239-244.
12. Холмуродов Ж.Э. Намазов Ш.С. Раджабов Р., Сейтназаров А.Р., Муродов Ж.З. Жидкофазная конверсия природного гипса с помощью раствора карбоната аммония // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. – № 9 (102) 2022. <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14244>.
13. Патент Великобритании № 2557605А (2016). Method of producing high purity gypsum. <https://patents.google.com/patent/GB2557605A/en>.
14. Обзор инженерных систем ЦОД: Электроснабжение ЦОД: Топливные элементы – осторожное начало? <https://alldc.ru/documentation/document/718.html>.
15. Saikia K., Kakati B.K., Boro B., Verma A. Current Advances and Applications of Fuel Cell Technologies // Recent Advancements in Biofuels and Bioenergy Utilization. Singapore: Springer, 2018, pp. 303-337. https://www.researchgate.net/publication/327959869_Current_Advances_and_Applications_of_Fuel_Cell_Technologies.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 16-20

PROSPECTS OF ELECTROCHEMICAL REGENERATION OF SULFURIC ACID FROM MOTHER LIQUORS OF SULFURIC ACID ISL OF URANIUM

- ¹Aiduisenov B.A., General Director.
²Polinovsky K.D., Gold parting process specialist, Ph.D.
³Duisebayev B.O., General Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.
⁴Alikulov Sh.Sh., Vice-rector, Doctor of Technical Sciences, Professor.

- ¹«Khorasan-U» LLP.
²JSC «Moscow special alloys processing plant».
³LLP «Design Bureau of Chemical Engineering».
⁴Navoi State University of Mining and Technologies.

The paper presents the prospects of electrochemical regeneration of sulfuric acid from mother liquors of sulfuric acid ISL of uranium in order to reduce the reagent intensity of the process. The experience of previous years shows that when regenerating sulfuric acid by electro dialysis of mother liquor, energy costs are unacceptably high due to the low efficiency of the process, since mother liquor has a low concentration and, as a result, low electrical conductivity. The standard process of demineralization of mother liquor is carried out by treating them with lime milk with precipitation of impurities in the form of gypsum hydroxide cake, which enters the tailings dams. It is proposed to leach gypsum from gypsum hydroxide cake and convert the resulting solution into a solution of ammonium sulfate with a high concentration (34,3-36,3%), from which sulfuric acid is then regenerated by electro dialysis. The calculation shows that this technology option will reduce energy costs for electro dialysis by 2 times. At the same time, the cost of consumed electricity can be compensated by 86-88% by the cost of associated products of electro dialysis – elemental hydrogen and oxygen.

Keywords: sulfuric acid, uranium ISL, electrochemical regeneration, sulfate-containing mother liquor, demineralization, gypsum hydroxide cake, gypsum leaching, conversion, ammonium sulfate, electro dialysis, power consumption.

Bibliography list:

1. Sokolova G.A., Karavaiko G.I. Physiology and geochemical activity of thionic bacteria. – M.: Nauka, 1964. – 334 p.
2. Duisebayev B.O., Sadykov M.Zh., Prinzi N.A., Bliznyuk V.I., Karmanov E.M. Development of technology for underground uranium leaching using electrochemical methods // KIMS. No. 1. 2008, pp. 19-27.
3. Duisebayev B.O., Sadykov M.Zh., Prinzi N.A., Bliznyuk V.I., Karmanov E.M. Investigation of electro dialysis processes in electrochemical treatment of uranium-containing solutions // GIAB, 2009, pp.392-399.
4. Aminov R.Z., Bayramov A.N. Evaluation of the efficiency of hydrogen production based on off-peak electricity of nuclear power plants // Hydrogen Economy, 2016, No. 05-06 (193-194), pp. 59-70. Available at: https://www.researchgate.net/publication/301330711_Ocenka_effektivnosti_polucenia_vodoroda_na_baze_vnepikovojelektroenergii_AES (in Russ.).
5. Designing technology and equipment for electrochemical industries: an educational and methodological manual // T.N. Ostanina, N.I. Ostanin, A.E. Novikov, A.B. Darintseva, V.M. Rudoy, V.S. Nikitin under the general editorship of Yu.P. Zaikov. Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Ural Federal University. – Yekaterinburg: Ural Publishing House. unita, 2022. – 160 p.
6. Applied electrochemistry (textbook) // Alabyshev A.A., Vyacheslavov P.M., Galnbek A.A. et al.; ed. Fedotyevev N.P. – 3 rd ed. – Leningrad.: Chemistry, 1974. – 535 p.
7. Bogdanovich A.O., Merzlyakov N.A., Shutova A.I., Ostanin N.I. Reduction of energy consumption during electrolytic production of hydrogen // Energy and resource conservation. Energy supply. Non-traditional and renewable energy sources. Nuclear power engineering: materials of the scientific and practical International Conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the memory of Professor N.I. Danilov (1945-2015). Danilovsky readings (Yekaterinburg, December 10-14, 2018). – Yekaterinburg: UrFU, 2018, pp. 113-116. Available at: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/74836/1/ersps_2018_021.pdf (in Russ.).
8. The website of Talon-Choice CJSC, which is a distribution center. Available at: <https://etalon-chel.ru/help/rashodomery/tablica-ehlektroprovodnosti-razlichnykh-sred/?ysclid=lvhh644f77335934980> (in Russ.).
9. Assessment of the state of the soulshats. Available at: <https://www.vo-da.ru/articles/ochistka-ot-sulfatov/fiziko-himicheskie-metody> (in Russ.).
10. M.E. Pozin et al. Technology of mineral salts (fertilizers, pesticides, industrial salts, oxides and acids), part II. – L.: «Chemistry», 1974. – 768 p.
11. Sizyakov V.M., Nutrikhina S.V., Levin B.V. Technology of complex processing of phosphogypsum by conversion method to obtain ammonium sulfate, phosphomel and new products // Notes of the Mining Institute. – St. Petersburg, vol.197 (2012), pp. 239-244.
12. Kholmurodov J.E. Namazov S.S. Radzhabov R., Seytnazarov A.R., J. Murodov.Z. Liquid-phase conversion of natural gypsum using an ammonium carbonate solution // Universe: technical sciences: electron. Scientific journal, 2022. No. 9 (102). Available at: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14244> (in Russ.).
13. Uk Patent No. 2557605A (2016) Method for producing high purity gypsum. Available at: <https://patents.google.com/patent/GB2557605A/en>.
14. Overview of data center engineering systems: Data center Power Supply: Fuel cells – a cautious start? Available at: <https://alldc.ru/documentation/document/718.html> (in Russ.).
15. Saikia K., Kakati B.K., Boro B., Verma A. Modern achievements and application of fuel cell technologies // Recent achievements in the field of biofuels and the use of bioenergy. Singapore: Springer, 2018, pp. 303-337. Available at: https://www.researchgate.net/publication/327959869_Current_Advances_and_Applications_of_Fuel_Cell_Technologies.

РАЗРАБОТКА КАРЬЕРОВ ЭТАПАМИ И ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБА В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ СОВРЕМЕННОГО ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ



Назаров З.С.,
доцент кафедры
«Горное дело» НГГТУ,
к.т.н.



Хакимов Ш.И.,
и.о. профессора кафедры
«Горное дело» НГГТУ,
д.т.н.



Назаров А.З.,
ассистент кафедры
«Горное дело» НГГТУ

Ushbu maqolada karerlarni bosqichma-bosqich loyihalash masalalari muhokama qilinadi, uning doirasida vaqtincha ishlamaydigan karyer tomonini shakllantirish bilan iqtisodiy xarajatlarni minimallashtirish uchun oraliq sxema o'rnatiladi. Ko'rib chiqilayotgan dizayn echimining samaradorligini chegirma yordamida baholash odatiy holdir. Shu maqsadda chegirma stavkasi qo'llaniladi, uning qiymati investorlar uchun maqbul deb hisoblanadi. Diskont stavkasi investitsiya qilingan kapitalning kerakli daromad darajasini ta'minlashi kerak.

Tayanch iboralar: karyer, bosqich, taxta, ustun, aloqa, ochilish, chegirma, rentabellik indeksi, ichki daromad darajasi, to'lov muddati, yalang'ochlash nisbati, o'zini oqlash.

В данной статье рассмотрены вопросы проектирования карьеров этапами, в рамках которых устанавливается промежуточный контур, для минимизации экономических затрат с формированием временно нерабочего борта карьера. Эффективность рассматриваемого проектного решения принято приводить с помощью дисконтирования. Для этого используется норма дисконта, величина которой принимается приемлемой для инвесторов. Норма дисконта должна обеспечивать требуемую норму доходности на инвестируемый капитал.

Ключевые слова: карьер, этап, борт, целик, коммуникации, вскрытия, дисконт, индекс доходности, внутренняя норма доходности, срок окупаемости, коэффициент вскрыши, окупаемость.

Большой потенциал в области улучшения существующих технологий открытых горных работ и повышения их экономической эффективности находится в способе консервации части вскрышных горных пород и создания в пределах контура карьерного поля временно нерабочей зоны. Её создание позволит уменьшить объёмы горно-капитальных работ, а также сократить количество вскрышных работ на первоначальных этапах функционирования карьера.

Проектирование карьеров этапами, в рамках каждого из которых устанавливается промежуточный контур, целесообразно использовать для минимизации экономических затрат.

В настоящее время часто используют метод проектирования и эксплуатации карьеров с выделением нескольких этапов, при этом в рабочей зоне карьера, формируют временно нерабочий борт (ВНБ) путём образования целиков. Новые рабочие горизонты вскрываются системой временных съездов.

Главным минусом предлагаемого способа является не стационарность транспортных коммуникаций, которые располагаются на временных съездах и траншеях.

Во время отработки очередного этапа возникает ситуация, когда целик будет перемещаться за счёт отработки верхних горизонтов и формирования целика на нижележащих горизонтах. Отсюда возникает проблема необходимости, при ведении массовых взрывных работ, демонтировать транспортные коммуникации, которые располагаются на вышележащих горизонтах [1].

При отработке карьера с применением этапов разнос временно нерабочих бортов начинается гораздо позже, чем при способе отработки без применения этапов и осуществляется одновременно с добычными работами.

В период разноса ВНБ в карьере формируются два рабочих участка: на первом участке карьера ведутся работы по добыче полезного ископаемого и обеспечивается проектная производительность карьера по руде, на втором участке ведутся работы по погашению нерабочего борта.

Закономерность разноса временных бортов карьера, определяется параметрами формирования временно нерабочего борта и их зависимостью. К основным параметрам относят скорость формирования ВНБ, скорость с которой происходит понижение горных работ при погашении нерабочего борта, а также время, за которое полностью разносят временный борт.

Из возможных способов разделения карьерного поля на этапы необходимо выбрать оптимальный вариант. Выбор оптимального варианта зависит от геологических условий, глубины карьера, горнотранспортного оборудования, вовлеченного в отработку, а также принятой системы разработки.

Возможность реализации того или иного решения оценивается с учётом использования комбинированного транспорта и применения различных схем вскрытий глубоких горизонтов месторождения.

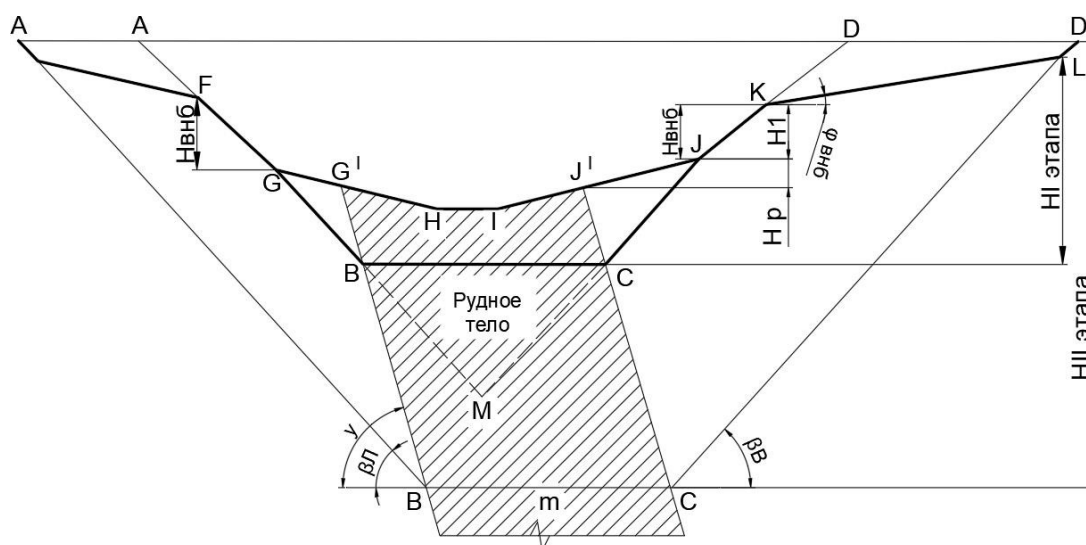


Рис. 1. Схема отработки рудного крутопадающего месторождения этапами

При создании методики этапной разработки карьеров вопрос определения параметров этапа является одним из главных.

К параметрам этапа принято относить такие величины как: угол откоса ВНБ, глубину карьера на конец отработки этапа, эксплуатационные расходы, объемы пород консервируемых в целиках, а также эксплуатационные коэффициенты вскрыши [2-5].

При рассмотрении методик проектирования карьеров этапами можно выделить два основных подхода.

Первый вариант предполагает проектировать параметры этапа в зависимости от предварительно определенных контуров карьера и его глубины, отсюда выходит, что эти параметры будут напрямую зависеть от конечной глубины карьера.

Второй вариант отработки карьера этапным способом предполагает проектировать в предварительных контурах карьера.

В таком случае необходимо точно определить параметры первого этапа, а конечные границы карьера будут уточняться со временем в процессе его отработки и дополнительной геологоразведки.

Существует два способа определения параметров этапа: графоаналитический и аналитический.

С помощью аналитического метода, который базируется на применении различных аналитических выражений, можно определить большинство параметров этапа.

Главными условиями рационального применения этапного способа отработки карьеров являются:

1. В каждый последующий период эксплуатации месторождения производительность карьера по полезному ископаемому должна быть равной или большей, чем в предыдущий этап.

2. На каждом последующем этапе средний коэффициент вскрыши должен уменьшаться.

3. Объемы пустых пород, вовлекаемых в отработку, а также текущий коэффициент вскрыши должны увеличиваться от этапа к этапу.

В ходе проведенных исследований представленных в работе [6] приходят к выводу, что, чем больше объем пустых пород и чем дольше продолжительность их консервации в целиках, тем будет выше экономическая эффективность.

При проектировании карьеров с применением этапов на глубоких крутопадающих месторождениях целесообразно применение способа с формированием временно нерабочего борта.

Такой подход позволяет ограничивать мощность месторождения «только скоростью углубления карьера, количеством и мощностью горнодобывающей техники, а также площадью участка, на котором ведутся добычные работы. При разработке карьера этапами вся рабочая зона карьера делится на две части (рис. 1).

Для обеспечения производительности месторождения выемочно-погрузочные работы ведутся на обеих частях карьера одновременно. При этом, по ходу понижения горных работ высота ВНБ будет меняться, благодаря этому можно регулировать угол откоса и минимизировать возможность снижения мощности карьера из-за уменьшения зоны добычных работ при формировании в ней временно не рабочего борта.

При этом максимальная высота целика при текущей глубине отработки карьера определяется по следующей формуле:

$$H_{ВНБ} = \frac{v_{ВНБ} (\operatorname{ctg} \varphi_{II} - \operatorname{ctg} \psi) - v_{II} (\operatorname{ctg} \varphi_{ВНБ} - \operatorname{ctg} \psi)}{h_r (\operatorname{ctg} \psi \pm \operatorname{ctg} \gamma) (\operatorname{ctg} \varphi_{II} \pm \operatorname{ctg} \psi)}, \quad (1)$$

где H_t – высота рабочего борта по породе на участке между контактом рудного тела и нижним основанием временно нерабочего борта, м;

$v_{ВНБ}$, v_{II} – скорость подвигания рабочего борта соответственно на участке разноса временно нерабочего борта и под ним, м/год;

φ – угол откоса временно нерабочего борта, град;

φ_{II} и $\varphi_{ВНБ}$ – угол откоса рабочего борта под временно нерабочим бортом и на участке разноса временно нерабочего борта, град;

ψ – угол падения рудного тела, град;

h_r – скорость углубки карьера, м/год.

Знак $\operatorname{ctg} \gamma$ определяется в зависимости от местоположения целика, если он находится на стороне висячего бока, то будет иметь знак плюс и соответственно минус, если целик располагается со стороны лежачего бока залежи (1).

Разработка глубоких крутопадающих месторождений характеризуется увеличением текущего коэффициента вскрыши с увеличением глубины отработки k_t .

Поэтому требуется определять ширину рабочих площадок уступов, обеспечивающую заданную интенсивность разработки месторождения при минимальных значениях k_t [7].

Формирование временно нерабочего борта является одним из часто используемых способов снижения значения текущего коэффициента вскрыши.

В условиях формирования временно нерабочего борта также необходимо оценивать степень влияния угла откоса целика на результирующий угол откоса борта карьера.

Вычисления параметров этапов, основываются на геометрических и тригонометрических методах расчётов. Данный подход имеет большое количество достоинств и это относительно простой и быстрый способ получить результат.

Для анализа эффективности рассматриваемого проекта принято приводить, с помощью дисконтирования, разновременные показатели к одному моменту времени [8, 9].

Для этого используется норма дисконта, величина которой принимается приемлемой для инвесторов. Норма дисконта должна обеспечивать требуемую норму доходности на инвестируемый капитал.

Различные варианты реализации инвестиционных проектов и выбор из них наиболее экономически целесообразного рекомендуют осуществлять с оценкой ряда критериев, таких как: чистый дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный эффект; индекс доходности (ИД); внутренняя норма доходности (ВНД); срок окупаемости; другие показатели, отражающие интересы участников или специфику проекта.

Чистый дисконтированный доход представляет собой сумму всех текущих экономических потоков за определённый временной период, которые приводятся к начальному моменту времени путём дисконтирования.

Если для расчётного временного периода не учитывать инфляцию или же проводить расчёт в базовых единицах цен, то значение ЧДД при неизменной норме дисконта будет рассчитываться по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{чдд}} = \text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (R_t - 3_t) \cdot \frac{1}{1 + E^t}, \text{ сум} \quad (2)$$

где R_t – результаты, достигаемые на t -ом шаге расчёта, сум;
 3_t – затраты, осуществляемые на том же шаге, сум;
 E – норма дисконта;
 T – период оценки, лет.

Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведённых эффектов к величине капиталовложений:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \cdot \sum_{t=0}^T \frac{R_t - 3_t}{(1 + E)^t}. \quad (3)$$

Значение индекса доходности связано с чистым дисконтированным доходом и находится по таким же параметрам.

Если значение ЧДД положительно, то индекс доходности будет больше единицы, в таком случае проект считается эффективным. Если индекс доходности меньше единицы, то проект признаётся неэффективным. Под сроком окупаемости проекта ($T_{\text{ок}}$) понимается наименьшее время от начала функционирования проекта, за которое интегральный эффект становится положительным и остаётся таким и дальше. Характеризуется периодом, когда капиталовложения и другие финансовые затраты, связанные с инвестициями, компенсируются полученным в ходе реализации проекта экономическим эффектом.

Для практических расчётов в развернутом виде ЧДД [10]:

$$\sum_0^T \Pi = \left[\sum_0^T D_t - \sum_0^T (C_t + P_t + H_{\text{д}}) \right] \cdot \frac{100 - H_t}{100} - \sum_0^T K_t + \sum_0^T A_t \rightarrow \max, \quad (4)$$

где $\sum_0^T \Pi$ – сумма дисконтированной прибыли за оцениваемый период T ;

$D_t, C_t, P_t, H_{\text{д}}, K_t, A_t$ – суммы ежегодных значений соответственно дисконтированных доходов, текущих производственных затрат, платежей всех видов, сумма налогов на добавленную стоимость и прочих, вычитаемых до исчисления налога на прибыль, капитальных вложений, амортизации;

H_t – ставка налога на прибыль, %.

Главным минусом величины срока окупаемости является то, что этот показатель не отражает в себе всё время эксплуатации объекта, это означает, что не учитываются все доходы, получаемые после наступления срока окупаемости.

В условиях волатильности и динамичности рынков минерального сырья горнодобывающие предприятия, ведя разработку месторождения открытой технологией и имея постоянную проектную производственную мощность, испытывают, проблемы увеличения эксплуатационных расходов [11].

Это связано, прежде всего, с необходимостью хранить нереализованное сырьё на складах при уменьшении спроса на него. Также присутствует и обратная ситуация, когда горное предприятие не имеет возможности реализовать больший объём минерального сырья в периоды роста спроса и получить дополнительную прибыль.

Применение этапов даёт возможность гибко менять зоны и концентрацию оборудования и при необходимости увеличения производственной мощности вовлекать в отработку дополнительные единицы техники. А также усовершенствовать действующие технологические схемы и повышать уровень организации на каждом этапе технологической цепочки.

На текущий момент при оценке опыта ведения разработки карьеров современными горнодобывающими предприятиями можно сделать вывод, что на рудниках функционируют не в полной мере или полностью отсутствуют механизмы, позволяющие изменять объёмы добываемого полезного ископаемого.

Для эффективного управления режимом горных работ путём применения этапной схемы отработки, уменьшение текущего коэффициента вскрыши достигается путём создания в рабочих контурах карьера, зоны с изменёнными параметрами рабочей зоны, которые позволяют вывести производительность месторождения на требуемый более высокий, в данный период времени, уровень.

Доказана необходимость совершенствования методов проектирования карьеров этапами в условиях объективного ухудшения горнотехнических и горно-геологических условий отработки рудных крутопадающих месторождений, волатильности и динамичности рынков минерального сырья.

Библиографический список:

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – Москва: Недра, 1978. – 544 с.
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., Галонова И.В. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов // Горный журнал. – № 12. – Москва: Издательский дом «Руда и Металлы», 2017. – 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 ЦДБ АО «НГМК». – Навои, 2022 г. – 44 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 21-24

DEVELOPMENT OF QUARRIES IN STAGES AND ASSESSMENT OF FEASIBILITY OF METHOD REALISATION, IN CONDITIONS OF MARKET ECONOMY OF MODERN MINING ENTERPRISE

Nazarov Z.S., Associate Professor at the Department of Mining, Doctor of Technical Sciences.

Khakimov Sh.I., acting Professor at the Department of Mining, Doctor of Technical Sciences.

Nazarov A.Z., assistant teacher at the Department of Mining.

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

This article considers the issues of quarry design in stages, within which an intermediate contour is established to minimise economic costs with the formation of a temporarily non-working side of the quarry. Efficiency of the considered design solution is usually given by means of discounting. For this purpose, the discount rate is used, the value of which is acceptable to investors. The discount rate should provide the required rate of return on the invested capital.

Keywords: quarry, stage, side, target, communications, stripping, discount, profitability index, internal rate of return, payback period, stripping ratio, payback.

Bibliographic list:

1. Rzhnevsky V.V. Open pit mining processes. – Moscow: Nedra, 1978. – 544 p.
2. Safety rules for open-pit mining of mineral deposits. STH 09-69-09. LLC «Grafo print». – Tashkent, 2010. – 246 p.
3. Sanakulov K.S. Conceptual basis for the problems of processing technogenic raw materials. Gornyy vestnik Uzbekistana. – No. 2. Navoi, 2019, pp. 42-56.
4. Yaltanets I.M., Shchadov M.I. Workshop on open-pit mining. 2nd edition. – Moscow: Nedra, 2003, pp. 44-45.
5. Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., Gaponova I.V. Increasing the economic efficiency of mining enterprises through the involvement of man-made georesources in the exploitation // Mining Journal. – Moscow: Publishing House «Ruda i Metally», 2017. – No. 12, pp. 46-51.
6. Yurkevich N.V., Bortnikova S.B., Olenchenko V.V. Assessment of the current state of the gold mine tailings: valuable and toxic components // Interexpo Geo-Siberia. – Novosibirsk, 2017, pp. 113-117.
7. Trubetskoy K.N., Zakharov V.N., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Effective technologies for the use of technogenic georesources - the basis for the environmental safety of subsoil development // Gornyy zhurnal. – No. 5. – Moscow: Publishing House «Ruda i Metally», 2016, pp. 34-40.
8. Sadanov Sh.N., Zalevskaya K.N., Kirkov A.E., Gavrilenco V.V. Strategy for involving technogenic gold-bearing formations into exploitation in the light of environmentally balanced development of the mining region // In the collection: Gold. Polymetals. XXI century: sustainable development. – Chelyabinsk, 2022, pp. 52-53.
9. Working project 302-111 – «Modernization of the section for transporting ore from PV-1 of the TsKVZ mine to GMZ-7 using a rotary excavator», developed by the Central Design Bureau of JSC «NMMC». – Navoi, 2022 – 44 p.

1M63

ТОКАРНО – ВИНТОРЕЗНЫЙ
СТАНОК



NMZ
Навоиё жезми ва металл

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМА ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН В СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДАХ ВЗРЫВАТЫХ ВЕЩЕСТВ



Ишанходжаев З.К.,
директор Дирекции по строительству
горнотранспортного комплекса и
объектов инфраструктуры
АО «АГМК»



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



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



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

Portlovchi zaryadlarining portlash tezligi uning asosiy xususiyatlaridan biridir. Maqolada quduq portlovchi zaryadlarida detonatsiya to'liqlarining rejimi ko'rib chiqiladi. Portlovchi moddalarning portlash xarakteristikalari hisoblab chiqildi va portlovchi moddalarning portlash tezligi, portlash bosimi, portlash to'liqidagi portlash mahsulotlarining zichligi va portlash mahsulotlarining kengayish tezligini aniqlash uchun formulalar tavsiya etildi.

Tayanch iboralar: detonatsiya, zarba to'liqini, detonatsiya tezligi, portlash mahsulotlarining bosimi, zichlik, issiqlik, bosim, portlash mahsulotlarining harakat tezligi.

Скорость детонации зарядов взрывчатых веществ является одной из его главных характеристик. В статье исследован режим детонационных волн в скважинных зарядах взрывчатых веществ. Произведён расчёт детонационных характеристик ВВ и рекомендованы формулы определения скорости детонации ВВ, детонационного давления, плотности продуктов взрыва в детонационной волне и скорости разлета продуктов взрыва.

Ключевые слова: детонация, ударная волна, скорость детонации, давление продуктов взрыва, плотность, теплота, давление, скорость движения продуктов взрыва.

Известно, что детонация представляет собой самоподдерживающийся процесс перемещения по ВВ со сверхзвуковой скоростью ударного фронта, сопровождающийся скачкообразным увеличением давления и химическим превращением вещества. Химическая реакция возникает в результате адиабатического сжатия и разогрева веществ в ударном фронте.

Комплекс, состоящий из ударного фронта и зоны химической реакции называется детонационной волной. Установившаяся детонационная волна распространяется по ВВ с постоянной скоростью от 1 до 10 км/с. Постоянство параметров детонационной волны объясняется тем, что потери энергии, связанные со сжатием и движением вещества, компенсируются теплом, выделяющимся при его химическом превращении.

Согласно гидродинамической теории детонации ударная волна постоянной амплитуды, распространяясь с постоянной сверхзвуковой скоростью по ВВ, обеспечивает возникновение за её передним фронтом зоны химического превращения. При этом возникающие диссипативные потери энергии, сопровождающие ударное сжатие ВВ, компенсируются теплотой реакции взрывчатого превращения ВВ.

В теоретических исследованиях принято, что плоский фронт детонационной волны, распространяясь по заряду, сжимает впереди лежащие слои ВВ и вызывает их химическое превращение с образованием продуктов детонации.

Промышленные многокомпонентные смеси ВВ содержат высокоактивные индивидуальные ВВ, взрывчатое превращение которых в детонационной волне происходит с высокими скоростями (5-7 км/с), вещества со слабовыраженными взрывчатыми свойствами (аммиачная и натриевая селитры), разлагающиеся при

детонации со скоростью в 3-5 раз меньшей, чем мощные ВВ, а также горючие материалы (алюминий, древесная мука, твёрдые и жидкие нефтепродукты), которые не обладают взрывчатыми свойствами. Более того, в ВВ используются инертные добавки, не принимающие участия в реакции химического превращения, а лишь меняющие свое агрегатное состояние, переходя из твёрдого или жидкого состояния в газообразное.

Очевидно, что механизм детонации многокомпонентных промышленных ВВ отличается от гомогенного и их взрывчатое превращение происходит в несколько стадий. Разработка теории детонации грубодисперсных многокомпонентных смесевых ВВ продолжается и в настоящее время.

В общем виде скорость детонации ВВ определяется соотношением, постулированным Е. Жуге и доказанным позднее Зельдовичем Я.Б. [1]:

$$D = u + c, \quad (1)$$

где u – массовая скорость продуктов детонации за ударным фронтом;

c – местная скорость звука в продуктах детонации (ПД).

Для расчёта скорости детонации в инженерной практике используют различные приближенные методы, основанные на полуэмпирических уравнениях состояния продуктов детонации или на корреляционных зависимостях параметров детонации от каких-либо известных свойств ВВ [2, 3].

При этом для высокоплотных ВВ при расчёте используется уравнение состояния продуктов взрыва в виде политропы:

$$PV^n = const, \quad (2)$$

где P – давление продуктов взрыва ВВ, Па;

V – объём продуктов взрыва, м³;

n – показатель политропы продуктов взрыва, зависящий от начальной плотности ВВ (табл. 1).

Формула расчёта скорости детонации, выраженная через показатель политропы n и теплоту взрыва при постоянном объёме $Q_{взр}$, имеет вид [4]:

$$D = 31,56 \cdot \sqrt{(n^2 - 1) \cdot Q_{взр}}, \quad (3)$$

Полученная для газов, данная формула дает завышенные результаты для конденсированных (твёрдых) ВВ. Поэтому для приближенной оценки скорости детонации можно воспользоваться выражением:

$$D = D'_{эт} \cdot \sqrt{\frac{Q_{ВВ}}{Q_{эт}}}, \quad (4)$$

где D – скорость детонации ВВ, м/с;

$D'_{эт}$ – скорость детонации эталонного ВВ при соответствующей плотности заряжания, м/с;

$Q_{ВВ}$ – теплота взрыва ВВ, кДж/кг;

$Q_{эт}$ – теплота взрыва эталонного ВВ, кДж/кг.

Скорость детонации эталонного ВВ (аммонита 6ЖВ), равная 3600 м/с при плотности заряжания 1 г/см³, пересчитывается с учётом реальной плотности заряда ВВ по формуле [4]:

$$D'_{эт} = D_{эт} + 3500(D - 1) \quad (5)$$

Здесь D – плотность заряжания ВВ, г/см³.

Идеальная скорость детонации (максимально возможная при заданной плотности ВВ) может быть определена по формуле, предложенной исследователями [5, 6]:

$$D_u = 2641 + 3,231 \cdot \Delta \cdot \sqrt{\omega}, \quad (6)$$

где Δ – плотность ВВ, г/см³

ω – так называемое характеристическое произведение теплоты взрыва на объём ПВ, предложенное Берто (1883 г.) для оценки эффективности ВВ:

$$\omega = Q_{взр} \cdot V_{пв}, \quad (7)$$

где $Q_{взр}$ – теплота взрыва, ккал/кг;

$V_{пв}$ – объём продуктов взрыва, л.

Теплота взрыва (ккал/кг) определяется делением значения $Q_{взр}$ в кДж/кг на коэффициент 4,19 (механический эквивалент тепловой энергии).

Величина детонационного давления (давление в точке Чепмена – Жуге) определяется по формуле:

$$P_{жс} = \frac{\Delta \cdot D^2}{n + 1} \cdot 10^{-3}, \quad \text{МПа}. \quad (8)$$

Для условия $n = 3$, характерного для большинства конденсированных ВВ,

$$P_{жс} = 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta \cdot D^2, \quad (9)$$

где $P_{жс}$ – детонационное давление, МПа;

D – скорость детонации ВВ, м/с;

Δ – плотность ВВ, г/см³.

Давление в ударной волне связано с ее скоростью (D) и массовой скоростью (u) соотношением:

$$P_{жс} = D \cdot \Delta \cdot u. \quad (10)$$

Откуда массовая скорость определяется:

$$u = \frac{P_{жс}}{\Delta \cdot D} \cdot 10^{-3}, \quad \text{м/с}. \quad (11)$$

По известному значению массовой скорости (u) рассчитывают показатель политропы:

$$n = \frac{D}{u} - 1 \quad (12)$$

В табл. 2 приведены значения детонационного давления для различных видов ВВ.

Таблица 1

Показатель политропы продуктов взрыва, зависящий от начальной плотности ВВ

n	1,3	1,6	2,2	2,8	3,0	3,2	3,4
Плотность ВВ, м/м ³	0,1	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,75

Таблица 2

Значения детонационного давления для различных видов ВВ

Тип ВВ	Плотность, г/см ³	Средняя скорость детонации, м/с	Детонационное давление, МПа
ЭВВ (Emulit-150)	1,2	5000	7500
ANFO (AC-ДТ) (Prillit A)	0,85	3000	2000
Пенталит (PENT)	1,6	8000	25600
Водоустойчивое ВВ	1,45	5000	9000
Скальный аммонит № 1	1,5	6000	13500

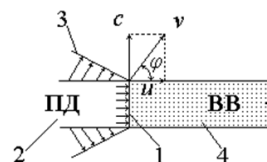


Рис. 1. Схема движения продуктов детонации при взрыве прямолинейного открытого заряда ВВ: 1 – фронт детонации; 2 – продукты детонации; 3 – фронт расширяющихся продуктов детонации; 4 – взрывчатое вещество

Характеристическое произведение Берто (ω) может быть использовано для расчета детонационного давления:

$$P_o = 1596 + 9,378 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta^2 \cdot \omega, \quad \text{МПа}. \quad (13)$$

Плотность продуктов взрыва в детонационной волне определяется по формуле:

$$\rho_{пв} = \frac{n + 1}{n} \cong \frac{4}{3} \rho_{ВВ} \quad (14)$$

Массовая скорость движения продуктов взрыва за фронтом детонации определяется выражением:

$$u = \frac{D}{n + 1}, \quad \text{м/с}. \quad (15)$$

Здесь n – показатель политропы.

Известно, что для большинства бризантных ВВ $n = 3$, откуда :

$$u \cong \frac{D}{4}, \quad \text{м/с}. \quad (16)$$

При взрыве в воздухе открытого заряда продукты детонации не встречая заметного сопротивления, начинают интенсивно расширяться.

При распространении детонации по достаточно длинному заряду направление максимальной плотности потока в детонационной волне (направление перемещения частиц с массовой скоростью u) и разлетающиеся в перпендикулярно оси (поверхности) заряда направлении со скоростью звука продукты взрыва определяют некоторый угол φ результирующей скорости движения ПВ (рис. 1).

Скорость разлёта ПВ из поверхностного слоя заряда, направленная перпендикулярно к оси заряда, определяется выражением:

$$C = \frac{2 \cdot n \cdot D_u}{n^2 + 1}, \quad \text{м/с}. \quad (17)$$

Тогда можно принять:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{u}{c}, \text{ или } \operatorname{tg} \varphi = \frac{n-1}{2n}. \quad (18)$$

Для конденсированных ВВ $n = 3$, откуда

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{n} = \frac{1}{3}$$

Что соответствует углу

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{1}{3} = 18^\circ 43'$$

Таким образом, произведен расчёт детонационных характеристик ВВ и рекомендованы формулы определения скорости детонации ВВ, детонационного давления, плотности продуктов взрыва в детонационной волне и скорости разлета продуктов взрыва.

Библиографический список:

1. Зельдович Я.Б., Компанеев А.С. Теория детонации. – М.: Гостехиздат, 1955. – С. 232.
2. Кутузов Б.Н. Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности. – М.: Горная книга, 2009. – 670 с.
3. Методы ведения взрывных работ. Специальные взрывные работы. Под редакцией проф. Белина В.А. – М.: МГГУ. – 563 с.
4. Белин В.А., Горбонос М.Г., Нутфуллоев Г.С., Заиров Ш.Ш., Тухташев А.Б. Буровзрывные работы. Отв. ред.: Норов Ю.Д. – Навои: Издательство «Бухоро», 2017. – 136 с.
5. Баум Ф.А., Станюкович К.П., Шехтер Б.И. Физика взрыва. Изд. 2-е, перераб. Под ред. К.П. Станюковича. – М.: Наука, 1975. – 704 с.
6. Дубнов Л.В., Бухаревич Н.Р., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1988. – 181 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 25-27

INVESTIGATION OF THE DETONATION WAVE MODE IN BOREHOLE EXPLOSIVE CHARGES

¹*Ishankhodzaev Z.K., Director of the Directorate for the construction of the mining and transport complex and infrastructure facilities.*

²*Gaibnazarov B.A., Deputy Dean for Youth Affairs, Faculty of Mining, PhD.*

³*Fathiddinov A.U., Associate Professor at the Department of General Professional and Economic Disciplines, PhD.*

³*Zairova F.Yu., Engineer, ICINT, Department of Innovative Development. E-mail: FY.Zairova@ngmk.uz.*

¹*JSC «Almalyk Mining and Metallurgical Combine». Almalyk, Uzbekistan.*

²*Almalyk branch of Tashkent State Technical University. Almalyk, Uzbekistan.*

³*JSC «Navoi Mining and Metallurgical Company». Navoi, Uzbekistan.*

The detonation velocity of explosive charges is one of its main characteristics. In the article, the mode of detonation waves in borehole explosive charges is investigated. Detonation characteristics of explosives are calculated and formulas for determining the velocity of detonation of explosives, detonation pressure, density of explosion products in the detonation wave and the velocity of dispersion of explosion products are recommended.

Keywords: detonation, shock wave, detonation velocity, explosion products pressure, density, heat, pressure, explosion products velocity.

Bibliography:

1. Zeldovich Ya.B., Kompaneets A.S. Detonation theory. – M.: Gostekhizdat, 1955. – 232 p.
2. Kutuzov B.N. Safety of blasting operations in mining and industry. – M.: Mining Book, 2009. – 670 p.
3. Methods of blasting. Special blasting operations. Edited by prof. Belina V.A. – M.: MGGU. – 563 p.
4. Belin V.A., Gorbonos M.G., Nutfulloev G.S., Zairov Sh.Sh., Tukhtashev A.B. Drilling and blasting operations. Rep. ed.: Norov Yu.D. – Navoi, ed. «Bukhoro», 2017. – 136 p.
5. Baum F.A., Stanyukovich K.P., Shekhter B.I. Physics of explosion. Ed. 2nd, revised Ed. K.P. Stanyukovich. – M.: Nauka, 1975. – 704 p.
6. Dubnov L.V., Bukharevich N.R., Romanov A.I. Industrial explosives. – M.: Nedra, 1988. – 181 p.

TEXNOLOGIK ERITMALARDAN URANNI SORBSIYALASH JARAYONIGA SULFAT IONLARNING TA'SIRINI TADQIQ QILISH



Sharafutdinov U.Z.,
«NKMK» AJ Innovatsion rivojlanish boshqarma Departamenti YaTJEBIM boshliqi, t.f.d., professor



Rajabboyev I.M.,
NDK va TU sirtqi bo'limi dekan o'rinbosari, PhD, dotsent



Qilichov N.B.,
NDK va TU, II – kurs magistranti



Davlatova V.D.,
NDK va TU, II – kurs magistranti

Ushbu maqolada uranni yer ostida tanlab eritishda olingan mahsulotli eritmalardan uranni sorbsiyali ajratib olish jarayoniga sulfat ionlarining catron tarkibidagi uranni miqdoriga salbiy ta'siri, ta'sir miqdori o'rganilgan. Shu bilan birga uranni sorbsiyalash jarayoniga sulfat ionlarini ta'sirini bartaraf qilishning ilmiy natijalari keltirilgan.

Tayanch iboralar: yer ostida tanlab eritish, sorbsiya, anionit, BO020, uran bo'yicha sig'im, tazyiqlovchi, ionlar, sulfat.

В данной статье изучено негативное влияние, эффективность влияния сульфат-ионов на количество урана в сорбенте на процесс сорбционного извлечения урана из растворов продуктов, полученных при селективной плавке урана под землёй. Одновременно представлены научные результаты по устранению влияния сульфат-ионов на процесс сорбции урана.

Ключевые слова: подземное селективное растворение, сорбция, анионит, BO020, урановая ёмкость, подавитель, ионы, сульфат.

O'zbekiston Respublikasi foydali qazilmalarga boy. O'zbekistonning yer osti boyliklari, ayniqsa, nodir, noyob va rangli metallarga boy. Oltin va bir qator nodir metallar zahiralari bo'yicha respublika nafaqat MDH respublikalari, balki jahonda ham yetakchi o'rinni egallaydi. Metallurgiya sanoatining uchta yirik korxonasi – «NKMK» AJ, «Olmalik KMK» AJ va O'zKTJM ushbu metallarning rudalari va kontsentratlarini qayta ishlamoqda va mavjud texnologiyalar yuqori darajadagi tayyor mahsulot olish imkonini bermoqda. Mamlakatimizda qazib olinadigan metallardan biri urandir [1].

Uran zahiralari bo'yicha O'zbekiston dunyoda yettinchi o'rinda turadi, mamlakatimizda uran Qizilqum hududida joylashgan 27 ta konda qazib olinadi. Ulardagi uranning umumiy zaxiralari taxminan 55 ming *tonnaga* baholanmoqda.

Ma'lumki [2], Respublikamizda uran burg'ulash yo'li bilan yer ostidan qazib olinadi. Uran zamonaviy hayotda alohida o'rin tutadi. Yadro energiyasining asosiy elementi va yana bir asosiy energiya elementi – plutoniyni ishlab chiqarish uchun xom ashyo bo'lib, u XX asrning ko'plab buyuk kashfiyotlarida ishtirok etadi.

Uran davlatlararo munosabatlarning ilm-fandan yiroq bo'lgan ko'plab jabhalariga, xususan, xalqaro siyosatga ham jiddiy ta'sir ko'rsatdi.

Qizilqum mintaqasida fizik-kimyoviy texnologiyalar asosida uran qazib olishning rivojlanishi jahon tog'-kon sanoatidagi umumiy tendentsiya bilan uzviy bog'liq bo'lib, iqtisodiy sharoit va xomashyo bozoridagi talabning uzluksiz o'zgarishi fonida yuzaga keladi. Iqtisodiyotimizga boshqa nodir metallarni ishlab chiqarish qatori uranni qazib olish, qayta ishlash va undan keyingi foydalanish ham katta ta'sir ko'rsatmoqda.

Ayni paytda uran ishlab chiqarish texnologiyasida hal qilinmagan muammolar ko'p. Bu muammolardan biri uranning sorbsiya va desorbsiya jarayoniga turli ionlarning salbiy ta'siridir. Yuqoridagilar bilan bog'liq holda ishlab chiqarish bilan bog'liq masalalar, ya'ni ushbu dissertatsiya

mavzusi bo'lgan uran kimyoviy konsentratini olish jarayonida turli depressantlarning ta'sirini hisobga olgan holda mavjud texnologiyalarni takomillashtirish dolzarb hisoblanadi.

Adabiyot ma'lumotlarining tahlili shuni ko'rsatadiki, uranni qazib olish texnologiyasida turli markadagi sorbentlardan foydalangan holda yer osti yuvish texnologiyasidan so'ng sorbsion olish texnologiyasi keng qo'llanilgan. Uranni anionitlar bilan sorbsiyalash uchun u eritmada anionlar shaklida bo'lishi kerak.

Sulfat kislotasi uranli mahsulotli eritmalarda uran sulfat va trisulfat kompleks anionlari shaklida bo'lishi mumkin. Uranni sulfat kislotali tanlab eritishda uran bilan birga qisman halaqit beruvchi ko'plab komponentlarni qisman erishi kuzatiladi, bunda ko'p qo'shimchalar uran bilan birga mahsulotli eritmaga tushadi [3].

Rudada ma'lum miqdorda to'rt valentli uranning borligi tufayli oksidlovchilarni eritmalarga uning oksidlanishi uchun kiritiladi, ular orasida yer ostida tanlab eritish (YOTE), uch valentli temir, natriy yoki kaliy xlorit va boshqalar qo'llaniladi. To'rt valentli uranni miqdori yuqori bo'lgan rudalar uchun oksidlovchilarning qo'shilishi har doim ham shart emas.

Masalan, bu uglerod moddasi bilan bog'liq uranni minerallashtirish rudalariga tegishli. Bundan tashqari, uranni tarkibida sulfat kislotasi miqdori oshgan eritmalar bilan gidrolizlashda uch valentli temirning yetarlicha yuqori miqdori kuzatiladi, bu esa oksidlanish-tiklanish potentsialining qiymati 400-550 mV oralig'ida saqlanishini ta'minlaydi. Bunda, yer usti va yer osti komplekslari orasida sulfat kislotani ko'p martali sirkulyatsiyalash jarayonida uch valentli temirning tarkibini oshishi kuzatiladi. Tanlab erituvchi eritmalariga oksidlovchilarni kiritilishi mahsulotli eritmalarini qo'shimchalar bilan zararlanishi oshadi. Shu sababli ammiak bilan eritmalarini pH = 7-8 ga neytrallashtirishda 2-4% uran tarkibiga ega bo'lgan juda iflos kimyoviy konsentratlar olinadi. Shuning uchun kuchli asosiy anionitlar yordamida sorbsiyalash jarayonlaridan yer ostida tanlab eritishdan keyin uranni kambag'al mahsulotli eritmalardan olish uchun keng foydalaniladi [4].

Anionitlarda uranni sorbsiyalashda birga keluvchi qo'shimcha aralashmalar turlicha. Shunday qilib, ishqoriy va ishqoriy yer metallarni kationlari hamda ikki valentli mis, temir, kobalt va marganes ionlari sorbsiyalanmaydi. Bir qator anionlar, aksincha, anionitlarda yaxshi sorbsiyalanib, ajratib olinuvchi uran ionini bilan sorbsiyalanadi. Bularga sulfat, nitrat, xlorid, fluorid va fosfat anionlari kiradi. Bu anionlar tazyiqlovchi qo'shimchalarga kiradi. Bunda kuchli asosli anionitlarga o'xshash bo'lgan ionlar mavjud, ular anionitlarda vaqt o'tishi bilan to'planib, ularni zararladi, bundan tashqari foydali qazilmalarni, xususan uranni ajratib olish qobiliyati yo'qotiladi [4].

Ushbu ionlardan sulfat ionlari ham sorbsiyalash jarayoniga ta'sirini turli miqdorlarida ko'rishimiz mumkin.

Uranni anionitlar bilan sorbsiyalash uchun u eritmada anionlar shaklida bo'lishi kerak. Eritmaning pH muhiti miqdoriga qarab uranni sulfat kislota bilan yer ostida tanlab eritishda uran disulfat va trisulfat kompleks anionlari $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$ va $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$, qisman uranil sulfat UO_2SO_4 ko'rinishida eritmaga o'tadi:

$pH > 2$: uranil sulfat UO_2SO_4 ,

$1 < pH < 2$: uranil disulfat kompleksi $[UO_2(SO_4)_2]^{2-}$,

$pH < 1$: uranil disulfat kompleksi $[UO_2(SO_4)_3]^{4-}$,

Eritmalarda sulfat ionini sulfat kislotali yoki bisulfat ionini sifatida bo'lishi mumkin. Ushbu anionlarning barchasi kuchli asosiy anionitlarda sorbsiyalanishi mumkin. Natijada, anionitning uran bilan to'yinganlik darajasi pasayadi va regeneratlarning qo'shimcha ionlar bilan ifloslanishi sodir bo'ladi.

BO020 anionitda uran va unga tegishli aralashmalar sorbsiyasi bo'yicha tadqiqotlar statik sharoitda sulfat kislotali eritmalarda sulfat shaklidagi BO020 sulfat ionlarining konsentratsiyasi 7 g/l bo'lgan eritmalarda o'tkazildi.

Havo bilan aralashiriluvchi 10 l hajmdagi pachuklarda o'rganilgan komponentlarning sulfat kislota eritmalarni BO020 anioniti bilan pH = 1,2 vaqti – 65 soat davomida, qatronlar hajmining eritma hajmiga nisbati 1:100 (2 ml qatron va 2000 ml eritma) va neytral sulfatlarning konsentratsiyasi 7 g/l. O'rganilgan eritmalarga neytral sulfatlarning kiritilishi o'rtacha 10 g/l sulfat ionlaridan iborat Sugrali koni yer ostida tanlab eritishda olingan mahsulotli eritmalarni ishlab chiqarish eritmalariga yaqinlashtirish zarurati bilan bog'liq bo'lib, ular 3 g/l erkin sulfat kislota bilan olib boriladi. Eritmadagi sulfat ionlarining konsentratsiyasi natriy sulfat va sulfat kislota kiritilishi bilan saqlanib qoldi.

Ionlarning uranning sorbsiyasiga ta'sirini o'rganayotganda eritmaga natriy tuzlari yoki kislotalar shaklida anionlar, sulfat tuzlari shaklida kationlar, ammoniy-temir kvars $Fe(NH_4)(SO_4) \cdot 12H_2O$ shaklida temir qo'shiladi [5].

O'rganilgan komponentlarni sorbsiyalash uchun BO020 anionitlari ishlatilgan. Tajribadan oldin anionitdan 0,4 mm o'lchamdagi elakdan o'tkazildi, shundan so'ng qatron suvga namlantirildi va 150 g/l konsentratsiyali sulfat kislota eritmasi bilan sulfat shakliga aylantirildi. Sulfat shaklidagi anionit barcha tajribalarda ishlatilgan, bundan tashqari dastlabki eritmada sulfat kislota konsentratsiyasiga bog'liqligi o'rganilgan.

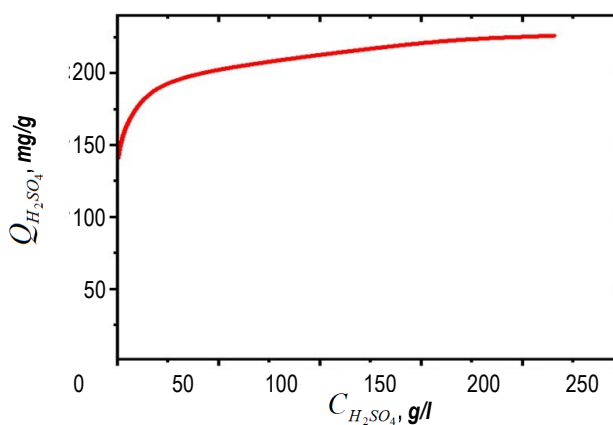
Turli aralashmalar konsentratsiyasining uran bo'yicha anionitning muvozanat konsentratsiyasiga ta'siri o'rganildi. BO020 anionitning sulfat ionlari bo'yicha sig'imini eritmada sulfat kislotalarning muvozanat konsentratsiyasiga bog'liqligini o'rganish natijalari 1-jadval va 1-rasmda keltirilgan.

1-jadval va 1-rasmdan ko'rinib turibdiki, anionit sulfat ionlariga katta yaqinlikka ega. Sulfat kislotalari 180-200 g/l konsentratsiyasida qatronni sulfat ionlari bo'yicha sig'imi 230 mg/g ni tashkil qiladi. Eritmada sulfat kislotalari konsentratsiyasi past 1,2 g/l ga teng bo'lsa, sulfat ionlari bo'yicha sig'imi yuqori va 140 mg/g ni tashkil qiladi.

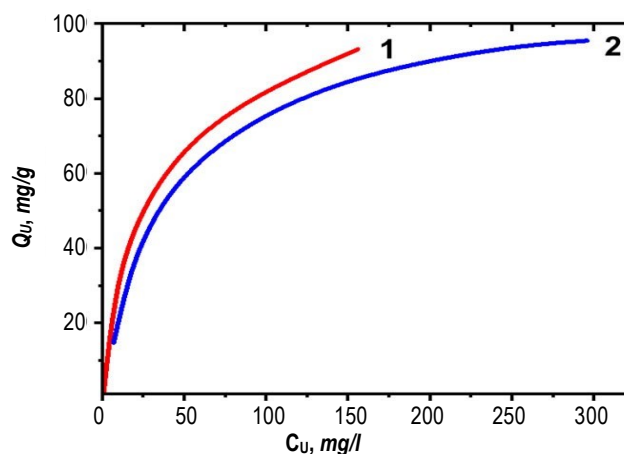
Eritmadagi neytral sulfatlarning ta'siri 2-rasmda keltirilgan bo'lib, bu sorbsiyaning ikkita izotermasini ko'rsatadi. Birinchisi, sulfat ionlari bilan 7 g/l miqdorida natriy sulfat ishtirokida uranning sorbsiyasi; ikkinchisi

1-jadval
BO020 anionitning sulfat ionlari bo'yicha hajmining eritmadagi sulfat kislota konsentratsiyasiga bog'liqligi

№	Sulfat kislotalari konsentratsiyasi, g/l	SO ₄ ²⁻ ionini qatron sig'imi, mg/l
1.	0,005	108,4
2.	0,24	116
3.	1,22	146
4.	7,1	187
5.	11,52	178
6.	19,1	194
7.	51,8	206
8.	84,5	218
9.	105	218
10.	143	206
11.	181	234
12.	224	227



1-rasm. BO020 anioniti bilan sulfat ionlarini sorbsiyalash izotermasi



2-rasm. Eritmadagi neytral sulfatlar konsentratsiyasini I – 0 g/l, II – 7 g/l da BO020 anioniti bilan uranni sorbsiyalash izotermalari

natriy sulfatsiz kiritilgan. Sorbsiya vaqtida kislotalilik pH = 1,2 ni tashkil qildi.

2-rasmdan kelib chiqadiki, agar eritmada sulfat ionini miqdori 7 g/l tashkil qilsa anionitni uran bo'yicha sig'imi kamayadi.

Shunday qilib, eritmada uranni konsentratsiyasi 0,005 g/l bo'lganda anionitni uran bo'yicha sig'imi 25% ga, 0,150 g/l bo'lganda anionitni uran bo'yicha sig'imi 9% ga kamayadi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Sharafutdinov U.Z., Rajabboyev I.M., Qodirov A.O', Khalilova H.R. *Texnologik eritmalaridan uranni sorbsiyali ajratib olishda xlor ionlarini ta'sirini tadqiq qilish. O'zbekiston konchilik xabarnomasi.* – Navoiy, 2022. – № 1. 64-66-b. (05.00.00.№ 7).
2. Громов Б.В. *Введение в химическую технологию урана.* – М.: Атомиздат, 1978. – С. 129.
3. Аликулов Ш.Ш., Курбанов М.А., Шарафутдинов У.З., Ражаббоев И.М., Юлдашев Ш.Ш. *Исследования поведения кремнезёма и органики в продуктивных растворах подземного выщелачивания урана и их влияние на процесс сорбции урана. Универсум: технические науки.* – Москва, 2023. – № 2 (4). – С. 22-27. (02.00.00; № 1).
4. Sharafutdinov U.Z., Rajabboyev I.M., Qodirov A.O', Khalilova H.R. *Uranni qayta ishlash jarayonlarida kremniy ionlari ta'sirini tadqiq qilish. O'zbekiston konchilik xabarnomasi.* – Navoiy, 2023. – № 1. 81-83-b. (05.00.00.№ 7).
5. Шарафутдинов У.З., Ражаббоев И.М., Эшонова Г.А., Журакулов А.Р. *Исследования влияния нитрат ионов на процесс получения урана. Универсум: технические науки.* – Москва, 2023. – № 5 (110). – С. 22-27. (02.00.00; № 5).

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 28-30

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SULFATE IONS ON THE PROCESS OF URANIUM SORPTION FROM PROCESS SOLUTIONS

¹Sharafutdinov U.Z., Chief of the Department of Innovation Development, DSc., Professor.
²Rajabboyev I.M., Deputy Dean of the extra-mural department, PhD, Associate Professor.
³Kilichov N.B., II - graduate student.
⁴Davlatova V.D., II - graduate student.

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

In this article negative impact, the effectiveness of the influence of sulfate ions on the amount of uranium in the sorbent on the process of sorption extraction of uranium from product solutions obtained by selective in-situ leaching of uranium is studied. Moreover, scientific results on elimination of the influence of sulphate ions on the uranium sorption process are presented.

Keywords: in-situ selective leaching, sorption, anionite, BO020, uranium capacity, suppressor, ions, sulfate.

Bibliographic list:

1. Sharafutdinov U.Z., Rajabboyev I.M., Kadirov A.O', Khalilova H.R. *Study of the effect of chlorine ions in the sorption extraction of uranium from technological solutions. Mining bulletin of Uzbekistan.* – Navoi, 2022. – No. 1, pp. 64-66. (05.00.00. No. 7).
2. Gromov B.V. *Introduction to the chemical technology of uranium.* – М.: Атомиздат, 1978. – 129 p.
3. Alikulov Sh.Sh., Kurbanov M.A., Sharafutdinov U.Z., Razhabboev I.M., Yuldashev Sh.Sh. *Studies of the behavior of silica and organics in productive solutions of underground uranium leaching and their influence on the process of uranium sorption. Universe: technical sciences.* – Moscow, 2023. – No. 2 (4), pp. 22-27. (02.00.00; No. 1).
4. Sharafutdinov U.Z., Rajabboyev I.M., Kadirov A.O', Khalilova H.R. *Study of the influence of silicon ions in uranium processing processes. Mining bulletin of Uzbekistan.* – Navoi, 2023. – No. 1, 81-83. (05.00.00 No. 7).
5. Sharafutdinov U.Z., Razhabboev I.M., Eshonova G.A., Zhurakulov A.R. *Research on the influence of nitrate ions on the process of uranium production. Universe: technical sciences.* – Moscow, 2023. – No. 5 (110). – pp. 22-27. (02.00.00; No. 5).

URANNI YER OSTIDA TANLAB ERITMAGA O'TKAZISHDA GIDRODINAMIK JARAYONLARNI TADQIQOT QILISH



Aliqulov Sh.Sh.,
NDK va TU prorektori,
t.f.d., professor



Roziqov R.J.,
NDK va TU «Oliy matematika va axborot
texnologiyalari» kafedrasini
assistenti

Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishda gidrodinamik jarayonlar nazariy ko'rib chiqilgan. Uranni tanlab eritmaga o'tkazish usulida sust o'tkazuvchan va suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer osti suvlari oqimi, boshlang'ich filatlanish gradiyentini oqim jarayoniga ta'siri o'rganildi. Suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishni gidrodinamik parametrlari tahlil qilindi. Uranni tanlab eritmaga o'tkazish usulida so'rib oluvchi quduqning sarf tenglamalari ishlab chiqildi. So'rib oluvchi quduqning sarf tenglamalari yordamida hisoblash dasturi tuzildi.

Tayanch iboralar: tog' jinslari, oqim, quduq, sath, dinamik sath, gidravlik qiyalik, filtratsiya, depression voronka, quduqning to'la sarfi, dastur, boshlang'ich shartlar

Теоритически рассмотрены гидродинамические процессы при подземном выщелачивании урана. Изучено влияние начального градиента фильтрации на процесс течения подземного водотока слабопроницаемых и малонасыщенных урановых руд методом подземного выщелачивания урана. Проанализированы гидродинамические параметры селективного растворения подземных урановых руд низкой водонасыщенности. Разработаны уравнения расхода абсорбционной скважины методом подземного выщелачивания урана. Создана программа расчёта с использованием уравнений расхода всасывающей скважины.

Ключевые слова: горные породы, поток, скважина, уровень, динамический уровень, гидравлическое давление, фильтрация, депрессионная воронка, общий расход скважины, программа, начальные условия.

Yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usuli foydali qazilmani qazib olishning an'anaviy va qimmat bo'lgan usullari oldida bir qator afzalliklarga ega. Yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usuli korxonalarini barpo etishda kapital xarajatlarini 4 baravargacha kamaytirish va konlarning qurilish vaqtini qisqartirish, mehnat unumdorligini bir necha barobarga oshirish va shunga mos ravishda ish o'rinlarini optimallashtirish orqali tayyor mahsulot tannarxini kamaytirish imkonini beradi. Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usuli bilan qazib olishda barqaror o'sish oxirgi o'n yil ichida o'tacha 30% ga oshdi. Uranga bo'lgan talabning bunday tez o'sishi olimlar oldiga ishlab chiqarish amaliyotida nazariy va amaliy jihatdan muhim ahamiyatga ega bo'lgan no'anaviy texnologiyalarni yaratish vazifasini qo'yadi. Shu sababli, qiyin tuzilishga ega uran ma'danlarini qazib olishga jalb qilish alohida ahamiyat kasb etadi [1].

Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishning unumdorligini oshirish, sust o'tkazuvchi uran ma'danlarini yer ostidan tanlab eritmaga o'tkazish, yer ostidan tanlab eritmaga o'tkazish jarayoni va turli xil qazib olish tizimlarini boshqarish, suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer ostidan tanlab eritmaga o'tkazish, uran ma'danlari zaxiralarini suvli qatlami bosimi past joylarda qazib olish texnologiyasini yaratish muhim ahamiyat kasb etadi [2].

Bugungi kunda uranni yer ostidan tanlab eritmaga o'tkazish usuli chuqur joylashgan uran ma'danlarini qazib olish jarayonlari yildan yilga murakkablashib bormoqda va sust o'tkazuvchi va suvga kam to'yingan ma'danlarni yer ostidan tanlab eritmaga o'tkazish usulida qazib olish muammo tug'dirmoqda. Bunday muammolarning yechimlaridan biri gidrodinamik rejimni boshqargan holda suvga kam to'yingan va sust o'tkazuvchan uran ma'danlarini qazib olish, qatlarni o'tkazuvchanligini

oshirish uchun yuqori faollashtiruvchi moddalarni qo'llashdan iborat.

Uranni yer ostidan tanlab eritmaga o'tkazish texnologiyasida yer osti metallarini qazib olish gidrodinamik rejimga bog'liq bo'lib, unda jins massivning g'ovakli hajmida suyuqlikni filtrlash rejimida oqimning ajralmasligi bilan tavsiflanadi. Suv osti jinslarining kesimlari (maydoni) orqali suyuqlik oqimining sarfi o'zaro teng bo'lishi va jinslarning donalari orasida suyuqlik harakati qiyin xususiyatga ega.

Tadqiqotning maqsadi sust o'tkazuvchan va suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usulida yer osti suvlarini gidrodinamikasini va sarfini o'rganish.

Yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usuli (YOTEO' usuli) – ma'danlarning foydali komponentlarini, ularga kimyoviy reagentlar ta'sir ettirish bilan yotgan joyida tanlab yer ostida ko'chish holatiga keltirish bilan qattiq foydali qazilmalarni qazishning geotexnologik usuli.

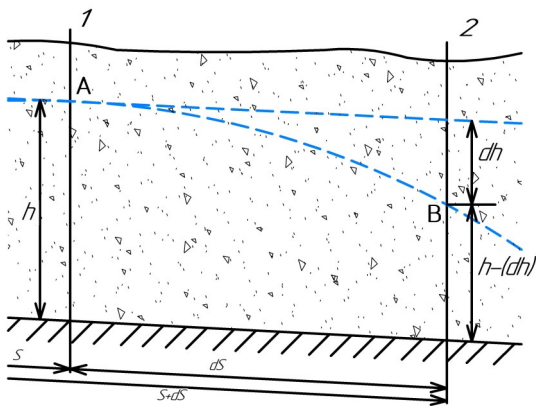
Texnologik quduqlar – ishlov berish geotexnologik tartibotini amalga oshirish uchun ishlatiladigan yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish quduqlari.

Yuboruvchi quduqlar – ma'dan jismini ochish va unga ishchi eritmalarini berish uchun mo'ljallangan quduqlar.

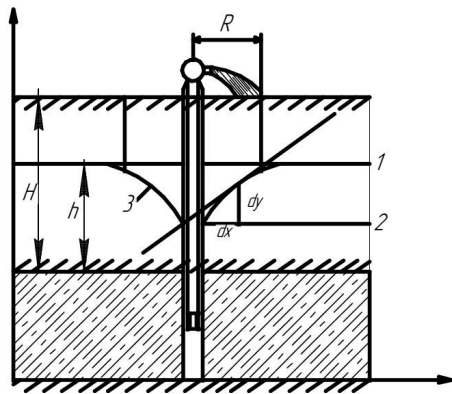
So'rib oluvchi quduqlar – ma'dan jismini ochish va texnologik eritmalarini (mahsuldor, qaytariladigan) yer yuzasiga chiqarish uchun mo'ljallangan texnologik quduqlar.

Kuzatish quduqlari – ishlanayotgan uchastkalarda mahsuldor joy rudalaridan foydali komponentni chiqarish darajasini kuzatish, gidrodinamikasini kuzatish va ma'danlar sig'diradigan jinslar texnogen o'zgarishlarini tekshirish maqsadida burg'ulangan quduqlar.

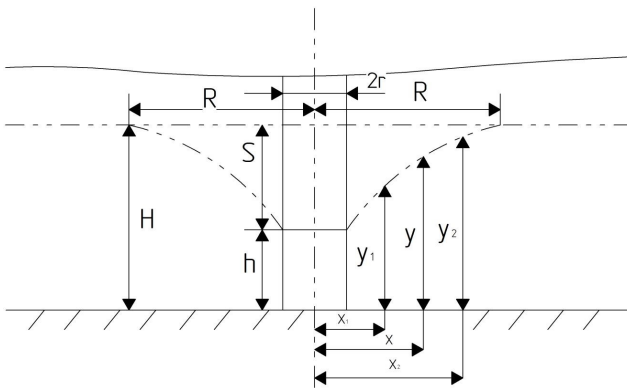
Yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish jarayonida konlarning suvliigi kabi gidrogeologik omillar va grunt suvlarining yotishini artezian xarakteri



1-rasm. Tog' jinslari qatlamlarida vujudga kelgan yer osti suvlarining yo'nalishdagi harakati



2-rasm. So'rib oluvchi quduqda depression voronka va eritma sathining o'zgarishi



3-rasm. So'rib oluvchi quduqda eritmaning to'la sarfini hisoblash

ahamiyati katta, tabiiy oqimlarning zahiralari va sarfi, yer osti suvlarining harorati va kimyosi aniq ahamiyatga ega.

Konlarni guruhlash va guruhlarga ajratish uchun mahsuldor gorizontalda suv o'tkazuvchan rudalar va tog' jinsi o'rtasidagi hajmiy munosabat va rudaning suv o'tkazuvchanligi asos bo'lib xizmat qiladi. Geologik va texnologik tasniflarda asosiy mezon sifatida taklif qilingan bog'lanishlar bilan jinslarni solishtirilishi ularning suv o'tkazuvchanligiga qarshiligi bilan almashtirildi.

Tog' jinslarining mavjud yoriqlari va boshqa bo'shliqlari orqali suv chiqarib yuborish xususiyatiga suv o'tkazuvchanlik deyiladi. U birga teng va m/sutka birlikda o'lchanadigan naporli gradiyentda jins orqali o'tuvchi

suv filtratsiyasi tezligiga teng filtratsiya (yoki suv o'tkazuvchanlik ko'effitsienti) bo'yicha aniqlanadi [3].

Tog' jinslari qatlamlarida vujudga kelgan yer osti suvlarining ma'lum yo'nalishdagi harakati yoki filtratsiyalanishi suv oqimining ikki nuqtasi balandliklari orasidagi farqqa va nuqtalar orasidagi masofaga bog'liq. Filtratsiya bosimsiz va bosimli bo'lishi mumkin. Bosimsiz filtratsiya grunt suvlariga, bosimli filtratsiya artesian suvlariga xos. Tog' jinslari qatlamlarida vujudga kelgan yer osti suvlarining yo'nalishdagi harakati 1-rasm da ko'rsatilgan.

Aytaylik, grunt suvi A nuqta yo'nalishdan B nuqta yo'nalishi bo'ylab harakat qilmoqda. Suvning A nuqtadagi balandligi h_1 , B nuqtadagi balandligi h_2 , nuqtalar orasidagi masofa dS bo'lsin. Unda nuqtalar orasidagi farq $h_1 - h_2 = dh$ bo'ladi. Tabiatda bu farq qancha katta bo'lsa, grunt suv oqimining tezligi ham shuncha katta bo'ladi. Fanda dh/ds nisbat gidravlik qiyyalik yoki gidravlik gradiyent deb yuritiladi [4].

Nasoslar yordamida quduqlardan yer osti suvlarining so'rib chiqarish jarayonida quduqlarni tomonlari bo'ylab yer osti suvining tabiiy sathi (H) pasaya boradi.

Bu pasayish quduq joylashgan joydan boshlab R radius kengligida sekin-asta qonuniy ravishda h , h_1 , h_2 qatlamlari darajasida yuz beradi va oxirgi pasayish yer osti suvining dastlabki tabiiy satigacha borib yetadi.

Yer osti suvlari sathlarining ana shu h , h_1 , h_2 qiymatlari darajasida pasayishi natijasida vujudga kelgan egri yuz *depression voronka* deb ataladi. Yer osti suvini quduqdan nasoslar orqali chiqarilguncha bo'lgan sathi - *statik*, suvni quduqdan chiqargandan keyingi paydo bo'lgan sathi *dinamik* yoki quduqning ish sathi deb (2-rasm), quduqdan ma'lum vaqt birligida so'rib chiqarilayotgan suv miqdorini esa quduqning suv sarfi yoki debiti deb yuritiladi (3-rasm).

Mukammal bo'lgan quduqlarga kelayotgan suv oqimining sarfi to'g'ri chiziqli filtratsiya qonuniga binoan:

$$Q = FK_{\phi} J$$

Agar depression voronkaning y , x nuqtalari o'rni to'g'ri burchakli koordinatlar sistemasida olib, y nuqtadan ordinatlar o'qi bo'ylab silindr chizsak, bu silindrning kesim yuzi quduq tomonga yo'nalgan va quduq o'qidan x masofadagi grunt suvlari oqimining kesim yuzi:

$$F = 2\pi xy \text{ ga teng.}$$

Bu kesim yuzi orqali quduqqa oqib kelayotgan suv sarfi bosim gradiyenti:

$$J = \frac{dy}{dx} \text{ bo'lganda } Q = 2\pi xy \cdot K_{\phi} \cdot \frac{dy}{dx} \text{ bo'ladi.}$$

Bu ifodada o'zgaruvchilarni ajratib, uni I kesimdan II kesimgacha bo'lgan oraliqda integrallansa, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$\frac{Q}{2\pi K_{\phi}} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{x} = \int_{y_1}^{y_2} y dy$$

$$\frac{Q}{2\pi K_{\phi}} \ln \frac{x_2}{x_1} = y_2^2 - y_1^2$$

Tenglama mukammal quduqdan suvni so'rib olish jarayonidagi egri depression tenglamasi hosil bo'ladi.

Tenglamada $r \leq x \leq R$ $x_1 = r$ (quduqqa o'rnatilgan filtr radiusi), $x_2 = R$ (depression voronkasining radiusi), $h \leq y \leq H$ $y_1 = h$ (suv o'tkazmas qatlamdan yuqoridagi suv ustunining balandligi), $y_2 = H$ (suv o'tkazmas qatlamdan boshlab hisoblangan suvning balandligi) deb olinadigan bo'lsa, mukammal quduqqa oqib kelayotgan yer osti suv sarfini aniqlash formulasi hosil bo'ladi [5-6]:

$$Q = \pi \cdot K_{\phi} \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln r}$$

- mukammal quduqning to'la sarfini hisoblash tenglamasi.

Quduqdagi suv sathining S qiymatiga kamayishini (pasayishini) va $H^2 - h^2 = (2H - S)S$ ekanligini hisobga olinadigan bo'lsa, unda:

```

1
2 #include <math.h>
3
4 // Maqsad: Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishda suv sarfini hisoblash
5 #include <iostream>
6 #include <math.h>
7 using namespace std;
8 int main()
9 {
10     float Kf, R, r, H, S, Q1, Q2;
11     cout << "Kf ning qiymatini kiriting = "; cin >> Kf;
12     cout << "R ning qiymatini kiriting = "; cin >> R;
13     cout << "r ning qiymatini kiriting = "; cin >> r;
14     cout << "H ning qiymatini kiriting = "; cin >> H;
15     cout << "S ning qiymatini kiriting = "; cin >> S;
16     Q1 = 3.14*Kf*(((2*H-S)*S)/(log(R)-log(r)));
17     Q2 = 1.37*Kf*(((2*H-S)*S)/(log(R)-log(r)));
18     cout << "Q1 =" << Q1 << endl;
19     cout << "Q2 =" << Q2 << endl;
20     return 0;
}
    
```

4-rasm. Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishda so'rib olinadigan eritma miqdorini hisoblash dasturi

$$Q = \pi \cdot K_{\phi} \frac{(2H - S)S}{\ln R - \ln r}$$

tenglama hosil bo'ladi.

$$Q = 1,37 \cdot K_{\phi} \frac{(2H - S)S}{\ln R - \ln r}$$

– mukammal quduqning to'la sarfini hisoblash (10 logarifmli ifodasi) tenglamasi.

- Bu erda: Q – suv sarfi, m³/sutka;
- H – suvli qatlam qalinligi, m;
- h – dinamik sath, m;
- r – quduq radiusi, m;

- R – ta'sir radiusi, m;
- K_φ – filtratsiya koeffitsiyenti, m/sutka.

Sust o'tkazuvchan va suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usulida yer osti eritmalarini Dev-C++5.11 dasturi yordamida hisoblash dasturi 4-rasm da ko'rsatilgan. Uranni tanlab eritmaga o'tkazish usulida sust o'tkazuvchan va suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer osti suvlari oqimi, boshlang'ich filltanish gradiyentini oqim jarayoniga ta'siri o'rganildi. Suvga kam to'yingan uran ma'danlarini yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishni gidrodinamik parametrlari tahlil qilindi.

Uranni tanlab eritmaga o'tkazish usulida so'rib oluvchi quduqning sarf tenglamalari ishlab chiqildi. So'rib oluvchi quduqning sarf tenglamalari yordamida hisoblash dasturi tuzildi.

Bibliografik ro'yhat:

1. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. – М.: Недра, 1995. – 154 с.
2. Арнс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 335 с.
3. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная Б 27 гидромеханика: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 416 с.
4. Бернадинер М.Г., Ентов В.М. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей. – М.: Наука, 1975. – 199 с.
5. Бойцов В.Е. Геология месторождения урана. – М.: Недра, 1989. – 302 с.
6. Калабин А.И. Добыча полезных ископаемых. – М.: АТОМИЗДАТ. 1981. – 304 с.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФЛОТАЦИИ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ «КАЛЬМАКЫР» И «ЁШЛИК-1» С ОБОРОТНЫМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ



Якубов М.М.,
профессор кафедры
«Металлургия»
АФ НИТУ «МИСиС», д.т.н.



Джумаева Х.Ю.,
базовый докторант
АФ НИТУ «МИСиС»



Хамидуллаев Б.Н.,
начальник
Центра ГТКПМС ГУ «ИМР»



Ёкубов О.М.,
ассистент кафедры
«Металлургия» АФ НИТУ «МИСиС»

Maqolada rangli metallurgiya korxonalaridan aylanma suvni tozalash usullari, shu jumladan neytrallashtiruvchi reagentlarni etkazib berish, ularning dozalari qayta ishlangan suvning elektrokimyoviy salohiyatiga qarab sozlangan.

Tayanch iboralar: qayta ishlangan suv, qoldiqdami dekantatsiya qilish, flotatsiya, yopiq suv aylanishi, pasta quyuvqlash, quruq saqlash.

В статье описываются способы очистки оборотных вод предприятий цветной металлургии, включающие подачу обезвреживающих реагентов, дозировка которых корректируется по электрохимическому потенциалу обрабатываемой оборотной воды.

Ключевые слова: оборотная вода, декантация хвостов, флотация, замкнутый водооборот, пастовое сгущение, сухое складирование.

Оборотное водоснабжение – система повторной подачи отработанной воды на производственные нужды после очистки, охлаждения и обработки. Оборотное водоснабжение применяется в целях экономии воды в производстве.

Значительные потери извлечения металлов и качества концентрата могут возникнуть в тех случаях, когда при замкнутом водообороте на обогатительных фабриках, не учитывается комплексное регулирование водного режима. Изменение качества воды приводит к снижению стоимости конечной продукции (концентрата) [1-3].

Система водоснабжения должна быть, как правило, с оборотом воды для всего промышленного предприятия или в виде замкнутых циклов для отдельных цехов, при этом следует предусматривать необходимую очистку сточных вод, обработку и повторное их использование.

Применение замкнутого водооборота на предприятиях имеет ряд особенностей, зависящих непосредственно от многих факторов, таких как:

- ионный состав используемых природных вод;
- вещественный состав перерабатываемых руд;
- разнообразие применяемых флотационных реагентов.

Полную очистку промышленных сточных вод существующими методами на функционирующих очистных сооружениях обеспечить достаточно сложно, т.к. данный процесс является энергоёмким и дорогостоящим [2].

Схемы прямоточного и последовательного использования воды на производственные нужды со сбросом очищенных сточных вод в водоем следует допускать только в случаях невозможности или нецелесообразности использования воды в системе оборотного водоснабжения.

Стоит отметить, что из-за низких содержаний ценного компонента в рудах и высоких требований к качеству конечных продуктов технология обогащения вольфрамовых руд имеет свои специфические особенности.

К таким особенностям можно отнести:

- многостадийность и разветвлённость технологических схем;
- особенности вещественного состава вольфрамовых руд;
- применение термической обработки черновых концентратов, так называемая «пропарка» [3].

Система водоснабжения обогатительных фабрик, включает в себя ряд замкнутых циклов оборотного водоснабжения отдельных цехов с возвратом всех или части очищенных или отработанных вод через общий пруд хвостохранилища или иные очистные сооружения. Нормативные требования к качеству воды, используемой в системах оборотного водоснабжения обогатительных фабрик для руд цветных металлов, приведены. Дальнейшее совершенствование схем оборотного водоснабжения, применение внутрифабричного водооборота и подача хвостов обогащения на складирование в пульпе высокой концентрации или в сухом виде являются задачами первостепенной важности не только потому, что способствуют экономии воды и защите водоемов от загрязнения, но также увеличивают извлечение продуктов обогащения и тем самым улучшают экономические показатели обогатительных фабрик.

Выбор схемы оборотного водоснабжения следует производить в зависимости от типа руды, технологии обогащения, мощности источника водоснабжения и т. д.

Для осветления хвостов по схемам на обогатительных фабриках применяются радиальные сгустители с периферическими и центральными приводами. Принцип действия сгустителей основан на использовании сил тяжести твёрдых частиц пульпы. Особенностью систем оборотного водоснабжения углеобогатительных фабрик является то, что они одновременно с очисткой воды должны осуществлять обогащение шламов, состоящих в основном из углей мелких классов.

Система оборотного водоснабжения углеобогатительных фабрик состоит из различных аппаратов и устройств, осуществляющих

классификацию, сгущение, обогащение и обезвоживание шламов и продуктов их разделения, а так же осветления шламовых вод. Число операций только по обработке шламовой воды без учёта очистки сточных вод колеблется от 4 до 10 [4].

Степень извлечения и качество концентрата могут падать вследствие сокращения использования свежей воды при переходе к таким методам складирования хвостов как пластовое сгущение или сухое. Такие методы обращения с хвостами приводят к более коротким замкнутым водным контурам с накоплением вредных компонентов в воде с точки зрения процесса обогащения. Для эффективной эксплуатации предприятия, важно понимать, какое качество воды необходимо для флотации тех или иных минералов.

Важно также оценить какое влияние различные методы складирования хвостов, местные климатические условия, а также требования к качеству и количеству воды окажут на степень извлечения ценных компонентов [4-7].

Качество используемых технологических вод имеет решающее значение для процесса флотации. Существующие методы повторного использования и смешивания водных потоков разного качества в единый поток, не всегда позволяют достичь высокой степени извлечения и производства концентрата высокого качества. Достоверная информация о качестве и количестве технологической воды необходима для минимизации изменений pH, содержания органических веществ, взвешенных частиц, прозрачности, ионного состава, остаточного содержания реагентов и т.п., так как они могут повлиять на эффективность флотации [8, 9].

С целью изучения влияния остаточных концентраций реагентов в оборотной воде на технологические показатели основной флотации руд месторождений «Кальмакыр» и «Ёшлик-1», проведены опыты с возвратом воды от предыдущего опыта. Обратная вода, полученная при декантации хвостов, использовалась при измельчении руды последующих опытов.

Свежая вода использовалась для поддержания плотности флотации и смыва концентрата. В данной работе отстоявшаяся вода хвостов флотации применялась в качестве оборотной воды при флотации руды, как отмечено в работе [10].

Значительные потери извлечения металлов и качества концентрата могут возникнуть в тех случаях, когда при замкнутом водообороте на обогатительных фабриках, не учитывается комплексное регулирование водного режима.

Изменение качества воды приводит к снижению стоимости конечной продукции (концентрата).

Степень извлечения и качество концентрата могут падать вследствие сокращения использования свежей воды при переходе к таким методам складирования хвостов как пластовое сгущение или сухое складирование [11].

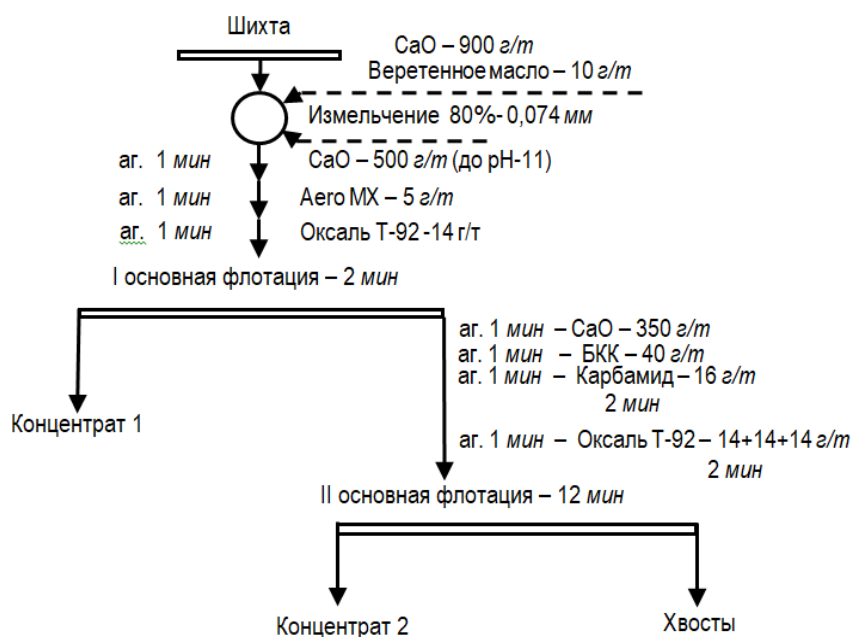


Рис. 1. Схема флотации с оборотом воды по базовой схеме

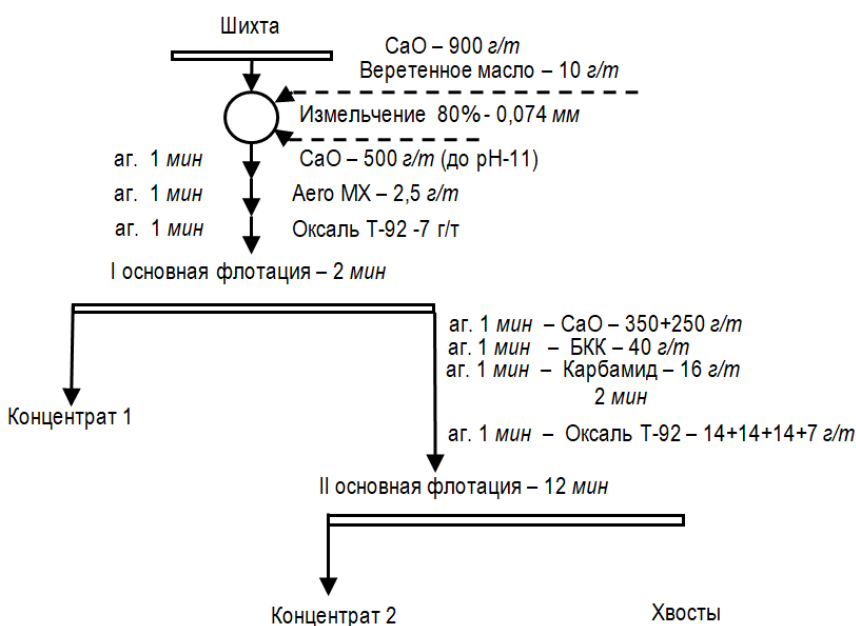


Рис. 2. Схема флотации с оборотом воды и частичной экономией реагентов

Такие методы обращения с хвостами приводят к более коротким замкнутым водным контурам с накоплением вредных компонентов в воде с точки зрения процесса обогащения.

Для эффективной эксплуатации предприятия, важно понимать, какое качество воды необходимо для флотации тех или иных минералов. Важно также оценить какое влияние различные методы складирования хвостов, местные климатические условия, а также требования к качеству и количеству воды окажут на степень извлечения ценных компонентов. Очистка сточных вод и организация замкнутых циклов водоснабжения предприятий металлургического производства, выбор и обоснование режимов кондиционирования водно-минеральных систем при обогащении алмазосодержащих

Результаты опытов флотации с оборотным водоснабжением

Наименование продукта	Выход, %	Содержание						Извлечение, %					
		Cu, %	Au, г/т	Ag, г/т	Mo, %	S _{общ.} , %	Fe, %	Cu	Au	Ag	Mo	S _{общ.}	Fe
Исходная руда		0,25	0,26	1,25	0,034	0,00							
Серия 1:1													
Концентрат 1 основной	1,3	12,432	9,47	8,09	0,108	12,332	12,011	64,7	35,0	7,9	37,1	6,9	2,3
Концентрат 2 основной	18,6	0,379	0,518	2,701	0,005	10,878	18,08	28,2	27,4	37,9	24,6	86,5	49,4
Черновой концентрат	19,9	1,17	1,10	3,05	0,01	10,97	17,68	92,9	62,4	45,8	61,8	93,37	51,66
Хвосты Cu-Mo флот.	80,1	0,022	0,165	0,895	0,0018	0,193	4,101	7,1	37,6	54,2	38,2	6,6	48,3
Исходная руда	100,0	0,25	0,35	1,32	0,00	2,33	6,80	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Серия 1:2													
Концентрат 1 основной	2,1	6,943	3,219	5,295	0,062	8,051	15,5	61,6	23,7	8,9	39,4	8,5	4,8
Концентрат 2 основной	17,8	0,4	0,505	2,39	0,004	9,659	18,122	30,2	31,7	34,4	21,7	86,9	47,6
Черновой концентрат	19,9	1,09	0,79	2,70	0,01	9,49	17,85	91,8	55,4	43,4	61,1	95,43	52,36
Хвосты Cu-Mo флот.	80,1	0,024	0,158	0,875	0,0016	0,113	4,04	8,2	44,6	56,6	38,9	4,6	47,6
Исходная руда	100,0	0,24	0,28	1,24	0,003	1,98	6,79	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Серия 1:3													
Концентрат 1 основной	3,1	6,756	3,041	5,345	0,052	8,611	11,121	78,7	32,0	12,9	42,8	11,8	4,7
Концентрат 2 основной	18,0	0,222	0,436	2,315	0,004	10,55	21,101	15,1	26,8	32,6	19,2	84,6	52,0
Черновой концентрат	21,1	1,18	0,82	2,76	0,01	10,27	19,64	93,7	58,8	45,4	62,1	96,45	56,73
Хвосты Cu-Mo флот.	78,9	0,021	0,153	0,885	0,0018	0,101	4,005	6,3	41,2	54,6	37,9	3,5	43,3
Исходная руда	100,0	0,26	0,29	1,28	0,004	2,25	7,30	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Серия 1:4													
Концентрат 1 основной	2,3	6,756	3,243	5,605	0,054	9,996	10,485	73,2	25,4	10,3	35,3	10,4	3,4
Концентрат 2 основной	18,2	0,222	0,55	2,425	0,0045	10,292	18,54	19,2	34,5	35,5	23,5	86,0	47,4
Черновой концентрат	20,5	0,95	0,85	2,78	0,01	10,26	17,65	92,4	59,9	45,8	58,8	96,49	50,79
Хвосты Cu-Mo флот.	79,5	0,02	0,146	0,845	0,0018	0,096	4,396	7,6	40,1	54,2	41,2	3,5	49,2
Исходная руда	100,0	0,21	0,29	1,24	0,003	2,17	7,11	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

кимберлитов, моделирование процесса очистки сточных вод горных предприятий имеют важное значение деятельности предприятий горно-металлургической отрасли [11-14].

Также в опытах в замкнутом цикле тестировалась частичная или полная экономия основных флотационных реагентов с учетом того, что в оборотной воде частично присутствуют растворенные флотореагенты.

Опыты проводились по схемам рис. 1, 2.

По результатам выполненных исследований отмечено увеличение выхода медной головки в 3 раза с потерей качества данного продукта по меди (табл. 1). Это связано с присутствием остаточных концентраций вспенивателя и неселективного собирателя БКК (бутиловый ксантогенат калия) в оборотной воде. При этом извлечение меди в суммарный концентрат остается на одном уровне 93,21-93,64%.

Сравнительно лучшие показатели извлечения ценных компонентов получены при уменьшении реагентов перед I основной флотацией на 75% и перераспределении реагентов на II основную флотацию. В этих условиях извлечение меди в черновой концентрат составляет 95,2%, молибдена 70,3%, золота 61% и серебра 53,5%.

Наиболее перспективным направлением, с точки зрения короткого водооборота и максимальной доли его использования является испытание коллективной схемы флотации без выделения «медной головки» – без применения дорогостоящих селективных собирателей и устойчивой к остаточным концентрациям БКК.

При дополнительных испытаниях по применению воды в обороте также в опытах в замкнутом цикле тестировалась частичная или полная экономия основных флотационных реагентов с учетом наличия остаточных концентраций реагентов в оборотной воде.

В результате проведенных исследований определены аналогичные обстоятельства с испытаниями Nord Engineering по применению оборотной воды, т.е. ухудшается качество черного концентрата (Cu-0,78% против Cu-1,04% на базовом опыте) вследствие повышения его выхода (30% против 22,7% на базовом опыте).

A извлечение несмотря на уменьшение реагентов на I основную флотацию с перераспределением реагентов на II основную флотацию остается на уровне базового опыта, а иногда и выше. Сравнительно лучшие показатели извлечения ценных компонентов получены при уменьшении реагентов перед I основной флотацией на 75% и перераспределении реагентов на II основную флотацию. В этих условиях извлечение меди в черновой концентрат составляет 95,2%, молибдена 70,3%, золота 61%, и серебра 53,5%.

В некоторых случаях с полиметаллическими рудами, оборотная вода из различных контуров должна отделяться от основного контура рециркуляции для того, чтобы избежать такие нежелательные явления как коллективная флотация или депрессирование ценных минералов.

Такие контуры сепарированной воды уместны на ограниченных участках, где накопление реагентов, неорганических и органических веществ, растворенных веществ, ионный состав и микробная деятельность не оказывают влияния на извлечение при технологическом обогащении.

Настоятельно рекомендуется производить очистку технологической воды в том случае, если технологическая вода возвращается в резервуар технологической воды и используется в основном во всех контурах технической воды.

При обогащении руд в условиях замкнутого водооборота без предварительной подготовки оборотной воды происходит заметное снижение основных показателей флотации.

Выполненные исследования по предварительной подготовке оборотной воды позволили определить два процесса подготовки воды, обеспечивающие степень водооборота 70% и необходимые показатели при флотационном обогащении. Рекомендуется производить очистку технологической воды в том случае, если технологическая вода возвращается в резервуар технологической воды и используется в основном во всех контурах технической воды.

При обогащении руд в условиях замкнутого водооборота без предварительной подготовки оборотной воды происходит заметное снижение основных показателей флотации.

Библиографический список:

1. Мещеряков Н.Ф. Флотационные машины. – М.: Недра, 1972. – 248 с.
2. Умарова И.К., Махмарежабов Д.Б., Сайдирахимов М.И. Изучение вещественного состава вольфрамсодержащих руд месторождения Койташ // Наука, образование, инновации: актуальные вопросы и современные аспекты: сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф.: в 2 ч. – Пенза, 2021. – 70 с.
3. Броницкая Е.С., Ануфриева С.И., Иванова М.В., Лаптева А.М. Современное состояние и основные направления развития технологии переработки шеелитовых руд. Разведка и охрана недр. – № 6. – Красноярск: ФБОУ ВПО ВГАВТ, 2018. – 42 с.
4. Батаногов А.П. Водовоздушное хозяйство обогатительных фабрик. – М.: «Недра», 1984. – 86 с.
5. Глембоцкий В.А., Классен В.И. Флотация. – М.: Недра, 1973. – 384 с.
6. Коллектив авторов. Флотация // Справочник по обогащению руд. – М.: Недра, 1983. – 120 с.
7. Барский Л.А. Так ископаемые становятся полезными. – М.: Недра, 1988. – 152 с.
8. Клебанов О.Б. Реагентное хозяйство обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1989. – 222 с.
9. Асончик К.М., Аксенова Г.Я., Максимов И.И., Тасина Т.И., Исследование различных режимов флотации медно-порфиновой руды // Цветные металлы. – № 4. – Санкт-Петербург: «Руда и металлы», 2017. – 70 с.
10. Юшина Т.И., Пурэв Баянмунх, Д'Элия Янес Калим Себастьян. Совершенствование реагентного режима флотации медно-порфиновых руд месторождения Эрдэнэтийин-Овоо // Плаксинские чтения: Материалы международной конференции. – Владикавказ, 2021. – С. 304-305.
11. Двойченкова Г.П., Морозов В.В., Чантурия Е.Л., Коваленко Е.Г. Выбор параметров электрохимического кондиционирования оборотной воды при подготовке алмазосодержащих кимберлитов к пенной сепарации. – М.: Горные науки и технологии. – № 3. 2021. – 170 с.
12. Жугалева Е.К. Очистка сточных вод и организация замкнутых циклов водоснабжения предприятий металлургического производства // Достижения вузовской науки 2018: сб. ст. междунар. науч.-практ. конкурса: в 3 ч. – Пенза: МЦНС Наука и Просвещение. 2018. – 259 с.
13. Коваленко Е.Г., Двойченкова Г.М., Морозов В.В. Выбор и обоснование режимов кондиционирования водно-минеральных систем при обогащении алмазосодержащих кимберлитов // Плаксинские чтения: материалы междунар. конф. – Владивосток, 2022. – 104 с.
14. Медяник Н.Л., Шевелин И.Ю., Какушкин С.Н., Вафин В.Р. Моделирование процесса очистки сточных вод горных предприятий // Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья: материалы XXIII Междунар. науч.-техн. конф., проводимой в рамках XVI Урал. горнопром. декады. – Екатеринбург: 2018. – 25 с.

1M63

ТОКАРНО – ВИНТОРЕЗНЫЙ
СТАНОК



NMZ
Машинно-строительный завод

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

«OLMALIQ KMK» AJ TEXNOGEN XOM ASHYO MUAMMOLARINING INNOVATSION YECHIMLARI



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



Valiev X.R.,
MTTU «MISiS» Fan va texnologiya Universiteti Olmaliq filiali «Metallurgiya» kafedrasida dotsenti, t.f.n.



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



Maqsudxo'jaeva M.S.,
TDTU Olmaliq filiali «Kimyo va fizika» kafedrasida dotsenti

Maqolada rangli va qimmatbaho metallar ajratib olish va mintaqaning ekologik holatini yaxshilash uchun rangli metallarning texnogen xom ashyosini jalb qilish imkoniyatlari ko'rsatilgan. Hozirgi vaqtda misni ishlab chiqarish o'sib bormoqda, rangli metallar ko'p bo'lgan ruda konlarining qolgan zaxiralari amalda tugaydi, qayta ishlash qiyin bo'lgan mineral xom ashyolar o'zlashtirilmoqda. Shu munosabat bilan kon-metallurgiya sanoatining texnogen resurslarini jalb qilgan holda rangli metallar ishlab chiqarishning innovatsion texnologiyalarini rivojlantirish uchun qulay sharoitlar yaratilmoqda. Mis ishlab chiqarish katta miqdordagi texnogen chiqindilarni chiqarish bilan bog'liq. Konvertor va chiqindi shlaklar, changli chiqindi gazlar ko'rinishidagi sulfidli mis konsentratlarini eritishdan texnogen chiqindilar hosil bo'ladi. Rux ishlab chiqarishda klinker - rux keklarining texnogen chiqindilari bo'lib, bugungi kunda uning 450 ming tonnadan ortiq'i chiqindixonalarda to'plangan, uning tarkibida 2,7-3,5 g/t oltin va 160-250 g/t kumush mavjud.

Tayanch iboralar: texnogen, ekologiya, chiqindilar, mis, shlak, qayta ishlash, magnetit, qazib olish, jarayon, avtogen, eritish, rux.

В статье показана возможность вовлечения техногенного сырья цветных металлов, с целью увеличения выхода цветных и благородных металлов, и улучшения экологической обстановки региона. Производство меди в настоящее время, показывает рост, оставшиеся запасы месторождений руд с высоким содержанием цветных металлов истощены, вовлекается сложное по переработке минеральное сырье. В связи с чем создаются благоприятные условия для разработки инновационных технологий производства цветных металлов с вовлечением техногенных ресурсов горно-металлургической отрасли. Производство меди связано с выходом большого количества техногенных отходов. Техногенные отходы плавки сульфидных медных концентратов в виде конвертерных и отвальных шлаков, пылевидные отходящие газы. На цинковом производстве клинкер - техногенный отход цинковых кеков, его на сегодня в отвалах накопилось более 450 тысяч тонн, в нем содержится золото в количестве 2,7-3,5 г/т и серебро 160-250 г/т.

Ключевые слова: техногенный, экология, отход, медь, шлак, переработка, магнетит, извлечение, процесс, автогенный, плавка, цинк.

Dunyoda misga bo'lgan talab va uni ishlab chiqarish hozirda sezilarli o'sishni ko'rsatmoqda (so'nggi 50 yil ichida), misga bo'lgan talab va turli sohalarda foydalanish ko'lami kengaymoqda, mis klasteri jarayoni faollashdi va o'z navbatida ichki va jahon bozorlariga javob beradigan tayyor mahsulotlar assortimenti yaxshilanmoqda. Biroq, pirometallurgiya usulida mis ishlab chiqarishning hozirgi klassik texnologiyasi yuzlab yillar davomida ma'lum bo'lgan bo'lsa-da, so'nggi yillarda butun dunyoda rudadagi mis miqdorining pasayishi sabab chiqindi va konvertor shlaklari tarkibidagi mis miqdorining ko'payishi bilan bog'liq muammolar paydo bo'la boshladi, so'nggi 50 yil bo'yicha kamaydi (0,5-5,0% dan 0,2-0,5% gacha). Shu munosabat bilan bu holat mis mahsulotlari tannaxshining oshishiga va turli mamlakatlardagi ko'plab konlarning yopilishiga olib keldi. Respublikamizda mis mineral xomashyosining katta qismi jamlanganligi sababli mamlakatimizda mis ishlab chiqarish yildan-yilga ortib bormoqda [1, 2].

Pirometallurgiya usulida mis ishlab chiqarishning klassik usullari texnologiyasidan innovatsion texnologiyalarga o'tish, aynan "Olmaliq KMK" aksiyadorlik jamiyatida Vanyukov avtogen pechida innovatsion texnologiyalarni joriy etish, eritish jarayonlarini sezilarli darajada faollashtiradi, mahsuldorlikni oshiradi, chunki pech gabsiz ishlaydi, issiqlik temir sulfidi oksidlanishining ekzotermik reaksiyasi tufayli ajraladi. Innovatsion texnologiyalarning hudud ekologiyasini yaxshi tomonga keskin o'zgartirishga olib keladigan avtogen eritish jarayoni sifatidagi afzalligi sulfat kislotaga ishlab chiqarishda qo'llaniladigan SO₂ ga

boy gazlarni olishdir. "Olmaliq KMK" AJning reverberator pechida sulfidli mis konsentratlarini eritishda chiqindi gazlar tarkibida juda kam miqdorda SO₂ gazi, CO₂, H₂O, azot ko'rinishidagi chiqindi gazlar ko'p bo'lganligi sababli ular sulfat kislotaga ishlab chiqarish uchun mos emas va shunga mos ravishda atmosferaga utilizatsiya qilinadi, bu esa mintaqada ekologiyasini yomonlashtiradi [3, 4].

"Olmaliq KMK" AJning reverberator va Vanyukov pechida sulfidli mis konsentratlarini eritishda metallurgiya sanoatining sezilarli miqdordagi texnogen chiqindilari boyitish fabrikasining qoldiqlari va shlaklar ko'rinishida hosil bo'ladi, chiqindi gazlar esa metallurgiya sanoati hududlarida ekologik va ijtimoiy-iqtisodiy ta'sirga ega jiddiy muammo hisoblanadi, chunki ular chiqindixonalarda saqlanadi va millionlab tonnani tashkil etadi, bu esa mintaqada uchun ekologik xavf tug'diradi [5-8].

Ayni paytda "Olmaliq KMK" AJ chiqindixonalarida misni pirometallurgiya ishlab chiqarish jarayonida boyitish fabrikasidan 1 milliard 500 million tonnadan ortiq texnogen chiqindilar, 8,5 mln t sulfidli mis konsentratlarini pechlarda eritishdan hosil bo'lgan quyma shlak to'plangan va ular tarkibida 1,4 mln t dan ortiq mis mavjud. Klinker - rux ishlab chiqarishning texnogen chiqindilari bo'lib, bugungi kunda uning 450 000 t dan ortiq'i chiqindixonalarda to'plangan, uning tarkibida 2,7-3,5 g/t oltin va 160-250 g/t kumush mavjud. Mis va rux ishlab chiqarish zavodining turli changlari. Rangli va qimmatbaho metallarni olish maqsadida metallurgiya sanoatidagi chiqindilar rangli metallurgiya

1-jadval

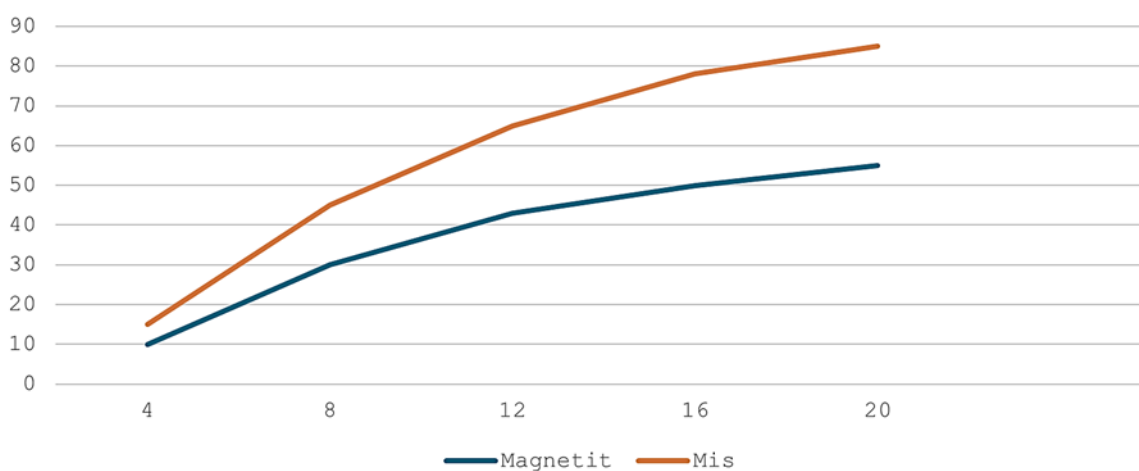
“AGMK AJ” Rux zavodining eski klinkerning kimyoviy tarkibi

Element nomi	Cu	Pb	Zn	Fe_{um.}	S_{um.}	C	CaO	Al₂O₃	SiO₂
Tarkibi, (%)	2,64	1,33	1,6	18,52	11,2	26,5	6,23	4,08	17,3
Element nomi	MgO	Cd	As	TiO₂	H₂O	Mn₂O₃	Ba	Au	Ag
Tarkibi, (%)	2,8	<0,01	0,15	0,21	1,32	0,4	2,1	2,6 g/t	290,9 g/t

2-jadval

“AGMK AJ” Rux zavodining hozirgi klinkerning kimyoviy tarkibi

Element nomi	Cu	Pb	Zn	Fe_{um.}	S_{um.}	C	CaO	Al₂O₃	SiO₂
Tarkibi, (%)	2,2	0,51	2,1	19,53	8,39	29,55	6,06	4,08	16,42
Element nomi	MgO	Cd	As	TiO₂	H₂O	Mn₂O₃	Ba	Au	Ag
Tarkibi, (%)	2,72	<0,01	0,155	0,21	0,6	0,47	2,3	3,2 g/t	260g/t



1-rasm. Shlakdagi misning kamayishi darajasining 1250°S haroratda vaqtga nisbatan klinker bilan kamayishi paytida konvertorda magnetit miqdorini kamaytirish darajasiga bog'liqligi

rudalarida yuqori miqdorda metallar bo'lgan rudalarning tugashi va qayta ishlash texnologiyalarini yaratish va joriy etishga qaratilgan xomashyodan foydalanishning murakkabligini oshirishga alohida e'tibor berish zarurligini ko'rsatadi. Mis sanoati shlaklarida temirning elementar ulushi taxminan 35,4% ni tashkil qiladi va adabiyotlardan ma'lumki, temir miqdori kamida 25% bo'lishi iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqdir [9, 10].

Dunyoning turli mamlakatlarida metallurgiya sohasidagi qonunchilikda texnogen tuzilmalarni qayta ishlashga alohida e'tibor qaratilib, shu orqali metallar ishlab chiqarish bilan shug'ullanuvchi hududlarning ekologik muammolar hal etiladi. Masalan, Evropa Parlamenti va Evropa Ittifoqi Kengashi 2010/75/EU "Sanoat chiqindilari to'g'risida" gi direktivani, Rossiyada esa "2025 yilgacha bo'lgan davr uchun ekologik xavfsizlik strategiyasi" ni qabul qildi. 2020 yil 3 dekabr kuni fan va innovatsiyalarni rivojlantirish masalalariga bag'ishlangan videoselektor yig'ilishida O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Sh.M. Mirziyoyev O'zbekiston Respublikasi kon-metallurgiya sanoati korxonalarida to'planib qolgan texnogen chiqindilarni qayta ishlash muhimligi va dolzarbligini ta'kidladi.

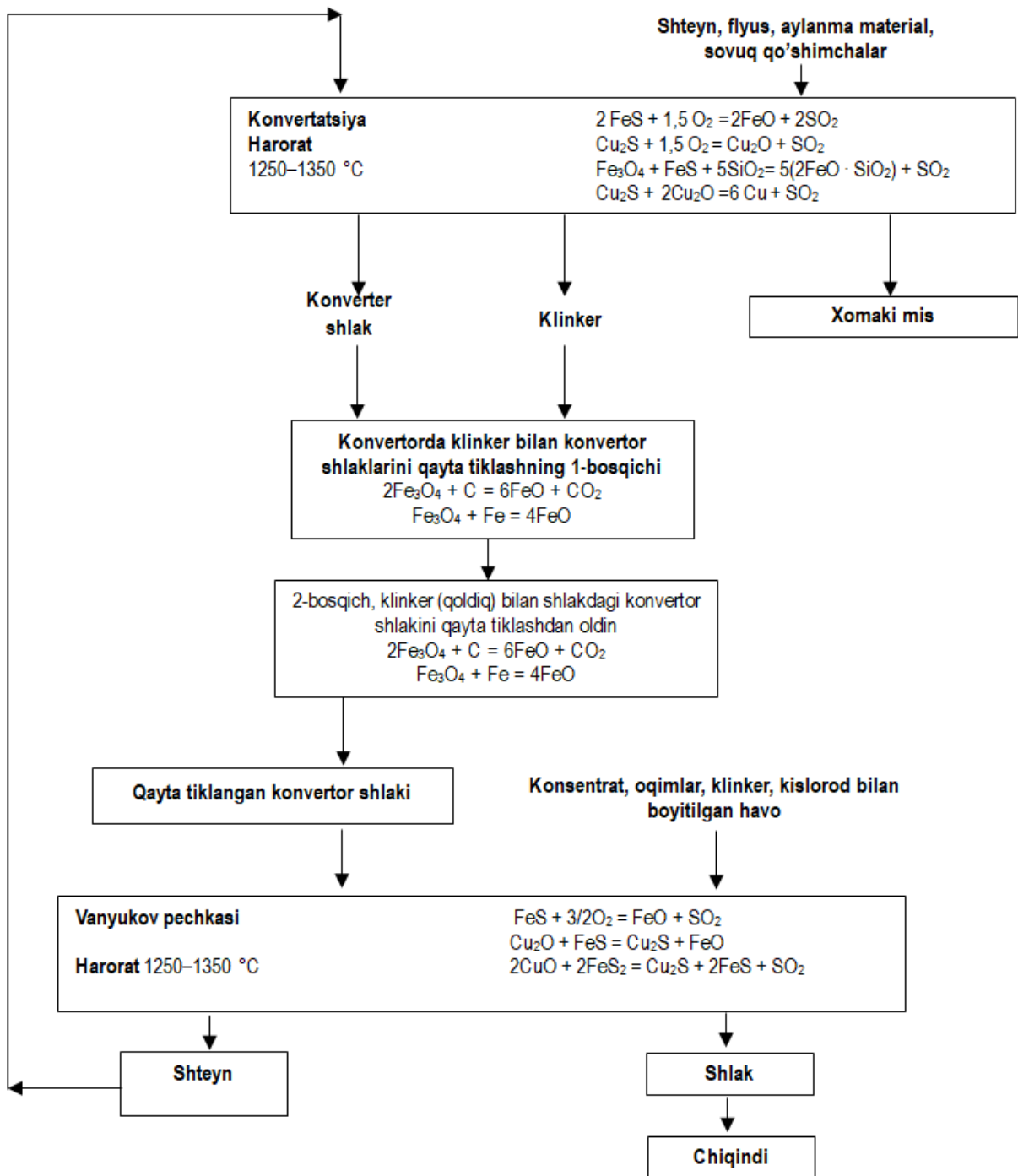
Shu munosabat bilan temir, mis va qimmatbaho metallarning ikkilamchi manbalari sifatida shlaklar, keklar, metall o'z ichiga olgan eritmalardan samarali foydalanish uchun imkoniyatlar ochilmoqda. Metallurgiya sanoati egallab turgan hududlardagi tarang ekologik vaziyatni yaxshilagan holda unumdor yerlar bo'shatiladi [11-13]. Texnologiyaga ko'ra, "Olmaliq KMK" aksiyadorlik jamiyatida sulfidli mis konsentratlari

reverberator va Vanyukov pechida eritilganda konversiyaga jo'natilgan shteyn olinadi; shteyn, mis va qayta ishlangan mahsulot, konvertor shlakini konvertatsiya qilish jarayonida yuqori mis miqdori hosil bo'ladi. "Olmaliq KMK" aksiyadorlik jamiyatida mis miqdori 2,2-3,5% bo'lgan konvertor shlaklari mis zavodining reverberli pechida mis va qimmatbaho metallar 75%, qolgan qismi esa kombinatning boyitish fabrikasida qayta ishlanadi. Vanyukov pechida texnologiyaga ko'ra, qayta ishlangan mahsulot konvertor shlakini qayta ishlash mumkin emas, chunki pech atmosferasida kislorod miqdori yuqori bo'lib, u yerda magnetit qattiq fazaga cho'kishi mumkin, bu eritish jarayoni texnologiyasini buzadi. Va ulardan mis tarkibidagi sulfid konsentratini olish uchun boyitish fabrikasiga yuboriladi [14].

Tadqiqot obyektlari va metodologiyasi.

"Olmaliq KMK" AJda klinker – rux ishlab chiqarishining texnogen chiqindilari va konvertor shlaklarini qayta ishlashga jalb etish maqsadida Vanyukov pechida mis tarkibi 2,2-3,5% ni tashkil etgan holda ilmiy-tadqiqot ishlari olib borildi. Metallurgiya sanoatining texnogen tuzilmalaridan qimmatbaho komponentlarni shteyn fazaga olish konvertorda pasaytirish jarayonida sodir bo'ladi, so'ngra sulfidli misni eritishda pasaytirilgan konvertor shlak qattiq holatda bitta zonali avtogen Vanyukov pechiga yuklanadi.

Konvertor shlakini klinker bilan tiklash, konvertorda rux ishlab chiqarishning texnogen chiqindilari magnetitni 20,0-28,0% dan 8,0-12,0 gacha kamaytirishga va undagi misni 30-50% ga kamaytirishga qaratilgan. Bu vazifa konvertatsiya jarayonida 18 t konvertor shlakini yig'ish va



2-rasm. Vanyukov pechida rux ishlab chiqarishning konverter shlaklari va klinker texnogen chiqindilarini jalb qilish texnologiyasi

uni qayta tiklash orqali amalga oshiriladi. Qaytaruvchi sifatida eskirgan klinker ishlatilgan bo'lib, uning tarkibida uglerod va temir kabi qaytaruvchi elementlarning 50% dan ko'prog'i, shuningdek, 2,6 g/t miqdordagi oltin va 290 g/t kumush mavjud [5].

Eskirgan klinkerning kimyoviy tahliliga ko'ra (1-jadval) u quyidagi tarkibga ega (%): Cu – 2,64; Pb 1,33 – ; 1,6 – Zn; CD – 0,01; Fe – 18,52; 0,15 kabi; jami – 11,2; S – 26,5; Ba – 2,1; H₂O – 1,32; SiO₂ – 17,3; Au – 2,6 g/t; Ag – 290,9 g/t.

Yuqoridagi ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, eskirgan klinker tarkibida mis va qimmatbaho metallarning katta miqdori mavjud.

Hozirgi klinkerning kimyoviy tahliliga ko'ra (2-jadval) u quyidagi tarkibga ega (%): Cu – 2,2; Pb – 0,51; Zn – 2,1; Cd <0,01; Fetot – 19,53; As – 0,155; Jami – 8,39; S – 29,55; Ba – 2,3; H₂O – 0,6; SiO₂ – 16,42; Au – 3,2 g/t; Ag – 260,27 g/t.

Eski va hozirgi klinkerning kimyoviy tarkibini solishtirganda, tarkibida mis va qimmatbaho metallar miqdori bo'yicha ozgina farq borligini ko'rish mumkin, bu odatda ikkala turdagi klinkerdan ham kamaytiruvchi vosita sifatida foydalanishni isbotlaydi va nafaqat qaytaruvchi komponentlar manbalari sifatida, balki qimmatbaho metallar manbalari sifatida ham foydalaniladi.

Tadqiqot natijalari va muhokama.

Asl tarkibdagi konvertor shlaklarini olishning sanoat sinovlari, %: Cu – 3,57; Fe₃O₄ – 21,2; SiO₂ – 19,1; CaO – 1,57 klinker (shlakning og'irligi bo'yicha 5%). Klinkerni konvertorga bir marta yuklash (1, 2-rasm) qisqa muddatli reduksiyali atmosferani hosil qiladi, bunda konvertor shlakining magnetiti 50-60% ga tiklanadi va shlakdagi mis 30-50% ga kamayadi. Quyidagi tarkibda qaytalangan shlak olindi, %: Cu – 1,95; Fe₃O₄ – 9,25; SiO₂ – 20,3; CaO – 1,6.

Bunday past magnetitli konvertor shlaki konsentrat bilan aralashiriladi va Vanyukov pechiga yuklanadi, qayta tiklangan konvertor shlakini qayta ishlashning ikkinchi bosqichi boshlanadi.

Tadqiqot ishi natijalaridan ma'lum bo'lishicha, zarracha o'lchami +5 – -10 mm bo'lgan klinkerdan foydalanganda temir konvertor shlakining ikki valentli holatiga (magnetitdan vyustitigacha) qisqarishi 55,3% dan ortiq bo'lgan (temir oksidi miqdori 21,9% dan 9,8% gacha kamaydi). Mis sulfid (yarim sulfidli mis) miqdori sezilarli darajada kamaydi, kamayishi darajasi 85,0% ni tashkil etdi, uning dastlabki tarkibidan pasayish 3,6% dan 0,54% gacha. Ilmiy-tadqiqot ishlari natijalaridan ma'lum bo'lishicha, zarracha o'lchami +5 – -10 mm bo'lgan klinker to'liq o'zlashtirilib, shaffof kvarts qoplamasi hosil bo'lgan. Shlak eritmasi yuzasidan olingan namunaning kimyoviy tahlili klinkerning tarkibiy qismlarini aniqlamadi, bu klinkerning eritma bilan to'liq o'zaro ta'sirini (o'zlashtirilishini) isbotlaydi.

“Olmaliq KMK” AJda qayta ishlangan konvertor shlaklarini Vanyukov pechiga quyish bo'yicha sinovlar smenada ~10 t (soatiga 1,25 t, shixtaning 1,74%) o'tkazildi. Shu munosabat bilan biz PV ishining natijalarini shartli ravishda ikki davrga ajratamiz:

1. Konverter shlaklarini yuklamasdan.
2. Suyuq konvertor shlaklarini yuklash bilan.

Sinov natijalari 3 va 4-jadvallarda keltirilgan. Foiz kamaygan (temir oksidi miqdori 21,9% dan 9,8% gacha kamaydi). Ba'zi tadqiqotlarda 50-100 mm o'lchamdagi bo'laklarda mat yuzada bir martalik suzuvchi kuzatilgan. Yer qobig'i namunalarini tahlil qilish quyidagi tarkibni ko'rsatdi: Cu – 11,11%; Fe – 50,44%; S – 7,82%. Ehtimolga ko'ra bu erishga ulgurmagam gamis. Ushbu davrda qattiq konvertor shlaklarini yuklashda (4-jadval) eritish jarayonining texnologik parametrlarida katta o'zgarishlar kuzatilmadi. Shartli ravishda ikki davrga bo'lingan PV ning ishlash natijalarini taqqoslash natijalari: konvertor shlak yuklamasdan, suyuq konvertorni shlak to'ldirish bilan, texnologiyada sezilarli o'zgarishsiz konvertor shlaklarini qayta ishlash imkoniyatini ko'rsatdi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Якубов Н.М. Мировой рынок меди: состояние и перспективы развития // Маркетинг в России и за рубежом. – № 4. – Москва, 2015. – С. 123-129.
2. Ахмедов Н.А., Завьялов Г.Е., Землянов А.А. и др. Рудные месторождения Узбекистана. – Ташкент: ГИДРОИНГЕО, 2001. – 661 с.
3. Цемехман Л.Ш., Парецкий В.М. Современные методы переработки сульфидных медно-никелевых концентратов // – №1. – М.: «Цветные металлы», 2020. – С. 24-31.
4. Ванюков А.В. Плавка в жидкой ванне. – Москва: «Металлургия», 1988. – 208 с.
5. Bellemans I., De Wilde E., Moelans N., Verbeken K. Metal losses in pyrometallurgical operations // – Belgium: “A review. Adv. Colloid Interface Sci”, 2018, pp. 47-63.
6. Tlotlo Solomon Gabasiane, Gwiranai Danha, Tirivaviri A., Mamvura, Tebogo Mashifana, Godfrey Dzinomwa. Environmental and Socioeconomic Impact of Copper Slag // – Botswana: “A Review. Crystals”, 2021. <https://doi.org/10.3390/cryst11121504>.
7. Busolic D., Parada F., Parra R., Sanchez M., Palacios J., Hino M. Recovery of Iron from Copper Flash Smelting Slags // – Chili: “Mineral Processing and Extractive Metallurgy”, 2009. – 622 p.
8. Санакулов К.С., Кадиров А.А. Стратегия долгосрочного инновационного развития Кызылкумского региона. – Германия: Artem Кёльн, 2021. – 408 с.
9. Санакулов К.С. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. – Ташкент: Фан, 2009. – 404 с.
10. Хурсанов А.Х. История и перспективы развития, проблемы переработки техногенных месторождений Алмалыкского ГМК // Материалы международной научно-практической конференции. Алмалык. 19.04.2019. – С. 3-15.
11. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control).
12. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: утв. Указом Президента РФ от 19.04.2017. – № 176. – С. 26-27 // ГАРАНТ: офиц. интернет-портал. URL: <http://base.garant.ru/71659074>.
13. Выступление Президент Республики Узбекистан Ш.М. Мирзиёева о важности и острой необходимости переработки техногенных отходов. <http://ismi.uz/ru/uzbekiston-yangiliklari/ilm>.
14. Якубов М.М., Абдукадиров А.А., Мухаметджанова Ш.А., Ёкубов О.М. Вовлечение в производство техногенных образований на предприятии АО «Алмалыкский ГМК» // Цветные металлы. – № 5. – Москва: «Руда и Металлы», 2022. – С. 36-41.

3-jadval

Konverter shlaklarini yuklamasdan o'rganish natijalari

Qayta ishlangan	Quruq vazn, t	Cu, %	Cu, t	Tarqatish, %
Qabul qilindi:				
Shteyn	9 680	38,88	3 763,659	97,38
Shlak	12 809	0,61	78,128	2,02
Yo'qotishlar	–	–	23,190	0,60
Jami qabul qilingan	–	–	3 864,977	100,0

4-jadval

Suyuq qayta ishlangan konvertor shlaklarini quyishda o'rganish natijalari

Qayta ishlandi	Quruq vazn, t	Cu, %	Cu, t	Tarqatish, %
Qabul qilindi:				
Shteyn	3 036	37,13	1 127,394	97,44
Shlak	4 219	0,54	22,735	1,96
Yo'qotishlar	–	–	6,942	0,60
Jami qabul qilingan	–	–	1 157,072	100,0

Sanoat sinovlaridan olingan xulosalar:

1. Otvallardagi shlakdagi mis tarkibini oshirishda, shuningdek, qattiq qisqartirilgan konvertor shlaklarini qayta ishlash jarayonida sulfidli konsentratni eritish jarayonini bajarishda sezilarli o'zgarishlar kuzatilmadi.

2. Eritish jarayonining multifaktorli xususiyatini hisobga olgan holda konvertor shlaklarini yuklashning ortishi bilan sanoat sinovlarini davom ettirish va o'rganishga qaror qilindi: shlakni sovuq yuklashning pechdagi haroratga ta'siri, shlakning avtogenligi, jarayoni va shlakning tarkibi.

3. Cho'ktirilgandan so'ng, qayta ishlangan konvertor shlakining hajmining 75% Vanyukov pechiga, donna konvertor shlakining pastki fazasi esa konvertorga quyilishi tavsiya etiladi.

Vanyukov pechining ishi natijalarini shartli ravishda ikki davrga bo'lingan ikkita tadqiqotni taqqoslash natijalari: konvertor shlaklarini yuklamasdan, qattiq konvertor shlaklarini yuklash bilan, pech shlaklari mis tiklangan konvertor shlaklarini yuklash rejimida ishlash 0,54% ni tashkil etdi.

Ular konvertor shlaklarini yuklamasdan Vanyukov pechining chiqindi shlaklari tarkibidagi mis miqdori to'g'risidagi ma'lumotlardan oshmaydi, ya'ni ishlab chiqilgan texnologiyaga ko'ra, konvertor shlaklari misda konvertordan chiqindiga tushadi.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИОНА Fe^{3+}



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



Хамидов Х.И.,
профессор кафедры
«Металлургия» НГГТУ, д.т.н.



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



Нарзуллаев Ж.Н.,
доцент кафедры
«Металлургия» НГГТУ, PhD

Мақоллада оltin zarralarini ajratish uchun pirit va arsenopiritning oksidlanish imkoniyatini aniqlash maqsadida vodorod peroksid qo'shilishi bilan Fe^{3+} ionlari yordamida murakkab oltin tarkibli, sulfidli flotatsion konsentratning oksidlanishi o'rganiladi. ESM (elektron skanerlash mikroskop) tasvirlari Fe^{3+} bilan oksidlanish jarayonidan so'ng pirit zarrachalarining aniq pasayishini ko'rsatdi, shuningdek, 45 soat davomida suyuq fazada temir tarkibining barqaror o'sishi kuzatildi, keyin oksidlanish tezligi sekinlashdi va deyarli 60 soatlik ishlov berishdan keyin deyarli to'xtadi.

Tayanch iboralar: uch valentli temir ionlari, oksidlanish, flotatsiya konsentrat, pirit, arsenopirit, vodorod peroksidi, oksidlanish-tiklanish potentsiali.

В статье исследовано окисление упорного золотосульфидного флотоконцентрата ионами Fe^{3+} с добавлением перекиси водорода для определения возможности окисления пирита и арсенопирита с целью высвобождения частиц золота. Снимки ЭСМ (электронный сканирующий микроскоп) показали явное уменьшение частиц пирита после процесса окисления с Fe^{3+} , также, наблюдался стабильный рост содержания железа в жидкой фазе в течение 45 ч, далее скорость окисления замедлялась и почти останавливалась после 60 ч обработки.

Ключевые слова: ионы трёхвалентного железа, окисление, флотоконцентрат, пирит, арсенопирит, перекись водорода, окислительно-восстановительный потенциал.

Известно, что пирит и арсенопирит являются основными породообразующими минералами упорных золотосодержащих руд.

Как основные носители дисперсного и коллоидного золота, их окисление играет большую роль при переработке упорных золотосодержащих концентратов [1, 2]. До сих пор по окислению пирита и арсенопирита были проведены ряд исследований [3-7] включающие в себя бактериальное окисление, автоклавную обработку, кислородную обработку, азотнокислородное окисление, в том числе окисление с помощью трехвалентного железа.

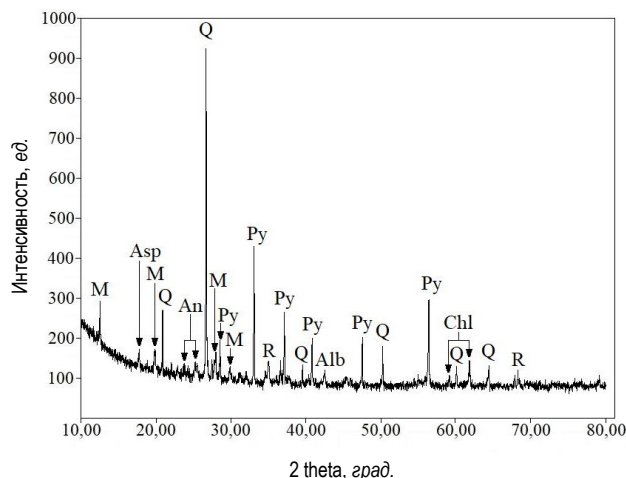
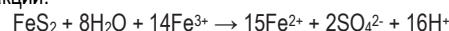


Рис. 1. Дифрактограмма флотоконцентрата сульфидных руд Ауминзо-Амантайского рудного поля, где Py – пирит, Asp – арсенопирит, Q – кварц, R – рутил, M – мусковит, An – анортит, Chl – хлорит, Alb – альбит

Несмотря на то, что на сегодняшний день выполнено много исследовательских работ, исследования по гидрометаллургическому окислению пирита и арсенопирита до сих пор остаются актуальным направлением.

Обзор проведённых работ показывает, что среди всех альтернативных способов окисления, именно окисление с использованием ионов трёхвалентного железа выглядит многообещающим и заслуживает в дальнейшем более глубокого изучения и развития с целью промышленного внедрения.

Окисление пирита ионами железа или кислорода и окисление ионов железа кислородом. Пирит растворяется в результате следующей реакции:



Ранее проведённые исследования по кинетике и механизму окисления пирита показали [8], что скорость окисления пирита ионами трёхвалентного железа и растворённым кислородом увеличивается с увеличением концентрации ионов Fe^{3+} и снижается с увеличением концентрации ионов Fe^{2+} и H^+ .

Флотоконцентрат ГМЗ-5 исследовался на окисление с помощью Fe^{3+} для определения возможности окисления пирита и арсенопирита с целью высвобождения частиц золота.

Фазовый состав исследуемого сырья определен методом рентгенодифракционного анализа (РФА) на дифрактометре XRD 7000 Maxima (рис. 1)

По результатам выполненного анализа установлено, что основными минералами в исследуемом сырье являются (рис. 1): пирит (FeS_2), арсенопирит ($FeAsS$), кварц (SiO_2), рутил (TiO_2), анортит ($CaAl_2Si_2O_8$), мусковит ($KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$), хлорит ($(Mg,Fe,Mn,Al)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)$), альбит ($NaAlSi_3O_8$).

Для проведения опыта был приготовлен раствор сульфата железа с содержанием Fe^{3+} 6,5 г/л и загрузили флотоконцентрат с

Таблица 1

Результаты гидрометаллургического окисления пирита с помощью Fe^{3+}

№	Продолжительность, ч	Fe^{3+} , г/л	Fe^{2+} , г/л	$Fe_{общ}$, г/л	Температура, °С
1.	начало	6,5	0	6,5	70
	3	1,8	6,6	8,4	
	6	1,78	6,64	8,42	
2.	начало	6,5	0	6,5	60
	3	2,9	4,7	7,6	
	6	2,8	4,9	7,7	
3.	начало	6,5	0	6,5	50
	3	4,2	2,6	6,8	
	6	4,1	2,8	6,9	
4.	начало	6,5	0	6,5	40
	3	4,4	2,2	6,6	
	6	4,2	2,5	6,7	

Таблица 2

Результаты гидрометаллургического окисления пирита ионами Fe^{3+} с добавлением перекиси водорода

№	Продолжительность, ч	Fe^{3+} , г/л	Fe^{2+} , г/л	$Fe_{общ}$, г/л	Температура, °С
1.	0	6,5	0	6,5	35
2.	9	12,2	0,2	12,4	
3.	18	18,5	0,2	18,7	41-45
4.	27	25,3	0,2	25,5	
5.	36	28,6	0,2	28,8	48-51
6.	45	30,4	0,2	30,6	
7.	54	31,1	0,2	31,3	51-52
8.	60	31,3	0,2	31,5	

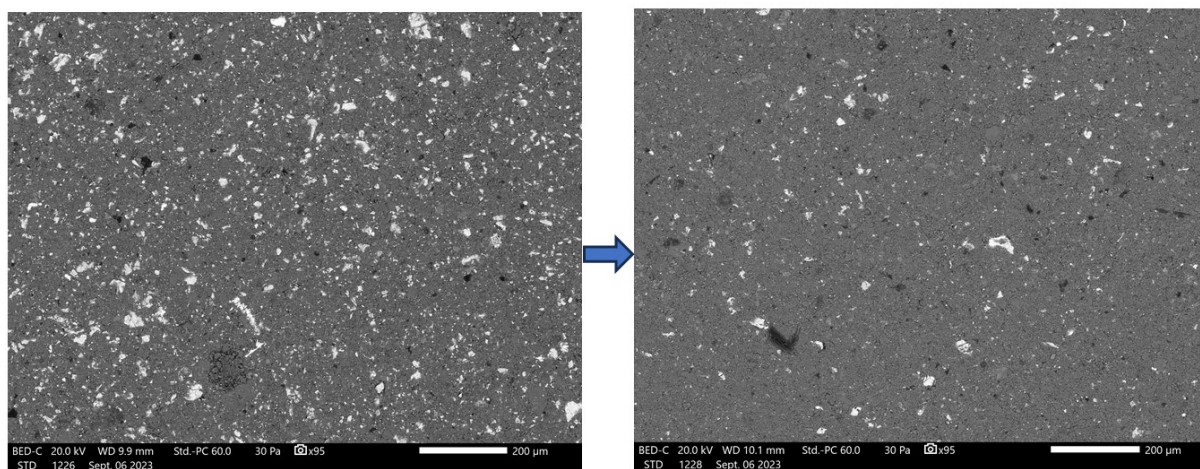


Рис. 2. Флотоконцентрат ГМЗ-5 до и после окисления ионами Fe^{3+} с добавлением перекиси водорода

отношением Т:Ж = 1:3. Нагревали до температуры 40/50/60/70°C и перемешивали. Каждые 3 ч отбирали пробу и проверяли содержание ионов железа методом титрования. Результаты показаны в табл. 1.

Как показано в табл. 1, во всех случаях Fe^{3+} окисляет пирит, увеличение содержания железа показывает протекание процесса окисления. Во всех случаях образование Fe^{2+} стало причиной замедления и затем полной остановки процесса окисления.

Изучение возможности полного окисления флотоконцентрата ионами Fe^{3+} с добавлением перекиси водорода.

С целью предотвращения увеличения содержания ионов Fe^{2+} , во втором опыте периодически добавляли перекись водорода для окисления образовавшегося Fe^{2+} до Fe^{3+} и поддержания протекания процесса окисления пирита и арсенопирита.

Результаты гидрометаллургического окисления пирита ионами Fe^{3+} с добавлением перекиси водорода показаны в табл. 2.

В табл. 2 показано, что при предотвращении появления ионов Fe^{2+} в жидкой фазе окисление пирита во флотоконцентрате ионами Fe^{3+} вполне возможно. Наблюдается, что процесс окисления протекает с выделением тепловой энергии, т.к. в начале температура была 35°C и к концу процесса она достигает 52°C.

На рис. 1 показан флотоконцентрат ГМЗ-5 до и после окисления ионами Fe^{3+} с добавлением перекиси водорода. Показано явное уменьшение частиц пирита после процесса окисления с Fe^{3+} .

Таким образом, гидрометаллургическое окисление пирита ионами Fe^{3+} во флотоконцентрате показывает многообещающие результаты. Сорбционное цианирование обработанного концентрата подтверждает повышение степени извлечения золота от 23% до

67,8%. Следовательно, опыты показывают, что дальнейшее изучение процесса окисления пирита с помощью Fe^{3+} и поиск других способов окисления Fe^{2+} до Fe^{3+} вместо перекиси водорода для поддержания окислительно-восстановительного потенциала является весьма актуальным направлением и требует более глубокого и комплексного исследования.

Библиографический список:

1. Vaughan J.P. The process mineralogy of gold: the classification of ore types // *J. Miner. Metals Mater. Soc.* 56 (7), 2004, pp. 46-48.
2. К. Санакулов, У. Эргашев, И. Хамроев, О. Фузайлов. Новый подход к вопросу классификации упорных золотосодержащих руд на примере месторождений Кызылкумов // «Цветные металлы». – № 9. – М.: «Руда и металлы», 2023. – С. 22-30.
3. Ahlberg E. and Broo A.E. (1997) Electrochemical reaction mechanisms at pyrite in acidic perchlorate solutions. *J. Electrochem. Soc.* 144, pp. 1281-1286.
4. Bolorunduro S.A., 1999. Kinetics of leaching of chalcocite in acid ferric sulfate media: chemical and bacterial leaching. M.A.Sc. thesis. The University of British Columbia, Canada.
5. Boogerd F.C., van den Beemd C., Stoelwinder T., Bos P., Kuenen J.G., 1991. Relative contributions of biological and chemical reactions to the overall rate of pyrite oxidation at temperatures between 30 °C and 70 °C. *Biotechnol. Bioeng.* 38, pp. 109-115.
6. Li J.S., Miller J.D. Reaction kinetics of gold dissolution in acid thiourea solution using ferric sulfate as oxidant. *Hydrometallurgy*, 2007, 89, pp. 279-288.
7. Sand W., Gehrke T., Jozsa P., Schippers, A., 2001. (Bio)chemistry of bacterial leaching direct vs. indirect bioleaching. *Hydrometallurgy* 59, pp. 159-175.
8. Breed A.W., Harrison S.T.L. & Hansford G.S. (1997). A preliminary investigation of the ferric leaching of a pyrite/arsenopyrite flotation concentrate. *Minerals Engineering*, 10(9).

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 42-44

INVESTIGATION OF HYDROMETALLURGICAL OXIDATION OF FLOTATION CONCENTRATE BY Fe^{3+} IONS

¹Sanakulov K., Chairman of the Board - General Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.

²Khamidov Kh.I., Professor at the Department of Metallurgy, Professor.

³Fuzailov O.U., Associate Professor at the Department of Metallurgy, PhD.

⁴Narzullaev Zh.N., Associate Professor at the Department of Metallurgy. PhD.

¹JSC «Navoi Mining and Metallurgical Company». Navoi, Uzbekistan.

²Navoi State University of Mining and Technologies. Navoi, Uzbekistan.

The results of the investigation on oxidation of the refractory gold-sulfide flotation concentrate with Fe^{3+} ions with the addition of hydrogen peroxide to determine the possibility of oxidation of pyrite and arsenopyrite to liberate gold particles are presented in the article. SEM (Scanning Electron Microscope) images showed a clear reduction of pyrite particles after the oxidation process with Fe^{3+} , also, a steady increase of iron concentration in the liquid phase was observed during 45h, then the oxidation rate slowed down and almost stopped after 60h of treatment.

Key words: ferric ions, oxidation, flotation concentrate, pyrite, arsenopyrite, hydrogen peroxide, redox potential.

Bibliographic list:

1. Vaughan J.P. The process mineralogy of gold: the classification of ore types // *J. Miner. Metals Mater. Soc.* 56 (7), 2004, pp. 46-48.
2. K. Sanakulov, U. Ergashev, I. Khamroev, O. Fuzailov. A new approach to the issue of classification of refractory gold ores using the example of the Kyzylkum deposits // *Non-Ferrous Metals*. – No. 9. – M.: Ore and Metals, 2023, pp. 22-30.
3. Ahlberg E. and Broo A.E. Electrochemical reaction mechanisms at pyrite in acidic perchlorate solutions. *J. Electrochem. Soc.* 144, 1997, pp. 1281-1286.
4. Bolorunduro S.A. Kinetics of leaching of chalcocite in acid ferric sulfate media: chemical and bacterial leaching. M.A.Sc. thesis. The University of British Columbia, Canada. 1999.
5. Boogerd F.C. van den Beemd C., Stoelwinder T., Bos P., Kuenen J.G. Relative contributions of biological and chemical reactions to the overall rate of pyrite oxidation at temperatures between 30°C and 70°C. *Biotechnol. Bioeng.* 38, 1991, pp. 109-115.
6. Li J.S., Miller J.D. Reaction kinetics of gold dissolution in acid thiourea solution using ferric sulfate as oxidant. *Hydrometallurgy*, 2007, 89, pp. 279-288.
7. Sand W., Gehrke T., Jozsa P., Schippers, A. (Bio)chemistry of bacterial leaching direct vs. indirect bioleaching. *Hydrometallurgy* 59, 2001, pp. 159-175.
8. Breed A.W., Harrison S.T.L. & Hansford G.S. A preliminary investigation of the ferric leaching of a pyrite/arsenopyrite flotation concentrate. *Minerals Engineering*, 10 (9), 1997. – 8 p.

ИЗУЧЕНИЕ И АНАЛИЗ СТОЧНЫХ ВОД ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ АО «НГМК»



Санакулов У.К.,
главный инженер
ООО «KOOLIN PLUS», PhD



Ваповев Х.М.,
начальник лаборатории ЛРВП
при ЦНИЛ АО «НГМК»,
д.т.н., профессор



Аллаёров Н.Б.,
ассистент кафедры
«Химическая технология» НГГТУ



Жураев И.И.,
инженер ЛРВП
при ЦНИЛ АО «НГМК», PhD

Shimoliy kon boshqarmasiga tegishli GMZ-3 PTD-1 quyuglashtiruvchisidan chiqayotgan oqava suvlar tarkibini kimyoviy tahlil qilish va uni tozalash usullarini ishlab chiqish to'g'risida ma'lumotlar keltirilgan.

Kislotali oqavalarni ajratish bo'yicha PTD-1 quyuglashtiruvchisida laboratoriya tadqiqotlari o'tkazildi va olingan natijalar asosida GMZ-3 da yarim sanoat sinovi amalga oshirildi. Eksperimental qurilmadan oldin va keyingi kimyoviy tahlil natijalarining ko'rsatishicha, tozalangan suv (permiat) tarkibida mishyak miqdori 0,0054 g/l gacha kamaygan. Yarim sanoat sinov qurilmasida ikki variantda tadqiqot olib borildi. Kimyoviy analiz natijalari olingan namunalarda boshlang'ich variantga nisbatan umumiy qattqlikni deyarlik 5,5 marta kamayeshini, umumiy meshyakni esa 6,5 marta kamayeshini ko'rsatdi.

Tayanch iboralar: oqava suvlar, quyuglashtiruvchi, kimyoviy tahlil, aralashmalar, mish'yak, temir, kartrejlil filtr, suv ishlab chiqaruvchi, o'tkazilgan suv, ion almashinish smolasi, anionitlar, kationitlar.

Приведены сведения о химическом анализе состава сточных вод, выходящих из сгустителя ГМЗ-3 ПТД-1 Северного рудоуправления, и разработке методов их очистки.

Лабораторные исследования по разделению кислых сточных вод проводились в сгустителе ПТД-1, проведены полупромышленные испытания на ГМЗ-3. По результатам химического анализа до и после экспериментальной установки количество мышьяка в очищенной воде (пермеате) снизилось до 0,0054 г/л. Два варианта были изучены на полупромышленном испытательном стенде. Результаты химического анализа показали, что общая жесткость полученных образцов снизилась почти в 5,5 раза, а содержание общего мышьяка – в 6,5 раза по сравнению с исходным вариантом.

Ключевые слова: сточные воды, загуститель, химический анализ, примеси, мышьяк, железо, патронный фильтр, водопроизводитель, перекачиваемая вода, ионообменная смола, анионы, катионы.

Вода – ценнейший природный ресурс. Огромное значение вода имеет в промышленном производстве. Она играет исключительную роль во всех процессах гидрометаллургии. Потребность в воде огромна и ежегодно возрастает.

Много воды потребляет металлургия. Большая часть воды после её использования для хозяйственно-бытовых нужд возвращается в водоёмы в виде сточных вод.

Защита водных ресурсов от истощения и загрязнения и их рациональное использование для нужд горнорудной промышленности – одна из наиболее важных проблем, требующих безотлагательного решения.

Из-за расширения объёма переработки золотосодержащих руд в гидрометаллургических заводах и острого дефицита технической воды в Узбекистане, в качестве неотложной задачи стоит поиск решения и использования водосберегающих технологий в гидрометаллургии золота. Одной из таких возможностей является оценка физико-химического состава воды и возможность её использования в гидрометаллургии золота.

Исторически сложилось так, что при разработке технологических схем гидрометаллургических заводов на качество воды не обращали внимания. Питьевая и даже техническая вода в подавляющем большинстве случаев удовлетворяла технологов, а использованную воду просто сбрасывали в водоёмы и только в последние годы стали направлять эти воды на очистные сооружения и в оборот [1-3].

Цель работы: создание научных основ и разработка технологического удаления примесей имеющихся в кислых стоках сгустителя ПТД-1.

В данной исследовательской работе для исследований использована представительная проба кислых стоков сгустителя ПТД-1.

Задачи исследований:

- проведение литературного обзора по удалению мышьяка и железа из технологических растворов;
- проведение химического анализа кислых стоков сгустителя ПТД-1;
- проведение лабораторных исследований по разделению кислых стоков сгустителя ПТД-1 на отдельные потоки золота и примесей и разработка аппаратурной схемы разделения потоков для проведения полупромышленных испытаний на ГМЗ-3;
- проведение полупромышленных испытаний по разделению кислых стоков сгустителя ПТД-1.

В данной работе представлены результаты исследований, химического состава и проведённых экспериментальных работ по разделению на отдельные компоненты, для эксперимента были переданы 120 л верхнего слива ПТД-1.

Химический состав слива ПТД-1 представлен в табл. 1.

После изучения химического состава слива ПТД-1 выполнены экспериментальные работы по разделению железа, мышьяка и т.д. в установке, которая включает в себя картриджный фильтр (механическая очистка от твёрдых веществ) и опреснитель.

Таблица 1

Химический состав слива ПТД-1

№	Наименование компонента	Ед. изм.	Результат
1.	pH	–	0,95
2.	Ca ²⁺	мг/л	31 062
3.	Mg ²⁺	мг/л	29 184
4.	Na ⁺ + K ⁺	мг/л	108 429
5.	Жёсткость	мг экв/л	3 950
6.	NH ₄ ⁺	мг/л	814,5
7.	Карбонаты	мг/л	отс.
8.	Гидрокарбонаты	мг/л	отс.
9.	SO ₄ ²⁻	мг/л	415 546
10.	Cl ⁻	мг/л	514
11.	NO ₃ ⁻	мг/л	4,24
12.	NO ₂ ⁻	мг/л	5,47
13.	PO ₄ ³⁻	мг/л	4,75
14.	Сухой остаток	мг/л	45 445
15.	CN ⁻	мг/л	0,909
16.	SCN ⁻	мг/л	20,23
17.	As _{общ}	г/л	2,16
18.	Fe ³⁺	г/л	15,1
19.	Fe ²⁺	г/л	0,15
20.	Au	мг/л	0,022

Таблица 3

Химический состав концентрата опреснителя

№	Наименование компонента	Ед. изм.	Результат
1.	pH	–	1,06
2.	Ca ²⁺	мг/л	24 048
3.	Mg ²⁺	мг/л	22 496
4.	Na ⁺ + K ⁺	мг/л	93 387
5.	Жёсткость	мг экв/л	3 050
6.	NH ₄ ⁺	мг/л	169,3
7.	Карбонаты	мг/л	отс.
8.	Гидрокарбонаты	мг/л	отс.
9.	SO ₄ ²⁻	мг/л	341 084
10.	Cl ⁻	мг/л	372
11.	NO ₃ ⁻	мг/л	3,28
12.	NO ₂ ⁻	мг/л	5,18
13.	PO ₄ ³⁻	мг/л	7,79
14.	Сухой остаток	мг/л	41 065
15.	CN ⁻	мг/л	0,454
16.	SCN ⁻	мг/л	12,24
17.	As _{общ}	г/л	2,24
18.	Fe ³⁺	г/л	10,7
19.	Fe ²⁺	г/л	0,15
20.	Au	мг/л	отс.

Таблица 2

Химический состав слива ПТД-1 после картриджного фильтра

№	Наименование компонента	Ед. изм.	Результат
1.	pH	–	1,14
2.	Ca ²⁺	мг/л	19 038
3.	Mg ²⁺	мг/л	10 944
4.	Na ⁺ + K ⁺	мг/л	49 596
5.	Жёсткость	мг экв/л	1 850
6.	NH ₄ ⁺	мг/л	139,9
7.	Карбонаты	мг/л	отс.
8.	Гидрокарбонаты	мг/л	отс.
9.	SO ₄ ²⁻	мг/л	192 160
10.	Cl ⁻	мг/л	230
11.	NO ₃ ⁻	мг/л	4,88
12.	NO ₂ ⁻	мг/л	5,86
13.	PO ₄ ³⁻	мг/л	6,54
14.	Сухой остаток	мг/л	27 745
15.	CN ⁻	мг/л	0,023
16.	SCN ⁻	мг/л	19,6
17.	As _{общ}	г/л	2,29
18.	Fe ³⁺	г/л	8,3
19.	Fe ²⁺	г/л	0,10
20.	Au	мг/л	отс.

Таблица 4

Химический состав пермиата

№	Наименование компонента	Ед. изм.	Результат
1.	pH	–	1,30
2.	Ca ²⁺	мг/л	отс.
3.	Mg ²⁺	мг/л	188
4.	Na ⁺ + K ⁺	мг/л	598
5.	Жёсткость	мг экв/л	15,5
6.	NH ₄ ⁺	мг/л	3,23
7.	Карбонаты	мг/л	отс.
8.	Гидрокарбонаты	мг/л	отс.
9.	SO ₄ ²⁻	мг/л	1 777
10.	Cl ⁻	мг/л	160
11.	NO ₃ ⁻	мг/л	0,48
12.	NO ₂ ⁻	мг/л	0,10
13.	PO ₄ ³⁻	мг/л	0,25
14.	Сухой остаток	мг/л	1 010
15.	CN ⁻	мг/л	0,009
16.	SCN ⁻	мг/л	0,049
17.	As _{общ}	г/л	0,0054
18.	Fe ³⁺	г/л	0,2
19.	Fe ²⁺	г/л	0,05
20.	Au	мг/л	отс.

Химический состав слива ПТД-1 после картриджного фильтра (размер пор не более 1 мкм) представлен в табл. 2.

Химический состав концентрата опреснителя представлен в табл. 3.

Химический состав пермиата, полученного из слива ПТД-1 представлен в табл. 4.

Основной целью проведённой работы было определение оптимальных параметров переработки кислых сбросных растворов и выделения железа из раствора без примесей мышьяка [4-7].

Полученные результаты химического анализа компонентов до и после экспериментальной установки обобщены и представлены на рис. 1.

Установление фильтрующего устройства для разделения кислого стока ПТД-1. В самом начале было выбрано питательное сырьё (кальцинированная сода) для нейтрализации сточных вод. После установки фильтрующего устройства проведено два варианта опыта по разделению кислых стоков ПТД-1.

Проанализированы жидкая и твёрдая фазы исходной пробы слива ПТД-1, плотность и pH среда, а также содержание золота. При использовании кальцинированной соды pH достигало 5,80.

Все эксперименты проводилось в одинаковых условиях и объёмах. Результаты опыта первого варианта по разделению кислых стоков в сгустителях ПТД-1 при использовании фильтрующей установки дано в табл. 5.

Как показали, результаты проведённых исследований в жидкой фазе после мембранной очистки и картриджа содержание золота снижается до 0,15 г/л. Количество осадка повышается после мембранной очистки до 57,0 г/л.

В табл. 6 даны результаты опытов второго варианта по разделению золота из кислого стока. В данном опыте pH после нейтрализации чуть повышался и содержание золота в жидком фазе уменьшалось до 0,09 г/л.

В жидкой фазе после мембранной очистки вес осадка составлял 57,1 г/л, а плотность 1044 кг/см³.

ОЧИСТКА КИСЛЫХ СТОКОВ ПТД-1

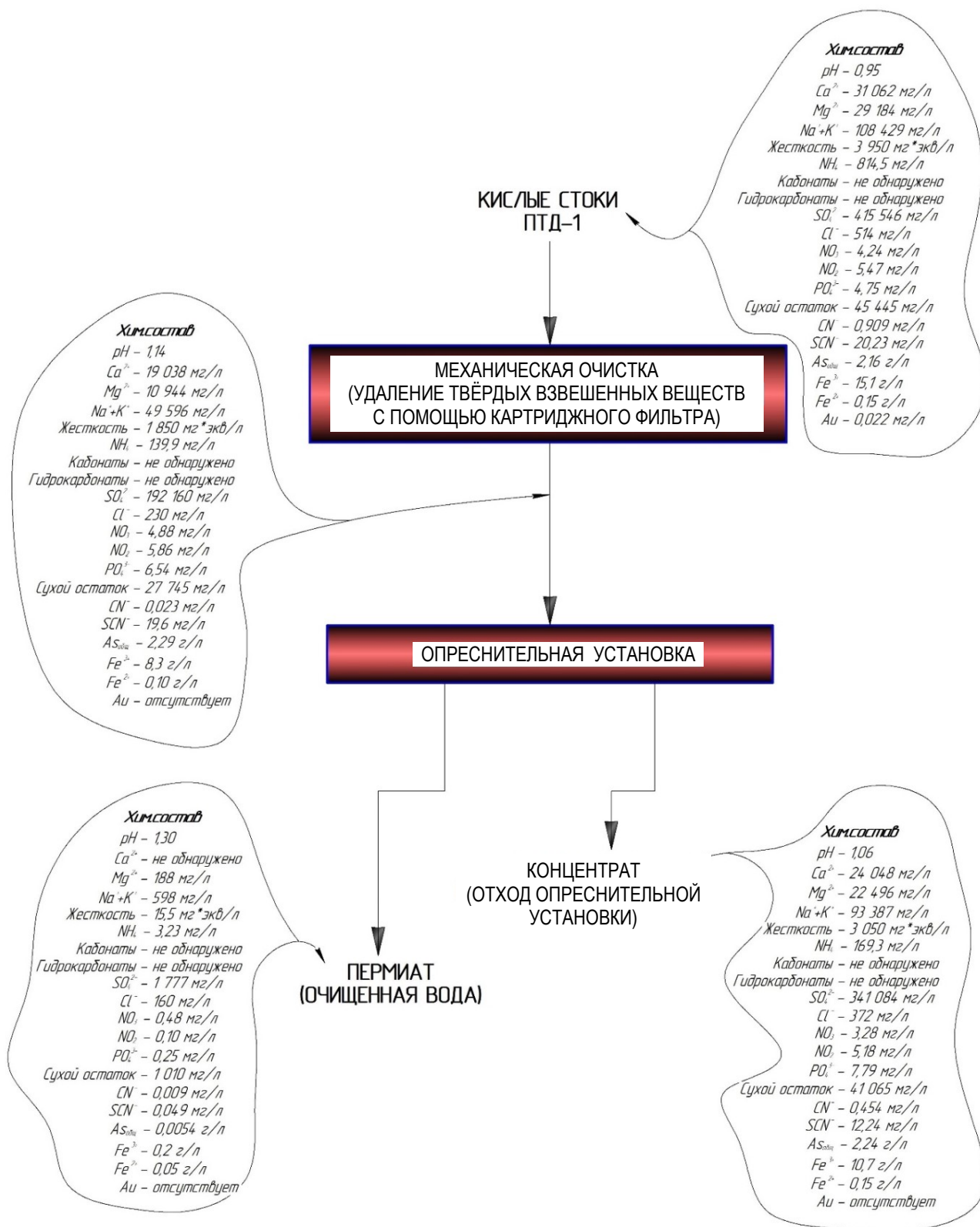


Рис. 1. Обобщенные результаты химического анализа до и после очистки на экспериментальной установке кислых стоков ПТД-1

Таблица 5

Результаты опыта по разделению основного элемента со слива ПТД-1 (опыт № 1)

№	Наименование проб	Жидкая фаза			Расход Na ₂ CO ₃ , г/л	рН конеч.	Твердая фаза	
		плотность	рН нач.	объем			вес осадка, г/л	Au, г/л
1.	Исходная проба слива ПТД-1	1044	1,26	20,0	35,0	5,80	58,7	0,19
2.	Жидкая фаза после механической фильтрации	1043	1,24	20,0	35,0	5,74	56,3	0,13
3.	Жидкая фаза после картриджа	1042	1,25	20,0	35,0	5,80	55,7	0,15
4.	Жидкая фаза после мембраны (концентрат)	1042	1,24	20,0	35,0	5,70	57,0	0,15

Таблица 6

Результаты опыта по разделению основного элемента со слива ПТД-1 (опыт № 2)

№	Наименование проб	Жидкая фаза			Расход Na ₂ CO ₃ , г/л	рН конеч.	Твердая фаза	
		плотность	рН нач.	объем			Вес осадка, г/л	Au, г/л
1.	Исходная проба слива ПТД-1	1045	1,28	20,0	36,0	6,03	57,2	0,13
2.	Жидкая фаза после механической фильтрации	1040	1,26	20,0	35,0	6,01	55,3	0,09
3.	Жидкая фаза после картриджа	1040	1,25	20,0	35,0	5,80	55,78	0,09
4.	Жидкая фаза после мембраны (концентрат)	1044	1,27	20,0	35,0	5,98	57,1	0,10

Таблица 7

Результаты химического анализа

Наименование проб	Ca, мг/л	Mg, мг/л	Обж, мг-экв/л	с/о, мг/л	SO ₄ , мг/л	Fe ²⁺ , мг/л	Fe ³⁺ , мг/л	Твёрд.-взвесь, мг/л	рН	As ³⁺ , мг/л	As ⁵⁺ , мг/л	As _{общ.} , мг/л
Исходная проба слива ПТД-1	128,5	126,5	16,8	56608	4043	0,05	10,8	0,63	1,16	198,0	1851	2049
Жидкая фаза после механической фильтрации	–	–	–	55962	3967	0,10	10,8	0,46	1,15	175,0	2072	2247
Жидкая фаза после картриджа	–	–	–	55356	3840	0,10	11,8	0,45	1,13	82,0	1816	1898
Жидкая фаза после мембраны (концентрат)	–	–	–	56866	3962	0,10	11,8	0,73	1,14	186,0	2154	2340
Пермиат	24,1	21,9	3,0	1888	1194	0,05	0,2	0,00	1,39	23,0	290	313

Полученные результаты химического анализа до и после фильтра даны для определения содержания железа и мышьяка (табл. 7). В таблице указан пермиат – поток веществ, проходящий через полупроницаемую мембрану в процессе мембранного разделения. В исходной пробе содержание кальция и магния составило 128,5 и 126,5 мг/л, а жидких фаз после механического фильтра, после картриджа и мембраны не определено. Содержание трёхвалентного железа и пятивалентного мышьяка составляло после мембраны 11,8 и 2154 мг/л соответственно.

В составе жидкой фазы после мембраны общее количество мышьяка достигало 2340 мг/л. После мембранной очистки получены очищенная вода (пермиат) и концентрат. Как результаты анализов, в составе пермиата содержание кальция и магния составляло 24,1 и 21,9 мг/л соответственно. Содержание Fe³⁺ и As⁵⁺ составляло 0,2 и 290 мг/л. Также определено количество сухого остатка – 1888 мг/л в составе пермиата.

Выводы:

1. Для проведения научных исследований произведён химический анализ кислых стоков сгустителя ПТД-1. При исследовании определено общее количество мышьяка – 2,16 г/л.

2. Для проведения лабораторных исследований по разделению кислых стоков сгустителя ПТД-1 на отдельные потоки золота и примесей (железа, мышьяка и т.д.), разработана фильтрующая аппаратурная схема и получены первые результаты в лабораторных условиях.

Полученные результаты химического анализа компонентов до и после экспериментальной установки показывают, что в составе очищенной воды (пермиат) содержание мышьяка снизилось до 0,0054 г/л, а золото отсутствует.

3. Проведены полупромышленные испытания по разделению кислых стоков сгустителя ПТД-1 на отдельные потоки золота и примесей (железа, мышьяка и т.д.) на ГМЗ-3. Исследования проведены по двум вариантам. Анализы химического состава полученных проб показали, что в пермиате, общая жёсткость снижается почти в 5,5 раз, а содержание общего мышьяка в 6,5 раза меньше исходного варианта.

В дальнейшем, предложения по оптимизации очистки и разделения кислых стоков ПТД-1 могут использоваться при разработке и проектировании очистных сооружений горнодобывающих предприятий.

Библиографический список:

1. Аллабергенев Р.Д. Фундаментальная и прикладная гидрометаллургия // Отв. ред. Х.С. Сабиров. – Т.: ГП «Научно-исследовательский институт минеральных ресурсов», 2012. – С. 211-213.

2. Романтеев Ю.П. *Металлургия благородных металлов. Учеб. пособие.* – М.: МИСиС, 2007. – С. 101-104.
3. Набойченко С.С. Мышьяк в цветной металлургии // С.С. Набойченко, С.В. Мамянченков, С.В. Карелов. Под ред. С.С. Набойченко. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 240 с.
4. Копылов Н.И. Мышьяк // Н.И. Копылов, Ю.Д. Каминский. Под ред. Г.А. Толстикова. – Новосибирск: Сиб. ун-в. изд-во, 2004. – 367 с.
5. Удаление ионов мышьяка (V) из растворов нанокристаллами β -FeO(OH) акаганеита // П.М. Соложенкин [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – № 3. 2003 г. – С. 92-102.
6. Фокина С.Б. Изучение характеристик железо- и мышьяк содержащих осадков нейтрализации // Интернет-журнал «Науковедение». Том 7, № 2 (2015) DOI: 10.15862/97TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/97TVN215>).
7. Санакулов У. К., Тажибаев Д. Ю., Эргашев У. А. Извлечение железа из кислых сбросных растворов, образующихся в процессе биоокисления сульфидных золотосодержащих концентратов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 3 (1). – Москва: ЗАО «Горная книга», 2021. – С. 127-135.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 45-49

STUDY AND ANALYSIS OF WASTE WATER FROM HYDROMETALLURGICAL OPERATIONS OF JSC NMMC

¹Sanakulov U.K., Chief Engineer, PhD.

²Vapoev Kh.M., Head of the laboratory of water problems at the Central Scientific Research Laboratory, Doctor of Technical Sciences.

³Allayorov N.B., assistant.

⁴Zhuraev I.I., engineer of the laboratory of water problems at the Central Scientific Research Laboratory, PhD.

¹«KAOLIN PLUS» LLC, PhD.

²JSC «Navoi Mining and Metallurgical Company». Navoi, Uzbekistan.

³Navoi State University of Mining and Technologies. Navoi, Uzbekistan.

The paper presents information on chemical analysis of the composition of waste water coming out of thickener HMP-3 of OFD-1 of the Northern Ore Mining Administration and development of methods for its treatment.

Laboratory studies on separation of acid wastewater were carried out in thickener OFD-1, semi-industrial tests were carried out at HMP-3. According to the results of chemical analysis before and after the experimental facility the amount of arsenic in treated water (permeate) decreased to 0.0054 g/l. Two designs were tested on a semi-industrial test rig. The results of chemical analysis showed that the total hardness of the obtained samples decreased almost 5.5 times, and the content of total arsenic - 6.5 times compared to the original version.

Keywords: waste water, thickener, chemical analysis, impurities, arsenate, ferric, cartridge filter, water producer, pumped water, ion exchange resin, anions, cations.

Bibliography list:

1. Allabergenov R.D. *Fundamental and applied hydrometallurgy* // Rep. ed. H.S. Sabirov. – T.: State Enterprise «Research Institute of Mineral Resources», 2012, pp. 211-213.
2. Romanteev Yu.P. *Metallurgy of precious metals. Textbook allowance.* – М.: МИСИ, 2007, pp. 101-104.
3. Naboychenko S.S. *Arsenic in non-ferrous metallurgy* // S.S. Naboychenko, S.V. Mamyanchenkov, S.V. Karelov. Ed. S.S. Naboychenko. – Ekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2004. – 240 p.
4. Kopylov N.I. *Arsenic* // N.I. Kopylov, Yu.D. Kaminsky. Ed. G.A. Tolstikov. – Novosibirsk: Sib. Univ. publishing house, 2004. – 367 p.
5. *Removal of arsenic (V) ions from solutions using β -FeO(OH) akaganeyite nanocrystals* // P.M. Solozhenkin [et al.] // Physical and technical problems of mineral development. – No. 3. 2003, pp. 92-102.
6. Fokina S.B. *Study of the characteristics of iron- and arsenic-containing neutralization sediments* // Internet journal «Naukovedenie». Vol. 7, No. 2 (2015) DOI: 10.15862/97TVN215 (<http://dx.doi.org/10.15862/97TVN215>).
7. Sanakulov U.K., Tazhibayev D.Yu., Ergashev U.A. *Extraction of iron from acidic waste solutions formed during the biooxidation of sulfide gold-containing concentrates* // Mining Information and Analytical Bulletin. – Moscow: Closed Joint Stock Company «Gornaya kniga», 2021. No. 3-1, pp. 127-135.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ГАЛЛУАЗИТОВЫХ НАНОТРУБОК



Воробьев А.Е.,
проректор по международным
отношениям и инновациям ФМИОЗ,
заведующий кафедрой «Биотехнологии»,
д.т.н., профессор, академик



Турпиев Р.А.В.,
заведующий кафедрой
«Теплотехника и гидравлика» ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова,
к.х.н., доцент



Мадаева М.З.,
доцент кафедры
«Теплотехника и гидравлика» ГГНТУ
им. акад. М.Д. Миллионщикова,
к.т.н.



Воробьев К.А.,
аспирант
ИПКОН РАН

Ko'chkiar geomassasida hosil bo'lgan galloisit nanozarrachalari bo'yicha tadqiqotlar o'tkazildi.

Tabiiy galloisit nanotubalarining fizik-kimyoviy xususiyatlari keltirilgan. Ko'chki geomassasidan namuna olish metodologiyasi berilgan. Ko'chkiar tanasining geomaterialini fizik-mexanik tahlil qilish batafsil galluzit nanozarrachalarining asosiy fizik-kimyoviy xususiyatlarini ko'rsatadi. Tanlangan ko'chki geomateriali barcha turdagi to'rtlamchi va aeol konlari va neogen jinslarining irsiy mineralarining murakkab aralashmasi ekanligi aniqlandi. Bog'lanishning past ko'rsatkichlari o'rganilayotgan geomaterialning alohida zarralari orasidagi bir oz zaif aloqani va shuning uchun ishqalanish qarshiligining pastligini ko'rsatadi, bu tog' yonbag'irlariga joylashtirilganda ko'chkiar paydo bo'lishiga va ularning pastga sijishiga olib keladi (ayniqsa kuchli va uzoq muddatli yomg'irdan keyin). Shu bilan birga, tadqiqotlar davomida gallusit nanopartikullarining morfologiyasi toshning asl tuzilishiga bog'liqligi aniqlandi [9]: masalan, sferoidal galloisit dastlab g'ovakliligi past bo'lgan jinslarga, quvurli nanopartikullar esa ko'plab ochiq bo'shliqlarga ega jinslarga tegishli. Bu, qoida tariqasida, kuchli ob – havo sharoitida gneyslar yuzasida kaolinit, chuqurroq darajalarda allaqachon plastinka va naychali galloisitlar va geologik profilning tagida, tog' jinslari yaqinida Sferoidal galloisit paydo bo'lishi bilan tasdiqlanadi.

Tayanch iboralar: galloisit, nanotubalar, nanostrukturalar, fizik-kimyoviy xossalari, ko'chki, ko'chki jismlari, geomass zichligi, kaolin guruhlari, kaolinitlar, gidrologik rejim, gallusit nanotubalari, yer osti gidrologik rejimi.

Проведены исследования наночастиц галлуазитов, образованных в геомассе оползней.

Представлены физико-химические особенности природных галлуазитовых нанотрубок. Дана методология отбора проб оползневой геомассы. Детализирован физико-механический анализ геоматериала тела оползня. Показаны основные физико-химические особенности наночастиц галлуазита. Установлено, что отобранный оползневой геоматериал представлял собой сложную смесь всех типов четвертичных и золотых отложений и унаследованных минералов подстилающих неогеновых пород. Низкие показатели сцепления указывают на несколько слабый контакт между отдельными частицами исследуемого геоматериала и, следовательно, на низкое сопротивление трению, что при их размещении на горных склонах приводит к возникновению оползней и их перемещению вниз (особенно после сильных и продолжительных дождей). При этом, в ходе исследований было установлено, что морфология наночастиц галлуазита зависит от исходной текстуры породы [9]: так, сферодальный галлуазит изначально относится к породам с низкой пористостью, а трубчатые наночастицы – к породам с многими открытыми пространствами. Это подтверждается тем, что, как правило, на поверхности сильно выветрелых гнейсов преобладает каолинит, на более глубоких уровнях – уже пластинчатые и трубчатые галлуазиты, а в основании геологического профиля, вблизи коренных пород встречается сферодальный галлуазит.

Ключевые слова: галлуазит, нанотрубки, наноструктуры, физико-химические свойства, оползень, тело оползня, плотность геомассы, каолиновые группы, каолиниты, гидрологический режим, галлуазитовые нанотрубки, подземный гидрологический режим.

В настоящее время всё большее внимание исследователей во всем мире привлекают наночастицы галлуазита — одного из многочисленных минералов каолиновой группы.

Так, в 2005 г. была опубликована обзорная работа [10], содержащая более 400 ссылок и обобщившая результаты исследований свойств галлуазита, начиная ещё с 1826 г., когда впервые был выполнен достоверный химический анализ этого минерала.

В последующей обзорной работе 2015 г. [16], были уже обобщены результаты исследований физико-химических свойств галлуазита, методов и результатов модифицирования его поверхности за период 2005-2015 гг.

В следующие 5 лет было опубликовано более десятка обзоров по исследованиям галлуазитов: подробно рассмотрены его физико-химические свойства [15], способы модифицирования его поверхности [14], получение и свойства различных композитов на основе галлуазита [13]. Несколько обзоров было посвящено современным

методам исследования: электронной микроскопии, позволяющей осуществлять исследования морфологии наночастицы [12], а также ИК- и КР-спектроскопии [11]. Также были изучены возможные наночастицы и наноструктуры [4] и пути их формирования в различных природных условиях [5].

Однако, осуществленный нами анализ показал также, что в профильной литературе не так много сведений о наночастицах галлуазита, их физико-химических и механических свойствах и формах нахождения в литосфере. Кроме того, следует отметить, что среди опубликованных в научной литературе работ нет ни одной, посвященной исследованию наночастиц галлуазитов, образованных в геомассе оползней.

Хотя содержание галлуазита в глинистых породах может колебаться от 6 до 100% [1], что обеспечивает большую актуальность исследованиям его физико-химических и механических свойств, определяющих его последующую работу, как наноподшипников в оползнях.

Поэтому необходим всесторонний и критический обзор предыдущих исследований нанотрубок природного галлуазита, дополненный собственными исследованиями, которые могут стать базовой предпосылкой для лучшего понимания их специфики образования, нахождения и работы в оползнях.

Материалы и методы. Каменные образцы собирались в ходе полевых работ на участке оползневого склона в Чеченской республике (в районе села Груш-Корт Шатойского района), в апреле 2024 г. Отобранные образцы (24 пробы) исследовались в лабораторных условиях ГНТУ петрографическими и химическими (масс-спектрометрией) методами, а также на основе микроскопов с высокой разрешающей способностью. При этом минералогию геоматериала определяли методом рентгеновской дифракции (XRD), а текстуру – с помощью сканирующей электронной микроскопии (EVO 40XVP Leo) и просвечивающей электронной микроскопии (JEOL JSM-100 CX II) [7].

Отбор проб оползневой геомассы. Полевые работы в 2024 г. осуществлялись на исследуемой территории села Груш-Корт Шатойского района Чеченской республики, путём 2-летних наблюдений за оползнями, определении местоположения точек отбора проб и непосредственно отбора проб геомассы (рис. 1).

Пробы геоматериала оползня отбирались в соответствии линиями выделенных профилей. При выборе мест отбора проб геомассы оползня учитывались следующие факторы: доступность места опробования, тип технологии отбора проб (прямой сбор с использованием лопаты, совка и соответствующего контейнера), планируемая глубина отбора проб (обычно ограничивается глубиной шурфа, равной 1,5 м), требуемый объем отдельной пробы, подземный гидрологический режим исследуемой территории и произрастающие на территории растительные сообщества, а также вид последующих анализов.

В ходе полевых исследований с территории, пострадавшей от оползня, было собрано и проанализировано 24 пробы, для последующего определения физико-механических характеристик почвы, грунтов и геоматериала.

После извлечения образцов геоматериала, каждый такой образец был размещен в полиэтиленовом пакете и запечатан парафином, чтобы сохранить его естественные условия. Все собранные образцы геоматериала были промаркированы, с указанием мест отбора проб и глубины расположения.

Физико-механический анализ геоматериала тела оползня. Было установлено, что отобранный оползневой геоматериал представлял собой сложную смесь всех типов четвертичных и эоловых отложений и унаследованных минералов подстилающих неогеновых пород. Визуально исследуемый склон преимущественно покрывают красноватые суглинки, супеси и тонкий слой чернозема (рис. 2).

В минералогическом отношении отобранный геоматериал в основном представлял собой обломки аргиллитов и глины (являющиеся слабопроницаемыми субстанциями), с содержанием илистых и песчаных компонентов (табл. 1). Глинистые минералы включают в себя слоистые силикаты, сложенные пластинчатыми структурами, волокнистый палыгорскит и сепиолит, а также некоторые аморфные вещества (например, аллофан).

Супесчаный геоматериал тела оползня содержал 22% песка, 18% ила (мельчайших фракций), 12% аргиллитов, 8% и 2% почв (чернозема и краснозема). Зёрна песка имеют диаметр от 0,05 до 2 мм, зерна ила – от 0,002 до 0,05 мм. Тогда как зерна глины имеют диаметр менее 0,002 мм. Ил по минералогическому составу довольно похож на песок, но благодаря более высокой своей удельной поверхности он более химически и физически активен, чем песок.

Физико-механические свойства кернов, отобранных из шурфов, пройденными нами через тело оползня, были исследованы лабора-



Рис. 1. Отбор проб на территории оползня в селе Груш-Корт Шатойского района Чеченской республики 16.04.24



Рис. 2. Отобранный геоматериал оползня

Таблица 1
Содержание различных геоматериалов на исследуемой территории

Тип	Покрытие (%)	Тело оползня
Глина	6,98	2,76
Суглинок	29,32	35,86
Аллювиальный	2,64	0,84
Без почвы	15,56	2,89
Илистая глина	43,70	37,42

Таблица 2
Физическо-механические свойства глинистого геоматериала оползня

Пластичность (%)	Содержание влаги (%)	Преобладающий диаметр (мкм)	Содержание илистых частиц (%)	Содержание глинистых частиц (%)
20	3,5	41	54	8,5

торными испытаниями. При исследовании проб геоматериала исходили из того, что их сжимаемость характеризуется модулем деформации и коэффициентом Пуассона, а сопротивление сдвигу — углом внутреннего трения и удельным сцеплением. Удельную плотность геомассы определяли методом пикнометра, а содержание естественной воды определяли путем просушивания пробы в муфельной печи, при температуре 110°C в течение 24 ч.

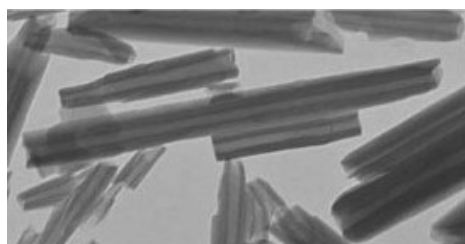
Полученные значения удельной плотности глинистой массы отличались друг от друга (т.к. были отобраны в разных точках профилей) и составляли от 2,22 до 2,58 г/см³. Плотность частиц почвы составила значение 1,6-2,7 г/см³. Плотность частиц глины (в зависимости от преобладания примесей песка и ила) составляла 1,8-3,5 г/см³, при гигроскопической влажности 2,2-3,5% (табл. 2).

Довольно низкие количественные значения удельной плотности обусловлены природой исследуемых геоматериалов, которые образуют менее плотные и менее связанные почвы, тем самым вызывая на склонах оползни (даже при незначительном изменении первоначальных природных условий).

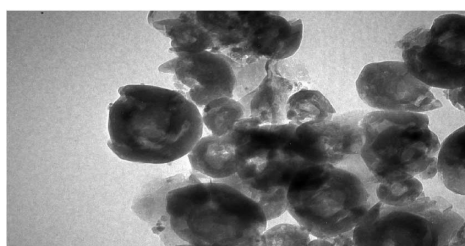
Таблица 3

Результаты измерения показателей инфильтрации отобранного геоматериала

Текстура почвы	Инфильтрация (мм/ч)
Суглинок	2,5 - 5,1
Илистый суглинок	7,6 - 12,5
Суглинок	12,7 - 25,4
Супесь	25,4 - 50,8



а)



б)

Рис. 3. Сфероидальные частицы наногаллуазита (а, б) [9]

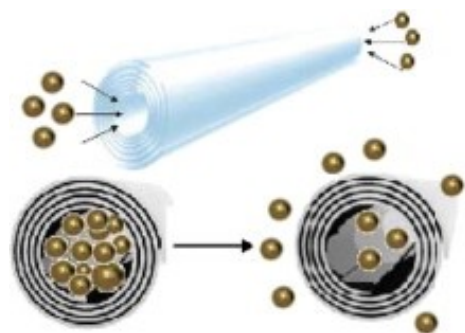


Рис. 4. Вода в прослоях нанотрубок галлуазита

Показатели прочности грунта (сцепление поверхности скольжения c' , угол внутреннего трения поверхности скольжения ϕ' , изменяемые в зависимости от степени упаковки частиц, т. е. от плотности геомассы), используемые в дальнейшем для анализа устойчивости горных склонов, определялись в лабораторных условиях внедрением в них стальных конусов.

В ходе испытаний было установлено, что образцы отобранного геоматериала имеют разные количественные показатели сцепления. Так, в зависимости от минералогических характеристик исследуемого геоматериала, были получены значения от 3 до 6 $кН/м^2$.

Значения углового трения исследуемой геомассы имеют разброс от 18,5 до 28,3°, что не является достаточно высоким, чтобы поддерживать должную устойчивость геомассы, поскольку углы наклона исследуемых горных склонов несколько больше углов внутреннего трения геоматериала.

Установленное значение адгезии суглинка составляет 10-20 $кПа$, а чернозема находилось в пределах 14-22 $кПа$. Такой разброс значений показателей обусловлен тем, что на адгезию почвы влияют многие факторы (в том числе, минералогические показатели и физико-механические свойства почвы, влажность, а также характеристики внешней среды).

Низкие показатели сцепления указывают на плохое сцепление между отдельными частицами исследуемого геоматериала или на несколько слабый контакт между ними, и, следовательно, на низкое сопротивление трению, что при их размещении на горных склонах приводит к возникновению оползней и их перемещению вниз (особенно после сильных и продолжительных дождей). При этом, присутствие воды существенно уменьшает фрикционный контакт зерна с зерном и, следовательно, существенно снижает значение сцепления частиц геоматериала.

Полученные количественные значения пористости отобранных проб имеют средние высокие значения и отражают степень водопроницаемости геоматериалов исследуемой территории. При водонасыщении исследуемых образцов фактический объем воды в них резко увеличивается, тем самым увеличивая их вес и снижая их прочностные характеристики на сдвиг.

При этом существующая количественная доля глинистых минералов в мелкозернистой геомассе также влияет на её физико-механическое состояние (особенно на её склонность к набуханию и сжатию при изменении содержания воды), поэтому такой геоматериал склонен к внезапному разрушению.

Также была исследована скорость инфильтрации воды в рыхлой геомассе (табл. 3).

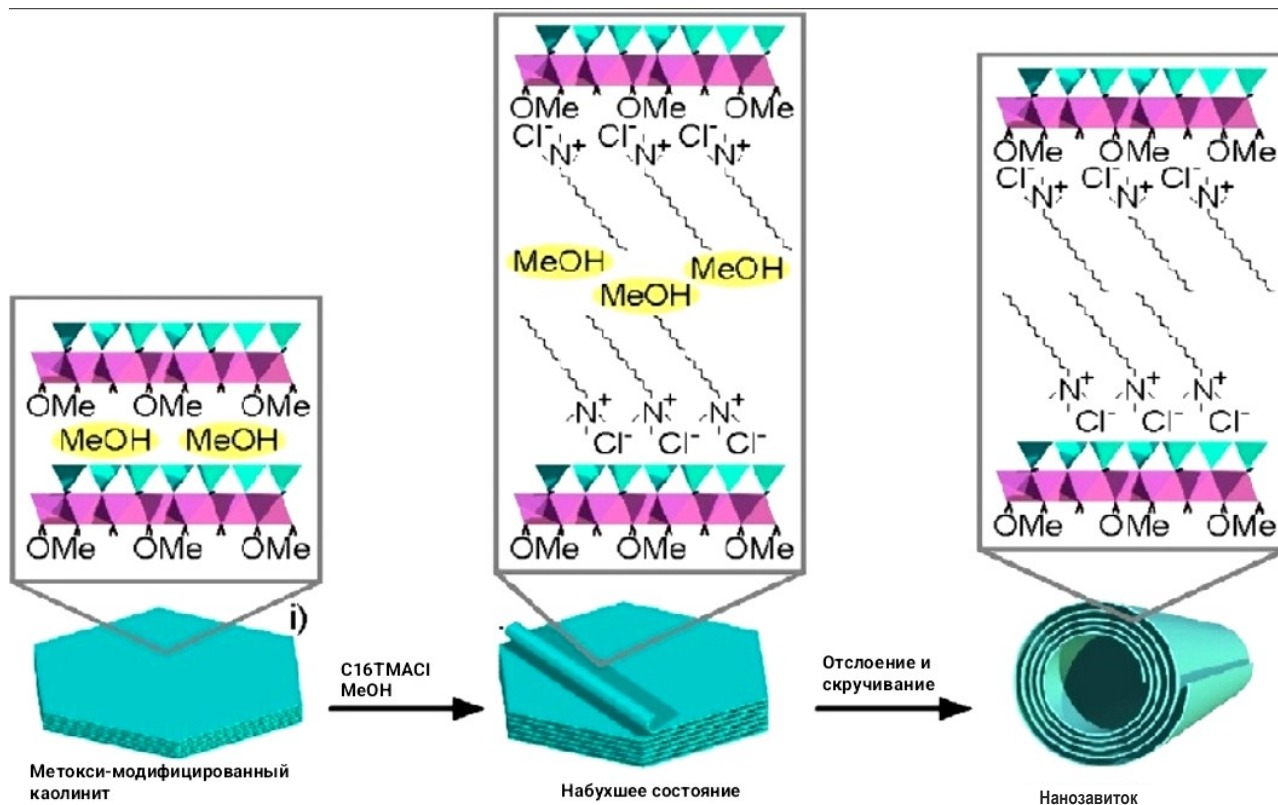
Основные физико-химические особенности наночастиц галлуазита. Наночастицы галлуазита возникают в результате процессов выветривания, педогенеза или гидротермальных изменений (определяющих условия кристаллизации [2] в основном ультраосновных пород – слюды и полевых шпатов. Кроме такой закономерности, следует отметить, что химический состав окружающих насыщенных водных растворов является ещё одним важным фактором [3], предопределяющим вид образующейся минеральной фазы.

В общем виде, галлуазит представляет собой природный двухслойный алюмосиликат, с преимущественно полый трубчатой (при этом оба конца такой нанотрубки, как правило, открыты) или сфероидальной структурой (рис. 3 а, б), находящейся в субмикронном диапазоне (наноуровне) [6]. При этом трубчатая структура является доминирующей морфологией наночастиц галлуазита.

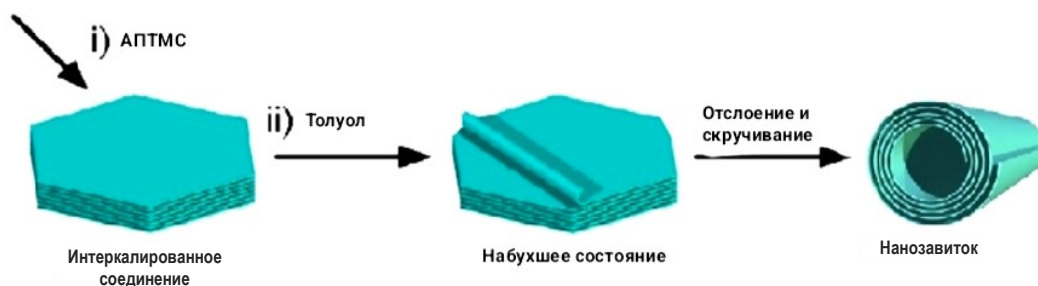
При этом, в ходе исследований было установлено, что морфология наночастиц галлуазита зависит от исходной текстуры породы [9]: так, сфероидальный галлуазит изначально относится к породам с низкой пористостью, а трубчатые наночастицы – к породам с многими открытыми пространствами. Это подтверждается тем, что, как правило, на поверхности сильно выветрелых гнейсов преобладает каолинит, на более глубоких уровнях – уже пластинчатые и трубчатые галлуазиты, а в основании геологического профиля, вблизи коренных пород встречается сфероидальный галлуазит.

Необходимо отметить, что галлуазиты и каолиниты имеют практически идентичный химический состав и состоят из алюмосиликатных слоев (которых в галлуазитовой нанотрубке может быть 15 и более), за исключением того, что галлуазит может иметь до двух молекул H_2O – $(Al_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot 2H_2O)$. Кроме воды, входящей в химическую формулу галлуазита, как правило, ещё имеется вода, содержащаяся в его минеральной матрице (рис. 4), т.к. отдельные слои галлуазита разделены монослоем молекул воды. Необходимо отметить, что вода, находящаяся в прослоях галлуазита, оказывает решающее влияние на морфологию его наночастиц, которые обычно имеют скрученную, а не пластинчатую форму, как каолинит.

Было установлено, что нанотрубки галлуазита, как правило, образуются в результате происходящей деформации, вызванной



Одноэтапный метод



Двухэтапный метод

Рис. 5. Схематические изображения превращения каолина в нанотрубки [16]

резким несоответствием решеток между соседними слоями диоксида кремния и оксида алюминия (рис. 5). Так, формирование трубчатой структуры обычно инициируется возникающим напряжением атомного масштаба в единичном слое галлуазита [16], вызываемое несоответствием более крупных тетраэдрических элементов ($a = 5,02 \text{ \AA}$; $b = 9,164 \text{ \AA}$) несколько меньшим ($a = 5,066 \text{ \AA}$; $b = 8,655 \text{ \AA}$) октаэдрам.

В итоге, под влиянием возникающих сил и гидратных вод соседние слои глинозема и кремнезема изгибаются и образуют многослойные трубки из-за беспорядка упаковки [1]. В результате, при сворачивании галлуазитовой нанотрубки, слой с оксидом алюминия, находится внутри неё, а слой с оксидом кремния – снаружи (рис. 6).

Нанотрубки галлуазита, представляют собой уникальные и универсальные наноматериалы, состоящие из двойного слоя алюминия, кремния, водорода и кислорода, сформированные в виде

полых трубок, с внешним диаметром менее 100 нм (диаметр внутреннего просвета – 15 нм) и длиной от 500 нм до более $1,2 \text{ мкм}$ (в зависимости от геологических отложений). При этом, расстояние между слоями такой нанотрубки галлуазита зависит от степени гидратации [8]: при $n = 0$ межслоевое расстояние составит $0,7 \text{ нм}$ и 1 нм при $n = 2$ и т.д. Типичная удельная поверхность таких нанотрубок галлуазита составляет $20\text{-}65 \text{ м}^2/\text{г}$ (но может достигать $150\text{-}200 \text{ м}^2/\text{г}$), объём пор $\sim 1,25 \text{ мл/г}$, показатель преломления $1,54$, удельный вес $2,53 \text{ г/см}^3$.

Галлуазитовые нанотрубки содержат 2 типа гидроксильных групп, внутренние и внешние гидроксильные группы, которые расположены между слоями и на поверхности нанотрубок, соответственно. При этом, внешняя поверхность нанотрубок — силосановые (Si-O-Si) группы [1]. На внутренней поверхности присутствуют только реакционноспособные группы AlOH. Вследствие различных ионизационных свойств оксидов алюминия и кремния в диапазоне

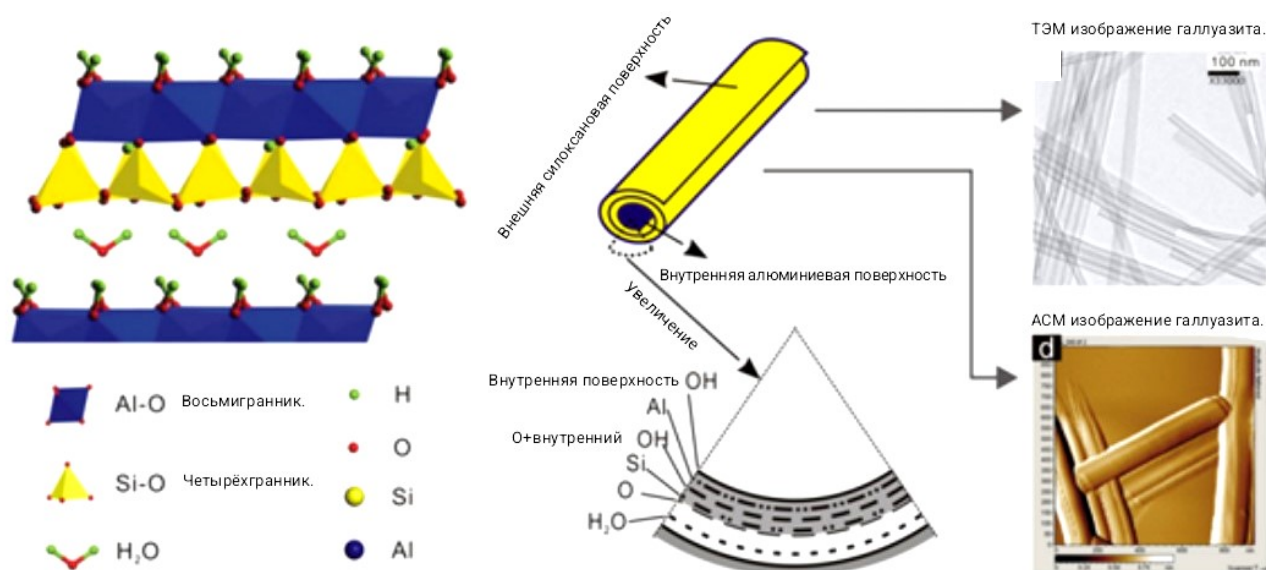


Рис. 6. Схематическое строение нанотрубки галлуазита

pH от 2,5 до 8,5 внутренняя поверхность нанотрубки заряжена положительно, а внешняя — отрицательно. Поверхность галлуазитовых трубок представляет собой кремнезем, а внутренняя часть — оксид алюминия, что обеспечивает в водных дисперсиях при нормальном pH сильный отрицательный зета-потенциал около -30 мВ на поверхности трубки и $+25$ мВ во внутренней её части. В результате положительный (ниже pH 8,5) заряд внутреннего просвета способствует загрузке галлуазитовых нанотрубок отрицательными макромолекулами внутри пустот, которые в то же время отталкиваются от отрицательно заряженных внешних поверхностей. Поскольку состав, заряд и химическая активность внутренней и внешней поверхностей нанотрубок галлуазита неодинаковы, то различны и их адсорбционные свойства [1]. Так, на внешней, отрицательно заряженной поверхности предпочтительно адсорбируются катионы и положительно заряженные вещества. А на внутренней поверхности — анионы и вещества, имеющие отрицательный заряд. Химически внешняя поверхность нанотрубок галлуазита имеет свойства, аналогичные SiO_2 , в то время как внутреннее ядро цилиндра связано с Al_2O_3 [6]. Поэтому такая трубчатая структура наногаллуазита обладает различными реакционными свойствами, т.е. реакционная

способность внешней поверхности, внутренней поверхности просвета и межслоевой поверхности нанотрубок галлуазита существенно отличается, что обеспечивает в дальнейшем широкие возможности этого геоматериала.

Зарядовое (дзета-потенциал) поведение частиц галлуазита можно грубо описать с помощью суперпозиции в основном отрицательного (при pH 6-7) поверхностного потенциала SiO_2 с небольшим вкладом от положительной внутренней поверхности Al_2O_3 . Положительный (ниже pH 8,5) заряд внутреннего просвета способствует загрузке нанотрубок галлуазита отрицательными макромолекулами, которые в то же время отталкиваются от отрицательно заряженных внешних поверхностей.

Закключение. Нанотрубки галлуазита обладают специфическими свойствами, которые позволят в дальнейшем объяснить механизм катастрофического перемещения геомассы оползней (за короткий период времени и на довольно длительные расстояния).

***Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-27-00444. <https://rscf.ru/project/23-27-00444/>, 2023 г.**

Библиографический список:

1. Атяжиева Л.Ф., Касьянов И.А. Галлуазит — природные алюмосиликатные нанотрубки: структурные особенности и адсорбционные свойства // *ADVANCED MOLECULAR SIEVES*. — Том 3. — № 2. 2021. — С. 124-143.
2. Воробьев А.Е., Воробьев К.А. и др. Методология и лабораторные методы исследования физико-химических свойств наночастиц: Учебно-методический комплекс по дисциплине «Методы изучения минералов, руд и горных пород» // А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев, Чжан Ляньцзы, Г.К. Кожоголова. — М.: Издательство «Спутник +», 2023. — 36 с.
3. Воробьев А.Е., Гладуш А.Д. Наноинженерия топливно-энергетического комплекса. Т 2. Наноассоциаты пород и наноминералы. — М.: РУДН, 2019. — 411 с.
4. Воробьев А.Е., Ибылдаев М.Х. Наноструктуры и наночастицы // *Механика и технологии*. — № 2. Казахстан, 2015. — С. 95-102.
5. Воробьев А.Е., Мадаева М.З., Кожоголова Г.К., Удаева М.С.-А. Анализ механизмов формирования наночастиц в горной массе // *Устойчивое развитие горных территорий*. Т. 15. № 3 (57). 2023. — С. 581-589.
6. Львовский Ю., Рональд. Применение галлуазитных нанотрубок в исследованиях наноматериалов. https://www.researchgate.net/publication/285785913_Halloysite_nanotubes_and_applications_A_review.
7. Методология и лабораторные методы исследования физико-химических свойств наночастиц // А.Е. Воробьев, К.А. Воробьев, Чжан Ляньцзы, Г.К. Кожоголова / Учебно-методический комплекс по дисциплине «Методы изучения минералов, руд и горных пород». — М.: Издательство «Спутник +», 2023. — 36 с.
8. Ткач Е.В., Бичаев М.И. Влияние галлуазитовых нанотрубок на физико-механические свойства эпоксидных композитов // *Строительство и реконструкция* №3 (89). 2020. С. 120-130. DOI: 10.33979/2073-7416-2020-89-3-120-130.
9. Воробьев А.Е., Зарума М.Т. Особенности исследования пористости горных пород // *Горный вестник Узбекистана*. — № 2 (93). — Навои, 2023. — С. 90-94.

10. Воробьев А.Е., Кожоголов К.Ч., Воробьев К.А. и др. Выявление и анализ триггерных механизмов возникновения катастроф в геосистемах Земли // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2020. № 2 (54). – С. 121-133.
11. Воробьев А.Е., Кожоголов К.Ч., Каримов Э.М. Жер кечкүлөрдүн талаа изилдөөлөрү (Полевые исследования оползней) // Известия Ошского технологического университета (Кыргызстан). 2023. № 2-1. – С. 214-221.
12. Воробьев А.Е., Кожоголов К.Ч., Кожоголов Б.К., Воробьев К.А. и др. Анализ триггерных механизмов возникновения катастрофических событий в геосистемах Земли // Научно-технический журнал N 41 (Кыргызстан). 2020. – С. 46-63.
13. Sadjadi S. Halloysite-based hybrids/composites in catalysis // Applied Clay Science V. 189. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105537>.
14. Воробьев А.Е., Кожоголов К.Ч., Разаков Ж.П., Кожоголов Б.К., Тагаев Р.А., Воробьев К.А. и др. Геоинжиниринг: оружие поражения или технологии развития? // Под редакцией Ивашова Л.Г. – Бишкек (Кыргызстан), 2020. – 406 с.
15. Воробьев А.Е., Кожоголова Г.К. Возможности и условия формирования наночастиц в горной массе // Горный вестник Узбекистана. – № 1 (92). – Навои, 2023. – С. 71-76.
16. Воробьев А.Е., Кожоголова Г.К. Выявление базовых механизмов и основных особенностей передвижения геомассы оползней // Горный вестник Узбекистана. – № 3 (90). – Навои, 2022. – С. 20-26.
17. Воробьев А.Е., Кожоголова Г.К. Исследование быстрых и протяженных глинистых оползней // Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – № 2. – Бишкек: Илим, 2022. – С. 32-41.

1M63

ТОКАРНО – ВИНТОРЕЗНЫЙ
СТАНОК



NMZ
Илгичи экинчи ва милолат

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ЭПОКСИДНЫХ ОЛИГОМЕРОВ БЛОКИРОВАННЫМИ ДИИЗОЦИАНАТАМИ



Мухиддинов Б.Ф.,
профессор кафедры
«Химическая технология» НГГТУ,
д.х.н.



Самадов С.С.,
докторант
ГУП «Наука и прогресс»
при ТГТУ им. И. Каримова



Ахтамов Д.Т.,
доцент кафедры
«Химическая технология» НГГТУ



Шодиев А.Ф.,
доцент факультета «Сельское
хозяйство» НГГТУ

Maqolada karyerlarda portlovchi moddali skvajinali zaryadlarni portlatish paytida nazorat qilinadigan va nazorat qilinmaydigan maydalash zonalari o'rganildi. Tog' jinslarini maydalash sifatini nazorat qilish asoslari va portlatish skvajinalarini joylashtirishning texnologik sxemasi ishlab chiqilgan. Tog' jinslarining fizik-mexanik xususiyatlarining minimal to'plami va qazib-yuklash uskunalari parametrlari asosida ishlab chiqilgan texnologik sxemaning parametrlarini hisoblash uchun formulalar tavsiya etiladi.

Tayanch iboralar: portlash energiyasini boshqarish, nazorat qilinadigan va nazorat qilinmaydigan maydalash zonalari, portlovchi modda zaryadi parametrlari, kvajinaning joylashuv to'ri, maydalash zonasi radiusi, skvajina joylashishining texnologik sxemasi, katta hajmli bo'laklarning chiqishi, tog' jinslarini maydalash darajasi.

В работе исследованы зоны регулируемого и нерегулируемого дробления при взрыве скважинных зарядов взрывчатых веществ на карьерах. Разработаны основы регулирования качеством дробления горных пород и технологическая схема расположения взрывных скважин. Рекомендованы формулы для расчёта параметров разработанной технологической схемы исходя из минимального набора физико-механических характеристик горных пород и параметров выемочно-погрузочного оборудования.

Ключевые слова: управление энергией взрыва, зоны регулируемого и нерегулируемого дробления, параметры заряда взрывчатых веществ, сетка расположения скважин, радиус зоны дробления, технологическая схема расположения скважин, выход негабарита, степень дробления горных пород.

Эпоксидные полимеры широко применяются в различных отраслях промышленности, таких как: самолётостроении, ракетостроении, судостроении, машиностроении, в строительстве и других отраслях. Одной из важнейших задач в этом направлении является значительное улучшение физико-механических и эксплуатационных свойств эпоксидных полимерных материалов и изделий из них, при одновременном их долговечности, и снижения себестоимости изготавливаемых изделий различного назначения [1-5].

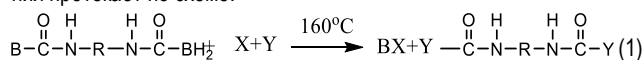
Однако ряд ценных показателей может быть достигнут только при использовании изоцианатных отвердителей. Перспективным направлением в этой области являются блокированные диизоцианаты (БДИ).

Применение БДИ позволяет снизить летучесть и плотность, ликвидировать токсичность диизоцианатов, а самое главное – воспрепятствовать взаимодействию изоцианатных групп с аминным отвердителем эпоксидной смолы. Тем самым достигается возможность совмещённого отверждения эпоксидных смол, т.е. БДИ способны к образованию дополнительных сшивок, по гидроксильным и непрореагировавшим к тому моменту эпоксидным группам.

Известно [6-7], что если процесс гелеобразования проводить при повышенных температурах (до 90°C), то наблюдается экзотермический максимум порядка 160-170°C. Обменное разложение БДИ протекает в интервале температур 80-170°C.

Таким образом, к моменту гелеобразования в реакционной системе создаются температурные условия для «расщепления» БДИ.

На основании работ авторов [8-10] можно предположить, что процесс обменного разложения БДИ в реакционной системе эпоксидная смола-отвердитель, полученный к моменту гелеобразования протекает по схеме:



где В – остаток блок агента;

R – 2,4-толуилен;

X – соединение, содержащее эпоксигруппу;

Y – соединение, содержащее гидроксильную группу.

Из этого следует, что для исследования механизма процесса отверждения эпоксидных смол пиперидинов в присутствии БДИ, необходимо исследовать первоначально возможные взаимодействия промежуточных соединений, т.е. исследовать возможности взаимодействия эпоксидных и диизоцианатных групп, эпоксидных и различных гидроксильных групп. Затем необходимо исследовать возможность влияния всех реакционноспособных групп, имеющих к моменту гелеобразования на процесс обменного разложения БДИ.

Поэтому в данной работе использовался 2,4-толуилendiизоцианат (ТДИБ) блокированный диэтиламино. Это соединение дает достаточно простой спектр, что тем самым облегчает интерпретацию спектров ЯМР ¹H и ¹³C. В качестве модели эпоксидной смолы в работе использован фенилглицидиловый эфир (ФГЭ).

Объект и методы исследования. Объектом исследования были выбраны эпоксидиановые олигомеры, имеющие в своем

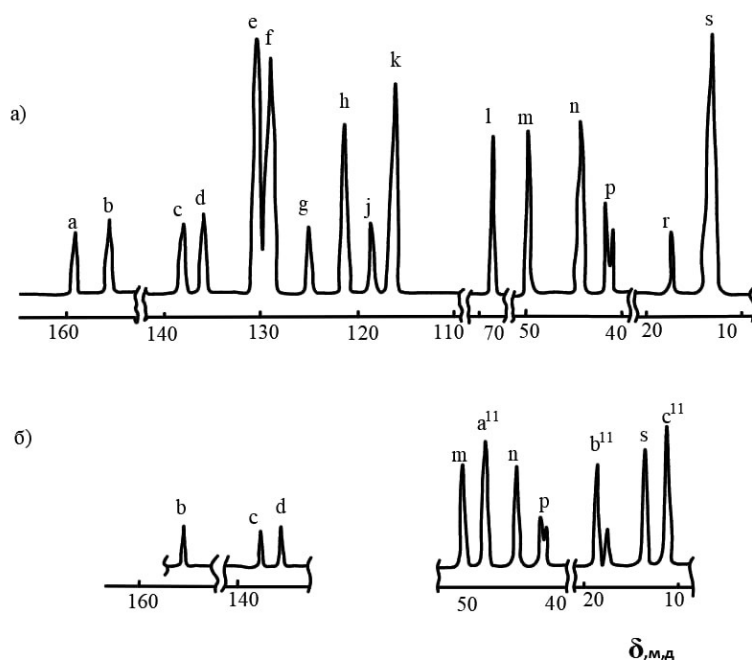


Рис. 1. Спектр ЯМР ^{13}C раствора реакционной смеси фенолглицидиловый эфир – толуиленидиизоцианат блокированный диэтиламино (2:1) в орто-дихлорбензоле а) до нагрева; б) после прогрева при 170°C в течение 4 ч (область сигналов от 156 до 137 м.д. от 44 до 52 м.д.; от 12 до 18 м.д.)

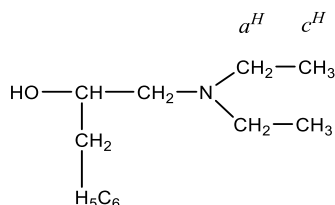
составе как эпоксидные, так и гидроксильные группы, и тем самым, дающие широкие возможности для проведения модификации. Для отверждения эпоксидиановых олигомеров был использован вторичный ароматический амин – пиперидин.

Используемые для модификации модификаторы-блокированные диизоцианаты представляют собой аддукты смеси 2,4- и 2,6-толуиленидиизоцианата (в соотношении 60:40).

Спектры ЯМР ^1H регистрировались на спектрометре С 60-NL (фирма «Jeol», Япония). Рабочая частота – 60 МГц. Площади пиков измеряли электронным интегратором спектрометра с точностью до 2%. Для определения химических сдвигов и относительных площадей сигналов в ампулу с образцом помещали коаксиальный запаянный капилляр с гексаметилдисилаканом $(\text{CH}_3)_3\text{-Si-Si-(CH}_3)_3$ (ГМДС). Отверждение исследуемых систем проводилось в ампулах непосредственно в датчике спектрометра, в термостатированной камере, с регулируемой температурой.

Спектры ЯМР ^{13}C регистрировались на спектрометре WH – 90 (фирма «Bruker» ФРГ). Рабочая частота – 90 МГц. Были использованы метод Фурье – преобразования с применением широкополостной развязки от спин-спинового взаимодействия, а также режим «неполной развязки от протонов». Внутренним эталоном был использован ГМДС, химический сдвиг которого, относительно тетраметилсилана принят нами равным 2,4 м.д.

Полученные результаты и их обсуждение. Известно [8], что блокированные диизоцианаты расщепляются как путем термической диссоциации, так и путем обменных реакций. Однако,



температура термической диссоциации толуиленидиизоцианата блокированного диэтиламино существенно выше [7] того

экзотермического максимума ($+170^\circ\text{C}$), который наблюдается к моменту гелеобразования при отверждении эпоксидной смолы пиперидином и лежит в области термического разложения образующегося полимера. Поэтому для исследования процесса отверждения эпоксидных смол пиперидином в присутствии блокированного диизоцианата ТДИБ, следует выяснить: какие соединения, имеющиеся в реакционной смеси к моменту гелеобразования обуславливают обменное разложение ТДИБ.

Система ФГЭ-ТДИБ. Спектр ЯМР ^{13}C раствора реакционной смеси ФГЭ-ТДИБ (2:1) в о-дихлорбензоле до прогрева (рис. 1, а).

В спектре ЯМР (область сигналов от 156 до 137 м.д.; от 44 до 52 м.д.; от 12 до 18 м.д.) промежуточной реакционной смеси, прогретой в течение 4 ч при 170°C (рис. 1, б) наблюдаются значительные изменения. Во-первых, резко уменьшается интенсивность сигналов эпоксидных групп ФГЭ, а также сигналов углеродных атомов ТДИБ. Во-вторых, появились новые сигналы: пик при 47,85 м.д. (a^{H}); пик при 17,9 м.д. (b^{H}); пик при 12,40 м.д. (c^{H}).

Сравнительный анализ углеродных спектров прогретой промежуточной реакционной смеси ФГЭ-ТДИБ (рис. 1), позволяет провести отнесение сигналов, которые появились в спектре на рис. 1, б: пики a^{H} и c^{H} отвечают соответственно CH_2 - и CH_3 -группами третичного амина, пик b^{H} – CH_3 -группе свободного ТДИ.

Спектры ЯМР ^{13}C конечных продуктов реакционной смеси ФГЭ-ТДИБ являлись суперпозицией спектров ЯМР продуктов взаимодействия третичного амина (только в этом случае третичный амин получался на основе добавления к ФГЭ эквивалентного количества диэтиламина, а не пиперидина). Полученные результаты показывают, что в интервале температур 160-170 $^\circ\text{C}$ в присутствии эпокси-групп возможно протекание обменного разложения ТДИБ и процесс их перэтерификации.

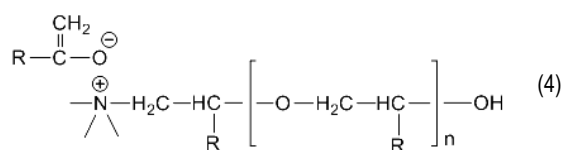
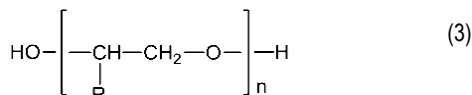
Для возможности проведения обменного разложения БДИ необходимо наличие двух условий: групп или соединений, способствующих протеканию обменного разложения и достаточной температуры для его проведения.

Учитывая эти два условия можно представить следующий механизм отверждения эпоксидных олигомеров пиперидином в присутствии модификаторов – БДИ.

В эпоксидный олигомер вводится расчётное количество (исходя из соотношения 0,22 моля отвердителя на один эпоксиэквивалент) отвердителя и модификатора, и при температуре равной 70°C происходит процесс гелеобразования.

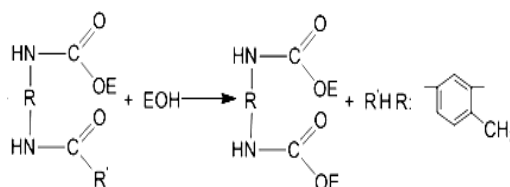
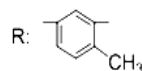
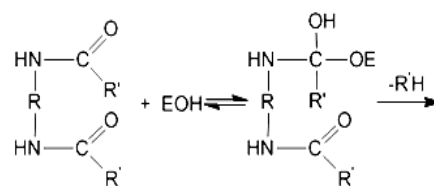
Оптимальное количество отвердителя и температура проведения гелеобразования взята исходя из полученных данных [6, 11-13].

Образовавшиеся глобулы полимера состоят в основном из линейных молекул простого полиэфира имеющего на концах гидроксильные группы (3) или ассоциации алкоксианиона (4).



Межглобулярное пространство состоит из молекул третичного аминспирта, соединений содержащих двойные винилиденные связи, а также непрореагировавших эпоксидных олигомеров. Таким образом, к моменту завершения стадии гелеобразования в системе образуется среда, способствующая проведению обменного разложения БДИ. А именно присутствуют эпоксидные группы, способные, как мы установили методом ЯМР, вызывать процесс переэтерификации. Кроме того, известно [14-16], что такой же способностью обладают двойные связи винилиденного типа, а катализаторами этого процесса являются третичные амины.

Поэтому для проведения модификации необходимо лишь повысить температуру отверждения до значения, равного температуре обменного разложения модификатора. Поле же деятельности модификатора обширно. Это и собственные гидроксильные группы эпоксидной смолы, и концевые группы образовавшихся полимерных цепей. Обогащена гидроксильными группами и межглобулярная область. Схематически процесс модификации можно представить следующим образом:



R' - блок-агент;

ЭОН – эпоксидный полимер (или третичный амин), содержащий гидроксильную группу.

Выделяющийся блок-агент в зависимости от своего строения и природы, способен присоединяться к полимеру с образованием боковых привесок полимеризоваться. В результате такой модификации образуются связи по гидроксильным группам, т.е. формируется дополнительная сетка. Поскольку диизоцианаты имеют симметричное строение, то они могут являться мостиками между надмолекулярными образованиями – глобулами эпоксидных цепей, а также между глобулами и межмолекулярным веществом.

Методом ЯМР высокого разрешения на ядрах ¹H, ¹³C исследован механизм модификации эпоксидных полимеров блокированными диизоцианатами. Показано, что в моделирующих условиях проведения отвержденных эпоксидных смол пиперидином, раскрытие эпоксидного цикла диизоцианатом не происходит.

Определено, что обменное разложение толуилنديзоцианата блокированного диэтиламино происходит под действием эпоксидных групп при температуре 160°C.

Библиографический список:

1. Розенберг Б.А., Олейник Э.Ф. Образование, структура и свойства эпоксидных матриц высокопрочных композитов. Успехи химии. – Россия, 1984, т. 53, № 2. – С. 273-289.
2. Олейник Э.Ф. Структура и свойства густосшитых полимеров в стеклообразном состоянии // Автореф. на соискание уч. степени докт. Наук. Москва, Институт химической физики АН СССР, 1980. – 35 с.
3. Иржак В.И., Розенберг Б.А. Ениколопян Н.С. Сетчатые полимеры. – М.: Химия, 1979. – 210 с.
4. Розенберг Б.А., Ениколопян Н.С. Проблемы технологичной монолитности изделий из композиционных материалов. Журнал Всес. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева. 1978, т. ХХП, № 3. – С. 298-304.
5. Смирнов Ю.Н., Штейнберг В.Г., Миронова Т.А., Иржак В.И., Розенберг Б.А. О характере влияния низкомолекулярных жидкостей на локальное движение в густосшитых эпоксидных полимерах. 1983. – С. 762-764. <http://polymsci.ru>.
6. Ли Х., Невилл К. Справочное руководство по эпоксидным смолам. – М.: Энергия, 1973. – 270 с.
7. Энциклопедия полимеров. – М.: Советская энциклопедия, т. 3, 1977. – 1152 с.
8. Саундерс Д.Х., Фриш К.К. Химия полиуретанов. – М. Химия, 1968. – 386 с.
9. Попов К., Леус З.Г., Пляшечник Н.И., Ситкин А.И., Батизат В.П., Плотникова А.В., Ковалева Н.М., Зайцева Н.П. Замещенные биомочевины – латентные отвердители и ускорители отверждения эпоксидных смол // Пластические массы. – Москва, 1985. № 7. – С.43-46.
10. Шалкин А.Н., Тарасова З.Н., Донцов А.А. Особенности вулканизации СКИ-3 с помощью 2,4-толуилنديзоцианата, блокированного – нитрозофенолом. Каучук и резина. – Москва, 1979. № 6. – С. 7-9.
11. Шипилевский Б.А. Формирование и регулирование свойств эпоксидных композитов. – Ташкент: Фан УзССР, 1979. – 112 с.
12. Иржак В.И., Розенберг Б.А., Ениколопян Н.С. Сетчатые полимеры. – М.: Химия, 1979. – 210 с.
13. Шипилевский Б.А. Химическое формирование композиционных материалов на основе олигоэпоксидов и циклических аминов. – Диссертация на соискание уч. степени докт. техн. наук. – Москва, 1981. – 512 с.
14. Гончарова Л.Т., Шварц А.Г., Андреева В.С., Сафронова Л.В. Модификация резиновых смесей блокированными диизоцианатами. Каучук и резина. – Москва, 1982. № 6. – С. 8-11.
15. Алексеева И.К., Пращичкина А.С., Эсаулова А.В., Шварц А.Г., Лыкин А.С., Андреев Л.В., Буканов И.Г., Евстратов В.Ф. Модификаторы полифункционального действия для шинных резин. Ж. Всес. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева, Х981, т. ХХУХ, № 5. – С. 115-116.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ПРОЦЕССОВ ФИЛЬТРАЦИИ ПРИ ПОДЗЕМНОМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ



Бобоназаров Ж.Р.,
ассистент
Кафедры «Высшая математика и информационные технологии» НГТУ



Карабекян С.Х.,
старший преподаватель
кафедры «Высшая математика и информационные технологии» НГТУ

Geotexnologik hisob-kitoblarni va ularni amalga oshirish uchun zarur bo'lgan dastlabki geotexnologik parametrlarni aniqlash metodologiyasi masalalari ko'rib chiqiladi. Jarayonni har tomonlama tavsiflash va uning fizik ma'nosini tushuntirish uchun determinantlangan matematik modellar ko'rib chiqiladi.

Tayanch iboralar: yer osti yuvish, kimyoviy eritma, kontsentratsiya, filtrlash, oqim kesimi, determinantlangan matematik modellar.

Рассматриваются вопросы прогнозных геотехнологических расчётов и методика определения исходных геотехнологических параметров, необходимых для их проведения. Для всестороннего описания процесса и пояснения его физического смысла рассматриваются детерминированные математические модели.

Ключевые слова: подземное выщелачивание, химический раствор, концентрация, фильтрация, сечение потока, детерминированные математические модели.

При реализации геотехнологических методов добычи полезных ископаемых, в том числе подземного выщелачивания урана, изучение и контроль процесса сопряжены с существенными трудностями получения его показателей непосредственно в активной зоне. Эти показатели достаточно надёжно могут контролироваться только на поверхности земли, т.е. на входе в геотехнологическую систему и на выходе из неё. Поэтому для обеспечения максимальной полноты изучения геотехнологических методов с целью прогнозирования и оптимизации их режима необходимо сочетание математического и физического моделирования соответствующих процессов. Физическое моделирование, т.е. непосредственную реализацию в определённом масштабе изучаемого геотехнологического процесса, обычно разделяют на лабораторное и натурное.

Математические модели в свою очередь могут быть разделены на детерминированные и статистические. Первые базируются на общих законах природы, т.е. должны в той или иной форме включать полный комплекс зависимостей, установленных для всех физических и химических процессов, составляющих рассматриваемый геотехнологический способ добычи. Вторые имеют в своей основе устанавливаемые опытным путём связи показателей основных природных факторов с режимом процесса на входе в геотехнологическую систему и результатами, получаемыми на выходе.

Рассматриваемые далее вопросы прогнозных геотехнологических расчётов и методики определения исходных геотехнологических параметров, необходимых для их проведения, по существу, базируются на использовании статистических моделей. Однако, для всестороннего описания процесса и уяснения его физического смысла необходимо в первую очередь рассмотреть детерминированные математические модели.

С физико-химической позиции подземное выщелачивание можно определить как процесс гетерогенных химических взаимодействий, сопровождающийся изменением концентраций, реагирующих веществ в жидкой и твёрдой фазах при фильтрационном

перемещении жидкой фазы в пределах рассматриваемого объёма выщелачивания. Под объёмом выщелачивания, таким образом, понимается часть объёма рудовмещающего пласта, в пределах которой реализуется фильтрация растворителя [1-4].

В соответствии с этим определением под математическими моделями процесса подземного выщелачивания следует понимать зависимости, позволяющие определять концентрации реагирующих веществ и продуктов реакций в жидкой и твёрдой фазах как функции времени и координат пространства в пределах выщелачиваемого объёма.

Эти зависимости должны включать в себя в качестве параметров характеристики выщелачиваемого объёма и задаваемого технологического режима на входе в систему. Основными параметрами технологического режима являются состав и концентрация растворителя, скорость его фильтрации в выщелачиваемом объёме и геометрия сети технологических скважин.

Таким образом, математические модели подземного выщелачивания могут быть получены путем совместного решения системы дифференциальных уравнений, описывающих в пределах выщелачиваемого объёма кинетику гетерогенных химических взаимодействий, а также массоперенос растворителя и продуктов реакций в фильтрационном потоке.

Фундаментальной научной основой, на которой могут базироваться разработки математических моделей подземного выщелачивания, является диффузионно-кинетическая теория гетерогенных процессов. Согласно этой теории в гетерогенных реакциях растворения выделяются три основные стадии:

- поступление растворителя к поверхности твёрдого вещества, на которой происходит реакция;
- собственно химическое взаимодействие на поверхности раздела фаз;
- удаление, отвод продуктов реакции от реакционной поверхности.

Итоговая скорость процесса растворения (точнее, скорость процесса извлечения или выщелачивания полезного компонента) определяется скоростями всех трёх стадий таким образом, что величина, обратная коэффициенту суммарной скорости процесса, равна сумме величин, обратных коэффициентам скоростей отдельных стадий. Из этого следует, что в случаях, когда скорость какой-либо одной стадии значительно меньше скорости других стадий, суммарная скорость процесса по существу определяется скоростью самой медленно протекающей стадии. Если скорость межфазового химического взаимодействия на реакционной поверхности значительно превышает скорость подвода растворителя и отвода продуктов реакции, общая скорость процесса выщелачивания определяется именно двумя последними стадиями, осуществляемыми за счёт фильтрации и диффузии. Такой тип режима выщелачивания называется диффузионным (точнее был бы термин фильтрационно-диффузионный). Основной его характерной особенностью является зависимость суммарной скорости процесса выщелачивания от скорости движения растворителя. Если скорость межфазового химического взаимодействия на реакционной поверхности мала сравнительно со скоростями подвода растворителя и отвода продуктов реакций, то именно кинетика химического взаимодействия определяет суммарную скорость процесса выщелачивания. Такой тип режима называется кинетическим. Основной его особенностью является независимость суммарной скорости процесса от скорости движения растворителя. И, наконец, при сопоставимых величинах скоростей отдельных стадий все они существенно влияют на суммарную скорость процесса выщелачивания. Режим процесса в таких случаях определяется как диффузионно-кинетический (или переходный). Скорость процесса извлечения урана определяется главным образом скоростью отвода растворенных веществ. Этот вывод имеет важное практическое значение, поскольку в случае его справедливости для конкретных объектов открываются реальные возможности ускорения процесса отработки месторождений подземным выщелачиванием за счет увеличения скорости фильтрации растворителя. Попытка использования особенности подземного фильтрационного выщелачивания урана в пластовых условиях была предпринята В.С. Голубевым, Г.Н. Кричевцом и др. Они рассмотрели и задачи об одномерном фильтрационном выщелачивании (начальное содержание которого в твердой фазе q_0 , текущее – q) раствором кислоты с концентрацией на входе a_0 с учетом реакции кислоты с рудным минералом (начальное содержание). При действительной скорости конвекции раствора U авторами приняты следующие допущения $m_0 > q_0$; реакции выщелачивания имеют первый порядок по кислоте, причём скорость взаимодействия кислоты с нерудным минералом весьма велика. Поскольку концентрация металла в растворе зависит от концентрации кислоты, а последняя, в свою очередь, контролируется реакцией взаимодействия с нерудным минералом, в определённых условиях может создаваться положение, когда убыль кислоты из раствора при фильтрации за счёт нейтрализации её рудным минералом обусловит выпадение из него части металла, извлечённого на предшествующем этапе процесса. Чаще всего это может быть связано с малой растворимостью гидроокисей металлов и пересыщениями растворов при повышении концентрации ионов OH^- . Последующими порциями растворов, нейтрализованными уже в меньшей степени, этот металл должен быть снова растворён и перенесён далее по потоку [5].

В случае реакции кислоты с породами (в первую очередь и главным образом, с карбонатными и глинистыми породами) формируется подвижный кислотно-щелочной барьер. Возможны и другие типы подвижных искусственных барьеров, в частности окислительно-восстановительный барьер. На таком барьере будет происходить переотложение вещества, характеризующегося зависимостью растворимости своих соединений от валентности образующих их

форм. Полученные в результате решения этой задачи зависимости приводятся с частичным изменением обозначений и некоторыми оговариваемыми ниже упрощениями:

$$t_1 = q_0 \cdot \gamma^{-1} \cdot C_H^{-1}.$$

$$g_k = \frac{U \cdot a_0}{a_0 + m_0}$$

$$g_B = \frac{g_k}{q_0 g_k / (UC_H) + 1}.$$

При $g_B \leq x \leq g_k t$ (в области выщелачивания металла):

$$C = C_H \left[1 - e^{-\frac{\gamma(x-g_B t)}{g_B - U}} \right]$$

$$q = C_H \left(\frac{U}{g_B} - 1 \right) \left[1 - e^{-\frac{\gamma(x-g_B t)}{g_B - U}} \right]$$

При $g_k \leq x \leq Ut$ (в области осаждения урана):

$$C = C_H \left[1 - e^{-\gamma(x-g_k t)(g_k - U)^{-1}} \right]$$

$$q = q_0 + C_H \left[\left(\frac{U}{g_k} - 1 \right) - \left(\frac{U}{g_B} - 1 \right) e^{-\gamma(x-g_k t)(g_k - U)^{-1}} \right] - C_H \left[\left(\frac{U}{g_k} - 1 \right) - \left(\frac{U}{g_B} - 1 \right) e^{-\gamma x U^{-1}} \right]$$

при $x < g_B t$ (в области, куда раствор еще не поступил): $C=0$; $q=q_0$;

при $x < g_B t$ (в области полностью выщелоченного металла): $C=0$; $q=0$;

где t_1 – длительность полного выщелачивания урана в начальном сечении, м²;

γ – константа скорости фильтрационного выщелачивания;

t – время, сут.;

x – длина пути фильтрации, м;

g_k – скорость движения концентрационного фронта кислоты, м/сут.;

g_B – скорость движения концентрационного фронта полного выщелачивания металла, м/сут.;

$\omega = U(g_k - g_B) / ((U - g_k)(U - g_B))^{-1}$ – параметр соотношения скоростей конвекции, фронта кислоты и фронта выщелачивания.

Программа обеспечения данной задачи на языке программирования C++:

```
#include <math.h>
// Цель: Концентрация и фильтрация в сечении потока
#include <iostream>
#include <math.h>
using namespace std;
int main()
{ float t, q0, y, Ch, U, m0, a0, t1, vk, vb, x, w, C, q;
  cout << " введите значение t = "; cin >> t;
  cout << " введите значение q0 = "; cin >> q0;
  cout << " введите значение y = "; cin >> y;
  cout << " введите значение Ch = "; cin >> Ch;
  cout << " введите значение U = "; cin >> U;
  cout << " введите значение m0 = "; cin >> m0;
  cout << " введите значение a0 = "; cin >> a0;
  cout << " введите значение x = "; cin >> x;
  cout << " введите значение w = "; cin >> w;
  t1 = q0/(y*Ch);
  vk = U/(1+(m0/a0));
  vb = (U*vk*Ch)/(q0*vk+Ch*U);
  if (x>vb*t and x<vk*t) {
  C=Ch*(1-exp((-y)*(x-vb*t))/(U-vb));
  q=Ch*((U/vb)-1)*(1-(exp((-y)*(x-vb*t))/(U-vb)));
  }
```

```

if (x >= vk*t and x <= U*t) {
C = Ch*(1 - exp((-y)*w*(1 - (x/U))))*exp((-y)*(x - vk*t)/(U - vk));
q = q0 + Ch*(((U/vk) - 1) - ((U/vb) - 1)*exp(-y*w)*(t - (x/U))))*exp((-y)*(x - vk*t))/(U - vk) - Ch*(((U/vk) - 1) - ((U/vb) - 1)*exp((-y)*x/U));
}
cout << "C =" << C << endl;
cout << "q =" << q << endl;
return 0;
}

```

Во всех уравнениях начальная концентрация металла в растворе принята равной нулю, извлечение металла полное.

Описанная модель, естественно, оказалась сложнее модели выщелачивания урана из слабопроницаемых руд. Она включает четыре параметра гетерогенной системы (q_0 , m_0 , γ , CH) и два параметра технологического режима (a_0 и U). При этом независимое друг от друга определение параметров гетерогенной системы практически невозможно, потому что q_0 и m_0 должны характеризовать, строго говоря, не валовые, а извлекаемые при выщелачивании содержания металла и кислотоёмкой породы. Вместе с тем, нельзя не отметить сходства основных зависимостей, составляющих эту и предыдущую модели. Так, полностью совпадают зависимости, в которых время полного выщелачивания вещества в начальном сечении (входном) выражается через параметры гетерогенной системы.

Определяющая скорость развития фронта выщелачивания во второй модели, при условии относительно малой растворимости выщелачиваемого металла ($C_H < \gamma k U^{-1} q_0$) принимает вид $\mathcal{V}_B = C_H U q_0^{-1}$. При этом весьма важно, что скорость движения фронта полного выщелачивания в обеих моделях оказывается постоянной во времени.

Формирование концентрации металла в растворе во времени по длине пути фильтрации и отличается от последней только тем, что в знаменателе находится не просто скорость фильтрации (или конвекции), а разность между последней и скоростью выщелачивания. Нетрудно показать, что эта разность (по крайней мере, при

относительно малой растворимости выщелачиваемого металла) прямо пропорциональна скорости конвекции, а следовательно, и скорости фильтрации:

$$U - \mathcal{V}_B = U - C_H U q_0^{-1} = U (1 - C_H q_0^{-1})$$

Таким образом, асимптотический характер зависимости максимально достигаемой концентрации металла в растворе C_H от отношения длины пути к скорости фильтрации. Следовательно, можно при рассмотрении практических вопросов в данном случае говорить о величине $(x/y)_H$ достаточной для формирования максимальной концентрации металла в растворе C_H .

Однако сопоставляя две охарактеризованные выше математические модели, нельзя ограничиться только установлением их сходства. Они имеют и существенные различия, обусловленные различиями в гетерогенных процессах избирательного фильтрационного выщелачивания урана химическими реагентами. Само наличие таких различий позволяет предположить, что каждая из моделей, очевидно, достаточно близко отражает основные характерные особенности описываемого ею процесса.

Так, величина C_H для каждого вещества постоянна (в случае постоянства термодинамических условий, а также состава и содержания других веществ в растворяющей воде). C_H зависит от концентрации растворителя a_0 . Соответственно скорость движения фронта выщелачивания \mathcal{V}_B для каждого вещества зависит только от скорости фильтрации. Во второй же модели она, помимо этого, еще существенно зависит от концентрации растворителя [6].

Тем не менее, вполне реальными направлениями практического использования математических моделей, по нашему мнению, можно считать обоснование «интегральных» параметров процесса, получаемых непосредственно по выходным данным, разработку способов анализа влияния показателей на технологический режим выщелачивания на результаты эксплуатации ПВ, а также методов оптимизации их.

Необходимо подчеркнуть, что все предлагаемые математические модели должны подвергаться тщательной экспериментальной проверке.

Библиографический список:

1. Вигдорчик Е.М., Шейнин А.Б. Математическое моделирование непрерывных процессов растворения. – Л.: Химия, 1971. – 248 с.
2. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. – М.: Недра, 1995. – 154 с.
3. Арнс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. – М.: Недра, 1975. – 263 с.
4. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 416 с.
5. Бернадинер М.Г., Ентов В.М. Гидродинамическая теория фильтрации аномальных жидкостей. – М.: Наука, 1975. – 199 с.
6. Бойцов В.Е. Геология месторождения урана. – М.: Недра, 1989. – 302 с.

«GORNII VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 59-61

THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF FILTRATION PROCESSES DURING UNDERGROUND LEACHING

Bobonazarov Zh.R., assistant of the department of «Higher Mathematics and Information Technologies».

Karabekyan S.Kh., senior lecturer of the department of «Higher Mathematics and Information Technologies». E-mail: svetlana_2005_74@mail.ru.

Navoi State Mining and Technological University. Navoi, Uzbekistan.

The issues of predictive geotechnological calculations and methods for determining the initial geotechnological parameters necessary for their implementation are considered. To comprehensively describe the process and understand its physical meaning, deterministic mathematical models are considered.

Keywords: underground leaching, chemical solutions, concentration, filtration, flow section, certain mathematical models.

Bibliographic list:

1. Vigdorchik E.M., Sheinin A.B. Mathematical modeling of continuous dissolution processes. – L.: Khimiya, 1971. – 248 p.
2. Grabovnikov V.A. Geotechnological research in metal exploration. – M.: Nedra, 1995. – 154 p.
3. Arens V.Zh. Geotechnological methods of mining. – M.: Nedra, 1975. – 263 p.
4. Basniev K.S., Kochina I.N., Maksimov V.M. Underground hydromechanics: Textbook for universities. – M.: Nedra, 1993. – 416 p.
5. Bernadiner M.G., Entov V.M. Hydrodynamic theory of filtration of anomalous liquids. – M.: Nauka, 1975. – 199 p.
6. Boytsov V.E. Geology of uranium deposits. – M.: Nedra, 1989. – 302 p.

ПЕРЕРАБОТКА ОТРАБОТАННЫХ МАГНЕЗИТОВЫХ КАПЕЛЕЙ ПРОБИРНОГО АНАЛИЗА



Курбанов М.А.,
заместитель начальника
ЦНИЛ АО «НГМК» по урану, редким,
редкоземельным металлам, к.т.н.



Рузиев Б.Т.,
начальник
геотехнологической лаборатории
ЦНИЛ АО «НГМК»



Тимербулатов А.Р.,
лаборант
ХТИ ГТЛ ЦНИЛ АО «НГМК»



Утаев С.М.,
лаборант
ХТИ ГТЛ ЦНИЛ АО «НГМК»

Ushbu maqolada probir tahlili chiqindilari magnezit kapellarini qayta ishlash, qayta ishlashdagi muammolar va mumkin bo'lgan yondashuvlar muhokama qilinadi. Qayta ishlashning turli bosqichlarida qo'llanilishi mumkin bo'lgan usullar va texnologiyalar ko'rib chiqildi. Ishlatilgan magnezit kapellarini qaytaruvchi muhitda eritish amalga oshirildi. Eritish 1100°C haroratda amalga oshirildi. Eritish natijasida rafinasiya uchun yaroqli qo'rg'oshin olindi. EDTA eritmasida chiqindi kapellarni eritish bo'yicha tadqiqotlar olib borildi. EDTA eritmasida qo'rg'oshinni eritishni va mahsuldor eritmalardan qo'rg'oshinni cho'ktirishning optimal rejimlari aniqlandi. Laboratoriya tadqiqotlari asosida chiqindi kapellarni qayta ishlashning texnologik sxemasi taklif qilindi. Chiqindi kapellarni sulfat kislota eritmalari bilan parchalash usullari ham o'rganildi.

Tayanch iboralar: ikkilamchi qo'rg'oshin, probir tahlili, kollektor, shixta, flyus, magniy, kupelatsiya, magnezit kapellari, pirometal-lurgiya, kuyundi, qaytaruvchi eritish, gidrometallurgiya, ishqorlash, qo'rg'oshin oksidi, qo'rg'oshin sulfidi, tiomochevina, sulfat kislota, kislotali parchalash, filtrlangan eritma.

В данной статье рассматривается проблематика и возможные подходы к переработке отходов пробирного анализа с целью извлечения свинца и магния. Анализируются различные методы и технологии, которые могут быть применены на разных этапах переработки. Проведена плавка отработанных магnezитовых капелек в восстановительной среде. Выплавку проводили при температуре 1100°C. В результате плавки получен металлический черновой свинец пригодный для рафинирования. Проведены исследования по растворению капелек в растворе ЭДТА. Определены оптимальные режимы растворения и осаждения свинца из растворов выщелачивания. По проведенным лабораторным исследованиям предложена принципиальная технологическая схема переработки капелек. А также рассмотрены методы разложения отработанных капелек растворами серной кислоты.

Ключевые слова: вторичный свинец, пробирный метод, коллектор, шихта, флюс, магний, купелирование, магnezитовый капель, пиromеталлургия, огарок, восстановительный обжиг, гидromеталлургия, выщелачивание, оксид свинца, сульфид свинца, тиомочевина, серная кислота, кислотное разложение, фильтрат.

В настоящее время свинец получают как из минерального сырья, так и из техногенных отходов. Более 35% свинца в мире производится из вторичного сырья [1]. Рециклинг цветных и черных металлов является не только разумным, но и экономически, экологически и производственно необходимым. Например, в последние годы в США более чем 80% свинца получают путём вторичной переработки, а в Европе – более 60%. Ежегодно происходит накопления сотни миллионов тонн отходов вторичного сырья в виде шламов, пыли, огарков и т.д. Они относятся по опасности к I классу, и поэтому все более актуальным становится вопрос создания экологически безопасной, технологически эффективной и экономически выгодной схемы переработки свинецсодержащих техногенных отходов. С другой стороны, эти отходы также содержат большое количество цветных металлов, извлечение которых на сегодняшний день не осуществляется из-за отсутствия эффективных промышленных технологий селективного извлечения полезных компонентов. Учитывая данный фактор, становится очевидным актуальность и необходимость развития эффективных производств по переработке (рециклингу) свинецсодержащего вторичного сырья, а также утилизации накопленных отходов.

Пробирный анализ является самым распространённым и основным методом определения золота. Для извлечения золота в пробирном анализе пользуются свойством расплавленного металлического свинца, хорошо растворяет золото, серебро и другие благородные металлы. Анализ предусматривает восстановительно

-растворительное плавление навески руды с глетом (оксид свинца), восстановителем и флюсами. В результате тигельной плавки получается свинцовый сплав, в который извлекаются полностью золото и серебро. Для последующего отделения золота и серебра от свинца пользуются другим свойством свинца – способностью быстро окисляться кислородом воздуха при высоких температурах. Этот процесс называется купелированием. Купелирование состоит в окислительном плавлении свинцового сплава на капели в муфельной печи при 850-900°C [2]. В процессе купелирования свинец, окисляясь до окиси свинца, поглощается порами материала капели, а благородные металлы в виде королька остаются на капели. Для осуществления процесса купелирования применяют пористые сосуды – капели, изготавливаемые из магnezита. Отходы магnezитовых капелек после пробирного анализа содержат поглощенный свинец в виде оксида свинца. Анализ состава отходов магnezитовых капелек представлен в табл. 1.

Как видно из результатов табл. 1, отработанные магnezитовые капели состоят в основном из свинца и магния. Содержание свинца в продукте 26,5%, магния 42,8%.

В данной работе представлены результаты исследований по изучению возможности отделения свинца из отработанных магnezитовых капелек пробирного анализа.

Известными и широко применяемыми методами получения свинца являются пиromеталлургический и гидromеталлургический способ.

Таблица 1
Состав отходов магнетитовых капелей после пробирного анализа

Элемент	Содержание, %
Au	отс
Ag	отс
Pb	26,5
Ca	1,8
Mg	42,8
Fe	0,59
Mn	0,02
Si	<0,1

При пирометаллургическом способе переработки концентратов весь материал, содержащий свинец, подвергают плавке, для чего используют восстановительную, реакционную, осадительную, содовую или щелочную плавку.

К достоинствам пирометаллургических процессов относится универсальность процесса (можно перерабатывать и богатое и бедное сырье), высокое прямое извлечение свинца в металл (около 93%), высокая комплексность использования сырья, высокая производительность оборудования непрерывного действия.

Недостатком процесса является большой расход дорогостоящего дефицитного кокса, соды или щелочи, высокая запыленность

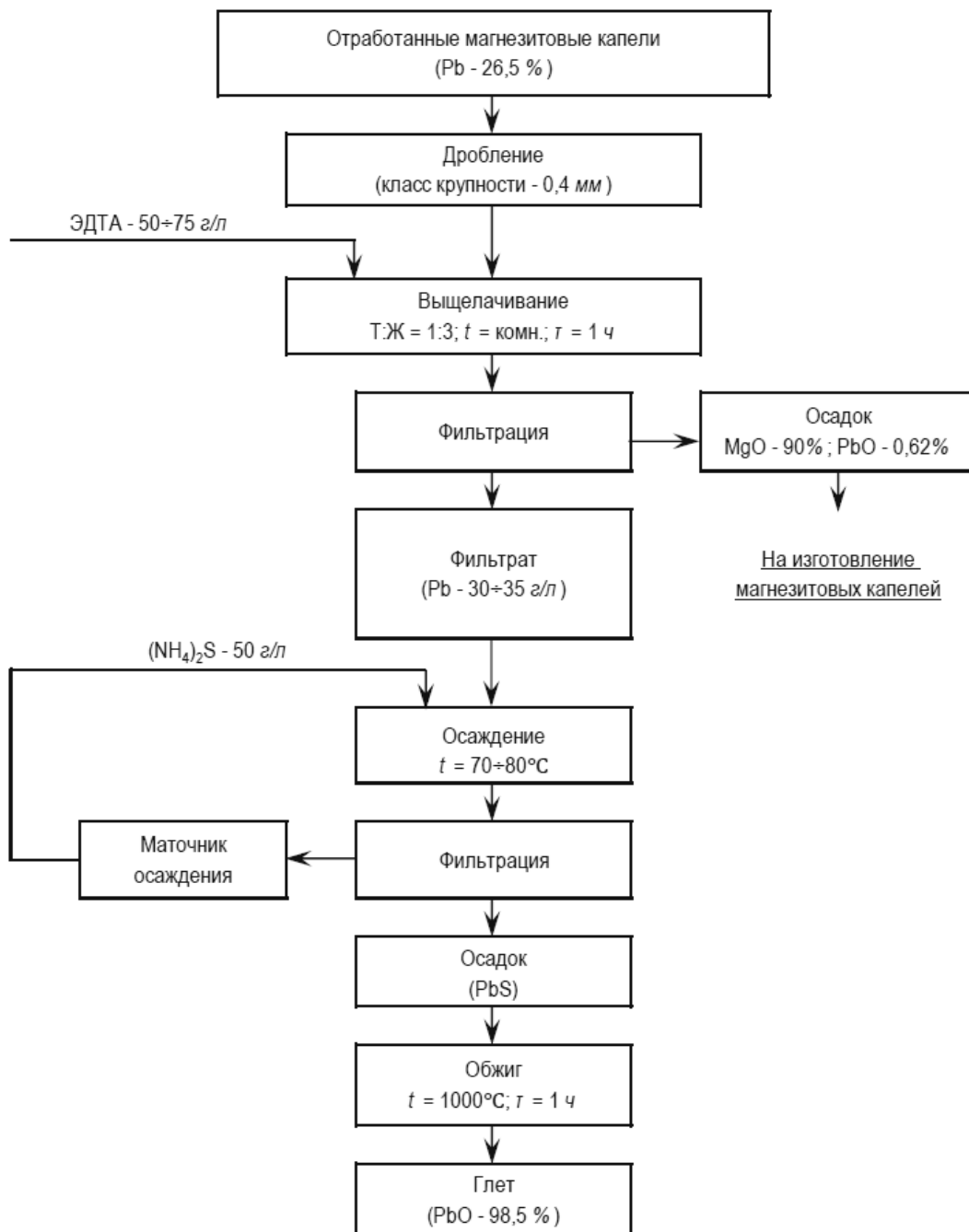


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема переработки отходов магнетитовых капелей с применением этилендиамина тетрауксусной кислоты

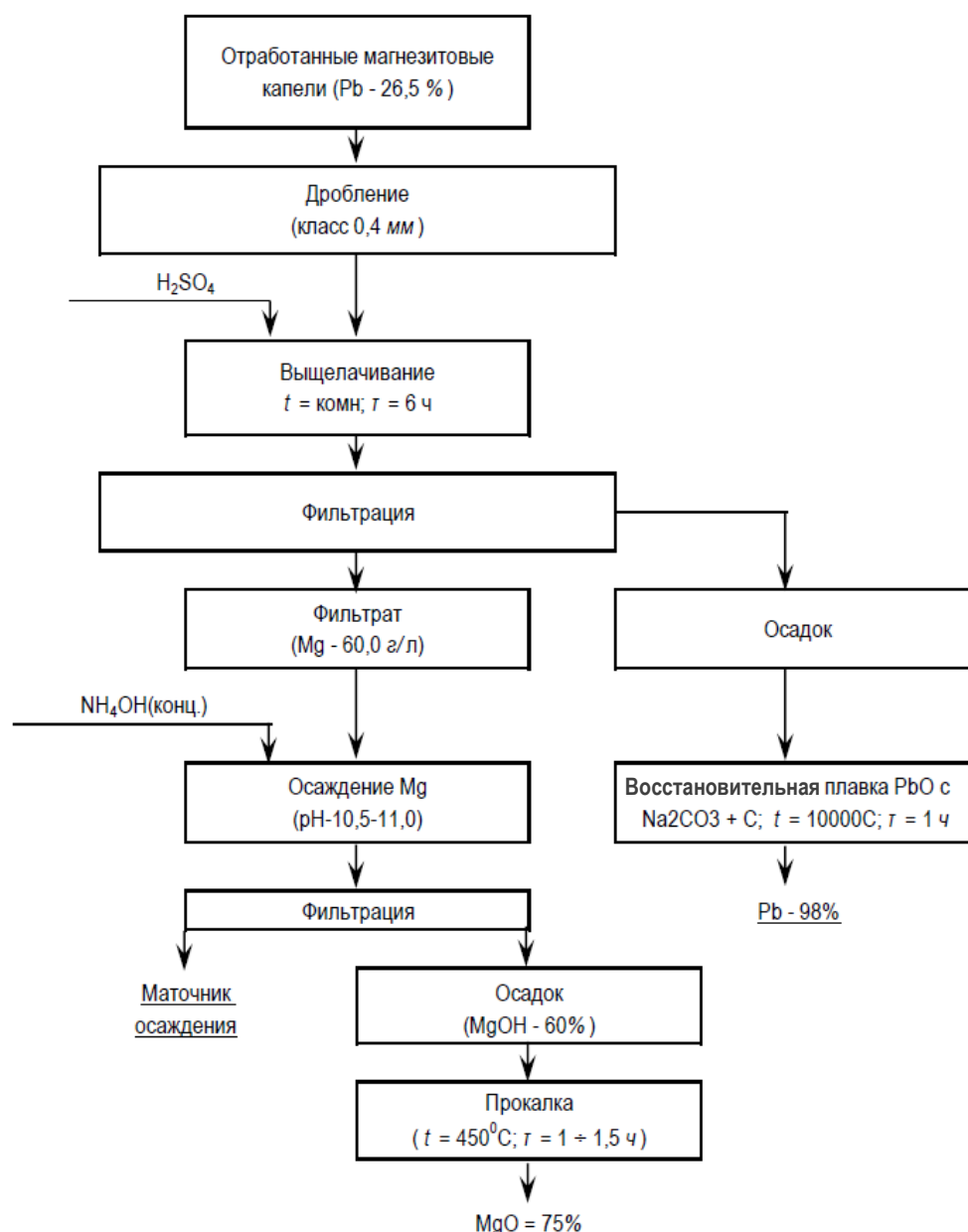


Рис. 2. Принципиальная технологическая схема переработки отходов магниевых капелек методом сернокислотного разложения

газами, требующая сложную систему пылеулавливания, трудности аппаратного оформления.

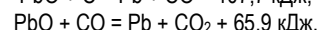
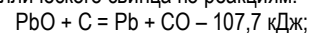
При гидрометаллургическом способе пользуются растворением свинцовых соединений в различных растворителях с последующим выделением свинца из раствора цементацией или электролизом. Основными способами разложения концентратов являются растворение в водных растворах хлорного железа, нитратно-ферритное вскрытие, автоклавное выщелачивание и др.

К достоинствам гидрометаллургической переработки свинецсодержащих материалов относят избирательное извлечение металлов из забалансового (труднообогащаемого, с невысоким содержанием свинца, полиметаллического) сырья, компактное производство, проще механизуемое и автоматизированное, менее трудоемкое и опасное для здоровья трудящихся.

К недостаткам процесса относят необходимость подготовки концентрата к выщелачиванию посредством дорогостоящей и тру-

доемкой операции сульфатизирующего или хлорирующего обжига, получение свинца в виде губки, которую требуется брикетировать при переплавке, необходимость в рафинировании и др.

Для проведения восстановительной плавки магниевые отработанные капли измельчали в мельнице до класса крупности менее 0,4 мм. Шихту, состоящую из смеси измельченных магниевых капелек и кокса, плавил в печи, где оксид свинца восстанавливался до металлического свинца по реакциям:



Выплавку проводили при температуре 1100°C. В результате проведенных работ был получен металлический черновой свинец пригодный для рафинирования.

Как известно из литературных данных Этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА) является хелатирующим агентом, который может образовывать стабильные комплексы Pb(II) – ЭДТА. ЭДТА

широко используется в качестве эффективного реагента для обеззараживания свинца из почвы из-за высокой эффективности извлечения свинца, обеспечиваемой высокой термодинамической стабильностью комплексов свинец-ЭДТА [3].

Исследователями проведены исследования по извлечению свинца из переработанного свинцово-кислотного аккумуляторного шлака с использованием EDTA в качестве выщелачивающего вещества.

Также проведены исследования по использованию ЭДТА в качестве выщелачивающего вещества для извлечения свинца из остатков (штейна и шлака) вторичных заводов по выплавке свинца.

В наших исследованиях была предпринята попытка использовать ЭДТА в качестве выщелачивающего реагента для извлечения свинца из отходов магнетитовых капелей.

Предварительно измельченный образец отходов в агитационном режиме был подвергнут выщелачиванию в растворе ЭДТА.

Из образованной пульпы фильтрацией были выделены осадок (кек) и фильтрат. Полученный осадок промыли, проанализировали. Содержание магния в осадке составило 90%, свинца – 0,62%. По химическому составу полученный порошок соответствует магнетитовому порошку марки ПМК-90 [4].

В результате выщелачивания практически весь свинец был выщелочен в фильтрат. Далее из фильтрата осаждали свинец в виде PbS при помощи раствора сульфида аммония. Образованный сульфидный осадок был высушен и подвергнут окислительному обжигу при $t = 1000^{\circ}\text{C}$, в результате чего был получен продукт оксида свинца с содержанием PbO 98,5%.

Выщелачивание проводили в реакторе при постоянном механическом перемешивании $550 \div 600$ об/мин. Изучение влияния Ж : Т на выщелачивание показало, оптимальным соотношением Ж : Т на выщелачивание является 3 : 1. Дальнейшее повышение Ж : Т не приводило к увеличению извлечения свинца. Выщелачивание проводили при комнатной температуре 23°C . Изучали влияния температуры на извлечение. Повышение температуры при выщелачивании до $50-60^{\circ}\text{C}$ практически не оказывало влияния на извлечение свинца.

Выщелачивание отработанных капелей концентрацией ЭДТА в растворе 20 г/л позволило извлечь до $60 \div 65\%$ свинца из продукта. Повышение концентрации ЭДТА в выщелачивающем растворе до 75 г/л повысило извлечение до 94-95%. Дальнейшее повышение концентрации ЭДТА в выщелачивающем растворе не приводило к увеличению извлечения свинца. А также исследовали влияние времени выщелачивания на извлечение, которое показало выщелачивание продукта необходимо проводить в течение $1 \div 1,5$ ч. Дальнейшее повышение времени выщелачивания не способствует повышению извлечения.

Из продуктивного раствора свинец осаждали в виде сульфида, раствором сульфида аммония. Осаждение проводили при перемешивании и нагревании раствора до температуры $70 \div 80^{\circ}\text{C}$. Как показали расчёты, расход сульфида аммония на осаждении составил

0,28 грамм на грамм свинца. Фильтраты осаждения практически не содержали свинец, извлечение свинца на осаждении составило 98,7%. Сульфид свинца промыли, высушили и прокалили при температуре 1100°C . В результате окислительной прокалики получили оксид свинца (глет) с содержанием основного вещества PbO 98,5%.

Принципиальная технологическая схема переработки отходов магнетитовых капелей с применением ЭДТА приведена на рис. 1.

В качестве альтернативного варианта проведены исследования по сернокислотному разложению магнетитовых отходов пробирного анализа. Разложение продукта проводили следующим образом. Готовили пульпу измельченного продукта с водой Ж : Т равно $1,0 \div 1,5$: 1. Далее в пульпу дозировали при интенсивном перемешивании концентрированную серную кислоту. Разложение проводили до достижения pH = 1. Длительность процесса разложения составила 6 ч, расход серной кислоты $0,7$ м³/т.

В результате сернокислотного разложения раствор насыщался магнием, а свинец остался в пульпе в виде твердого продукта. После разложения пульпу фильтровали, твердый остаток промывали, и подвергали восстановительной плавке с получением металлического свинца. При этом сквозное извлечении свинца составило ... %, содержание Mg в фильтрате 60 г/л.

Осаждение магния из фильтрата проводили в присутствии щелочи при pH = 11,0.

Осадок гидроокиси магния Mg(OH)₂ был высушен и прокален при температуре $400-500^{\circ}\text{C}$ в течение часа. В результате прокалики получен продукт MgO с содержанием основного вещества 75%. По химическому составу полученный порошок соответствует магнетитовому порошку марки ПМКМк-75 ГОСТ 1216-87 Порошки магнетитовые каустические. Принципиальная технологическая схема переработки отходов магнетитовых капелей с применением сернокислотного выщелачивания приведена на рис. 2.

Лабораторными исследованиями определены возможности переработки отходов магнетитовых капелей. Выплавкой отходов в восстановительном режиме при температуре 1100°C можно получить металлический черновой свинец пригодный для рафинирования.

Применение раствора ЭДТА при выщелачивании с концентрацией 75 г/л позволяет селективно извлекать из продукта свинец, со степенью извлечения $94 \div 95\%$. Из продуктивных растворов свинец можно осадить в виде нерастворимых сульфидов, а окислительной прокаликой можно получить оксид свинца с содержанием основного вещества не менее 98,5%. Не растворившийся в процессе выщелачивания осадок состоит из оксида магния 90%, свинца – 0,62%, который можно повторно использовать для подготовки магнетитовых капелей.

Сернокислотное разложение позволит получить магнетитовый порошок марки ПМКМк-75 содержанием основного вещества 75% и металлический свинец. При этом необходимо отметить огромный расход серной кислоты на разложение.

Библиографический список:

1. Бредихин В.Н., Маняк Н.А., Кафтаненко А.Я. Свинец вторичный. – Донецк, 2005. – 7 с.
2. Под общей редакцией Барышниковой И.Ф. Пробоотбирание и анализ благородных металлов. – Москва: Металлургия, 1968. – 150 с.
3. Federic Forte, Liesbeth Horckmans, Kris Broos, Eunyoung Kim, Frantisek Kukurugya and Koen Binnemans., Closed-loop solvometallurgical process for recovery of lead from iron-rich secondary lead smelter residues // RSC Adv., 2017, 7, 49999-50005.
4. ГОСТ 1216-87. Порошки магнетитовые каустические. Технические условия.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ НА ИСТЕЧЕНИЕ ПРОДУКТОВ ДЕТОНАЦИИ ИЗ СКВАЖИНЫ



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



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



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



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

Maqolada quduq bo'ylab tiqin harakati, vaqt, davomiylik, sublimatsiya hodisasi va portlash to'liqlinining tog' jinslari bo'ylab tarqalishi, shuningdek, bosim kabi parametrlarning o'zaro bog'liqligini analitik ifodasini aniqlash muammosi, quduqdagi portlash mahsulotlarini tashqi ta'sirlarni hisobga olgan holda va tiqinning bir hil bo'lmagan harakati tenglamasini ko'rib chiqilgan.

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

В работе рассмотрена задача определения аналитического выражения взаимосвязанности таких параметров, как движение забойки по скважине, времени, длительности, явления сублимации и распространения по породе взрывной волны, а также давления в продуктах детонации в скважине с учётом внешнего воздействия и решено неоднородное уравнение движения забойки.

Ключевые слова: скважина, забойка, детонация, давление, взрыв, однородное и неоднородное дифференциальное уравнение, взрывчатые вещества, горная порода.

Среди факторов, влияющих на увеличение эффективности дробящего действия взрыва, значительная роль принадлежит забойке скважин, оказывающей существенное влияние на полноту передачи энергии взрыва окружающей среде.

Исследованиями различных авторов [1-6] установлено, что забойка играет важную положительную роль в работе взрыва: она обеспечивает полноту детонации ВВ, и, тем самым, выделение наибольшего количества энергии взрыва заряда с данными параметрами; увеличивает продолжительность импульса взрыва и, следовательно, степень использования энергии взрыва, а также предотвращает опасный разброс кусков породы газами взрыва в процессе их истечения через устье скважины. Многолетними исследованиями установлено, что при тех высоких скоростях с которыми протекает явление взрыва, забойка оказывает значительное сопротивление и удерживает продукты детонации ВВ внутри скважины на время, достаточное для совершения полезной работы по разрушению горной породы, этим самым обеспечивая относительную безопасность в части возможности воспламенения метанопылевоздушных смесей.

Все исследования вопросов взрывного дела как аналитические, так и экспериментальные должны базироваться на физике разрушения горного массива энергией взрыва. Без глубокого понимания и учета особенностей процессов, происходящих в разрушаемой с помощью ВВ среде, невозможно правильное проектирование работ и, следовательно, получение должного эффекта от их проведения. Поэтому роль забойки в процессе взрывного разрушения горных пород следует рассматривать в тесной взаимосвязи с самим механизмом взрыва и в первую очередь с воздействием на разрушаемый массив статического давления продуктов детонации и ударной волны.

Современные представления о распределении энергии взрыва разнообразны и противоречивы. Одни исследователи полагают, что основным фактором, определяющим эффективность взрыва, является поршневое давление продуктов детонации (расширение продуктов детонации можно представить как действие сферического, расширяющегося поршня), другие считают, что разрушение массива при взрыве происходит главным образом за счет действия прямой и отраженной ударных волн [1].

При взрывании скважинного заряда без забойки при постоянной величине удельного расхода ВВ подошва уступа будет плохо раздробленной, а из верхней части уступа возможен выход негабаритов, поскольку устье скважины подвергается интенсивному разрушению, что облегчает выход газов из скважины.

При плотной забойке не наблюдается интенсивного разрушения устья скважины и не разрушенных участков на уровне подошвы уступа и в верхней части уступа, как это имеет место при отсутствии забойки [7].

Согласно исследованиям, выполненным Друкованым М.Ф. и др. [2], наличие забойки увеличивает продолжительность взрывного импульса на 35...40%.

Практически мгновенный выброс газообразных продуктов взрыва через устье скважины является причиной затрачивания взрывной энергии впустую, вследствие резкого падения давления продуктов детонации ВВ в скважине и кратковременности импульса, действующего на стенки скважины при взрывной отбойке крепких горных пород. Забойка препятствует расширению газов взрыва, увеличивает время нахождения их в замкнутой полости, остаточная энергия продуктов детонации и их температура при прорыве газов в призабойное пространство существенно снижаются и соответственно уменьшается возможность воспламенения смесей метана и уголь-

ной пыли с воздухом. Отсутствие забойки, особенно при заполнении шпуров и скважин ВВ на всю их глубину до устья, сопровождается выносом пылеватых частиц из зоны раздавливания и кусков породы из устья зарядной полости.

При неудовлетворительном взрыве комплекта шпуровых зарядов неиспользованная энергия взрыва вздымает большое количество пыли, забойка же уменьшает запыленность подземных выработок, причем запыленность уменьшается повышением качества забойки. При песчаной забойке ее сопротивляемость увеличивается с понижением влажности, как следствие, количество пыли уменьшается [1].

Известно, что чрезмерное увлажнение песчано-глинистой забойки приводит к резкому ухудшению взрыва, хотя масса забойки при этом не уменьшается.

В результате проведенных исследований изучено поведение забойки в скважине с учетом внешних воздействий.

До настоящего времени исследование основных характеристик забойки в скважине (время вылета, внутреннее давление, траектория вылета забойки и др.) производилось только в однородных случаях, т.е., когда на характеристики забойки в скважине не оказывало влияние внешнее воздействие.

Это означало, что уравнение, описывающее движения забойки и давления в скважине, рассматривалось как однородное.

Ниже рассмотрены уравнения, описывающие движение забойки и давления в скважине в неоднородном виде, что означает влияние внешних воздействий на характеристики забойки.

В работе [8] рассмотрена задача определения времени $t(z)$ длительности явления сублимации процесса движения забойки по скважине $z(t)$ и распространение по породе взрывной волны, а также давления P в продуктах детонации в скважине по полученному аналитическому выражению взаимосвязанности этих параметров, по соответствующим формулам [9, 10]:

$$z(t) = \frac{S_c P (1 - \sigma)}{2m_3} (t_3 - 2)t^2$$

значения $z(t_1)$ и

$$P = \frac{2m_3}{S_c l_3 (1 - \sigma) t^2}$$

значения давления P .

В работе [2] было исследовано уравнение движения для сыпучей забойки:

$$m_3 \frac{d^2 z}{d_c t^2} = S_c P (1 - \sigma) \quad (1)$$

с начальными условиями $z(0) = z'(0) = 0$, согласно [3],

где S_c – площадь поперечного сечения скважины, m^2 ;

P – давление в продуктах детонации, $Па$;

σ – коэффициент трения скольжения;

m_3 – масса забойки, $кг$.

Упрощая дифференциальное уравнение (1), получим:

$$z'' = a, \quad (2)$$

где введено обозначение:

$$a = \frac{S_c P (1 - \sigma)}{m_3}.$$

Рассмотрим уравнение (1) в следующем виде:

$$\frac{d_c^2 z}{d_c t^2} = \frac{S_c P (1 - \sigma)}{m_3} + \bar{f}(t), \quad (3)$$

где функция $\bar{f}(t)$ определяет внешнее воздействие.

Далее, не нарушая общности, уравнение (3) напомним в следующем виде:

$$\frac{d_c^2 z}{d_c t^2} = f(t), \quad (4)$$

где через $f(t)$ обозначена правая часть уравнения (3), т.е.

$$f(t) = \frac{S_c P (1 - \sigma)}{m_3} + \bar{f}(t).$$

Такое обозначение никак не отразится на характере исследуемого уравнения, т.к. выражение:

$$\frac{S_c P (1 - \sigma)}{m_3}$$

является постоянной величиной.

Рассматриваются следующие виды функции $f(t)$:

1) $f(t) = P_n(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n$;

2) $f(t) = M \cos \beta t + N \sin \beta t$;

3) $f(t) = A e^{at}$.

Здесь вид функции $f(t)$ определяет, какое внешнее влияние оказывается на забойку или горную породу, где планируется произвести взрыв.

1. Функция $f(t)$ определяется как полиномиальное воздействие;

2. Функция $f(t)$ определяется как колебательное воздействие;

3. Функция $f(t)$ определяется как экспоненциальное воздействие.

4. Функция $f(t)$ определяется как произведение или сумма двух из вышеперечисленных трёх случаев.

Решая поставленные задачи, получены следующие результаты:

– для движения забойки в скважине:

$$z(t) = \frac{S_c P l_3 (1 - \sigma)}{2m_3} t^2$$

– для давления в скважине:

$$P = \frac{2m_3}{S_c l_3 (1 - \sigma) t^2}$$

Сопоставляя данные, полученные в результате решений вышеприведенных уравнений, приходим к заключению, что полученные результаты расчета с внешним воздействием на горные породы по времени уменьшаются в 1,5 раза, а под давлением увеличиваются в 2 раза. Из проделанных расчетов следует, что внешнее воздействие на породу является существенным фактором, который нужно учесть во время производства взрывных работ в скважинах.

Таким образом, получены результаты при различных значениях времени t_1 , в течение которого происходит вывод забойки из неподвижного состояния и длины забойки l_3 , движения забойки $z(t_1)$ и давления P , с учетом внешнего воздействия на горную породу. В результате имеем закономерную тенденцию увеличения давления P и уменьшения движения для сыпучей забойки $z(t_1)$ по скважине.

Библиографический список:

1. Мурин К.М. Забойка как фактор повышения эффективности и безопасности ведения взрывных работ // К.М. Мурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – № 4. – М.: Горная книга, 2011. – С. 390-395.
2. Друкованый М.Ф. К вопросу о влиянии величины забойки на качество дробления горных пород взрывом в карьерах // М.Ф. Друкованый, В.М. Комар, И.А. Семенов // Взрывное дело. – № 59/16. – М.: Недра, 1966. – С. 166-177.

3. Федоров С.А. Воздушные промежутки как способ управления действием взрыва // С.А. Федоров и др. // Взрывное дело. – № 54/11. – М.: Недра, 1964. – С. 153-157.
4. Китач Г.М. Параметры подготовки скважин к взрыву // Г.М. Китач // Взрывное дело. – № 54/11. – М.: Недра, 1964. – С. 167-173.
5. Кучерявый Ф.И. Опыт применения воздушных промежутков при взрывании скважинных зарядов на карьерах // Ф.И. Кучерявый и др. // Взрывное дело. – № 54/11. – М.: Недра, 1964. – С. 310-317.
6. Лещинский А.В. Научно-техническое обоснование рациональных средств и методов разрушения скальных пород при открытых горных работах: Дисс. ... д-ра тех. наук: 25.00.20. // Лещинский Александр Валентинович. – Х., 2010. – 624 с.
7. Курчин Г.С. Эффективность применения забойки в скважинах // Г.С. Курчин, М.А. Лобацевич, Т.А. Петушкова, П.Ю. Ефремов. // Науки о Земле: вчера, сегодня, завтра: материалы IV Междунар. науч. конф. (г. Казань, май 2018 г.). – Казань : Молодой ученый, 2018. – С. 17-19. URL: <https://moluch.ru/conf/earth/archive/293/13655/> (дата обращения: 13.02.2024).
8. Норматова М.Ж. Разработка способов управления пылегазовым режимом при взрывании высоких уступов в глубоких карьерах // Дисс. ... уч. степен. PhD. – Навои, 2019. – 112 с.
9. Khudayberdiev O.J., Djuraeva N.M., Rakhmatov S.Kh. The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research. Volume 5. Issue 11. (2023), pp. 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/tajjir//Volume 05. Issue 11-07](https://doi.org/10.37547/tajjir//Volume%2005.Issue%2011-07).
10. Куринной В.П. Теоретические основы взрывного разрушения горных пород: Монография. – Днепр, 2018. – 280 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2024, № 2 (97) pp. 99-68

IMPACT OF ENVIRONMENTAL TEMPERATURE FACTORS ON THE RELEASE OF DETONATION PRODUCTS FROM THE BOREHOLE

¹Umarov F.Ya., Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.

²Khudayberdiev O.Zh., Associate Professor at the Department of Higher Mathematics and Information Technologies, PhD.

³Juraeva N.M., Senior Teacher of the Department Higher Mathematics and Information Technologies.

³Zairova F.Yu., Engineer of the ICINT Department of Innovative Development.

¹Almalyk Branch of the National University of Science and Technology «MISiS». Almalyk, Uzbekistan.

²Navoi State University of Mining and Technologies. Navoi, Uzbekistan.

³JSC «Navoi Mining and Metallurgical Company». Navoi, Uzbekistan.

The article considers the problem of determining an analytical expression of the interconnectedness of such parameters as bottom-hole motion, time, duration, sublimation phenomena and propagation of the blast wave through the rock, as well as the pressure in the detonation products in the borehole taking into account the external influence, and solves the inhomogeneous equation of bottom-hole motion.

Keywords: borehole, bottom hole, detonation, pressure, explosion, homogeneous and inhomogeneous differential equation, explosives, rock.

Bibliographic list:

1. Murin K.M. Stopping as a factor in increasing the efficiency and safety of blasting operations. K.M. Murin // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. No. 4. – М.: Gornaya kniga, 2011, pp. 390-395.
2. Drukovany M.F. On the question of the influence of the size of the stope on the quality of rock crushing by explosion in quarries // M.F. Drukovany, V.M. Komir, I.A. Semenyuk // Vzryvnoye delo. – No. 59/16. – М.: Nedra, 1966, pp. 166-177.
3. Fedorov S.A. Air gaps as a way to control the action of an explosion // S.A. Fedorov and others // Vzryvnoye delo. – No. 54/11. – М.: Nedra, 1964, pp. 153-157.
4. Kitach G.M. Parameters for preparing wells for explosion // Vzryvnoye delo. – No. 54/11. – М.: Nedra, 1964, pp. 167-173.
5. Kucheryavyy F.I. Experience in the use of air gaps when blasting borehole charges in quarries. F.I. Curly and others // Vzryvnoye delo. – No. 54/11. – М.: Nedra, 1964, pp. 310-317.
6. Leshchinsky A.V. Scientific and technical substantiation of rational means and methods of destruction of rocks during open-pit mining: Diss. ...Dr. Tech. Sciences: 25.00.20. // Leshchinsky Alexander Valentinovich. – Kh., 2010. – 624 p.
7. Kurchin G.S. Efficiency of using stopping in wells // G.S. Kurchin, M.A. Lobatsevich, T.A. Petushkova, P.Yu. Efremov // Earth Sciences: yesterday, today, tomorrow: materials of the IV International. scientific conf. (Kazan, May 2018). – Kazan: Molodoy uchenyy, 2018, pp. 17-19. URL: <https://moluch.ru/conf/earth/archive/293/13655/> (access date: 02/13/2024).
8. Normatova M.Zh. Development of methods for controlling the dust and gas regime when blasting high benches in deep quarries // Diss. ... student step. PhD. – Navoi, 2019. – 112 p.
9. Khudayberdiev O.J., Djuraeva N.M., Rakhmatov S.Kh. The American Journal of Interdisciplinary Innovations Research. Volume 5. Issue 11. (2023), pp. 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/tajjir//Volume 05. Issue 11-07](https://doi.org/10.37547/tajjir//Volume%2005.Issue%2011-07).
10. Kurinnoy V.P. Theoretical foundations of explosive destruction of rocks: Monograph. – Днепр, 2018. – 280 p.

СПОСОБЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ШАРОВЫХ МЕЛЬНИЦАХ



Шакаров Т.И.,
доцент кафедры
«Металлургия»
АФ НИТУ «МИСиС», к.т.н.



Хурмаатов А.А.,
заведующий лабораторией
ИОНХ АН РУз



Султанова М.А.,
базовый докторант
ИОНХ АН РУз



Исматова Н.Т.,
студентка IV-курса
АФ НИТУ «МИСиС»

Ochiq tsikli sharli tegirmonlarda sement klinkerini yanchish samaradorligini oshirish masalalari ko'rib chiqilgan. Sementni yanchish jarayonini jadallashtirish uchun sirt faol moddalar, samarali sirtga ega yangi zirhli qoplamalardan foydalanishning afzalliklari va kamchiliklari qayd etilgan. TЭА ni sementni maydalashning jadallashtiruvchisi sifatida ishlatganda elektr energiyasi sarfi 28,5% ga kamayishi va ishlab chiqarish unumdorligi 39,09% ga oshishi aniqlandi. 2, 6x13 m o'chamdagi ikki kamerali sement tegirmonining zirx qoplama uchun uch boshli to'lqin shaklida samarali yuzasi bo'lgan zirhli plitalarni isitish sxemasi taklif qilindi. Taklif qilingan qoplamani qo'llashdan oldin sementni maydalash uchun tanlab olingan sharli tegirmonning maksimal quvvati 26 t/soatni tashkil etardi edi. Tavsiya etilgan zirhli qoplama o'rnatilgandan so'ng, tegirmonning ishlab chiqarish quvvati 30 t/soatgacha, ya'ni 15% ga oshdi. Tegirmon ichidagi havo oqimlarini o'rganish elektr energiyasining sarfini 10% ga kamaytirish, bo'linmalar orasidagi tirqishlar hajmini 45-50% ga oshirish, tegirmon ichidagi havo oqimlarining samaradorligini oshirish, sement va havo oqimining haroratini 10°C ga kamaytirish, shuningdek sement ishlab chiqarishni tegirmon toshlarining massa birligiga nisbatan, 1,4 baravar oshirish imkoniyatini yaratishga imkon beradi.

Tayanch iboralar: sement, maydalash usullari, yanchish, jadallashtirish, tegirmon, sirt faol moddalar, zirx plita, zirx qoplama, aspiratsiya, energiya tejamkorlik, impulslu texnologiya, qiya to'siq.

Rassmotreny voprosy intensifikatsii izmel'cheniya tsementnogo klinkera v sharovyykh мельницах открытого цикла. Отмечаются преимущества и недостатки применения ПАВ, новых бронеплит с эффективной поверхностью и оптимизации аспирации мельниц с целью интенсификации помола цемента. Установлено что, при использовании ТЭА в качестве интенсификатора помола цемента, достигается снижение удельного расхода электроэнергии на 28,5% и повышение удельной производительности на 39,09%. Предложена схема бронефутеровки, с использованием бронеплит с эффективной поверхностью в виде волны с тремя головками, для футеровки двухкамерной цементной мельницы размером 2,6x13 м. Шаровая мельница помола цемента до реконструкции имела максимальную производительность 26 т/ч. После установки предлагаемой бронефутеровки производительность мельниц выросла до 30 т/ч, т.е. на 15%. Исследования внутримельничных потоков воздуха позволяют создание возможности для снижения удельных затрат электроэнергии на 10%, увеличение на 45-50% объема щелей в перегородках, повысить эффективность внутримельничных воздушных потоков, снизить на 10°C температуру цемента и воздушного потока, а также повысить в 1,4 раза производство цемента к единице объёмной массы мелющих тел.

Ключевые слова: цемент, способы измел'чения, помол, интенсификация, мельница, ПАВ, бронеплита, бронефутеровка, аспирация, энергосбережение, импульсная технология, наклонная перегородка.

Классически, процесс измел'чения подразумевает уменьшение первоначального размера материала или же увеличение его удельной поверхности [1].

Определены основные способы достижения цели измел'чения и по всей вероятности, с точки зрения промышленной применимости, измел'чение твёрдых материалов под воздействием ударных сил, а так же применение метода раздавливания остаются основными методами измел'чения, требующие внимания специалистов. Учитывая, что измел'чение материалов, в частности клинкера наиболее энергоёмкий процесс при производстве цемента, оптимизация данного передела технологии является одним из перспективных направлений снижения удельных энергозатрат производства.

На сегодняшний день существует несколько технологий измел'чения, используемых для получения цемента из клинкера. Наибольшее распространение в цементной промышленности для измел'чения клинкера получила шаровая мельница, ставшая основным технологическим решением, а также вертикальные валковые мельницы [2].

Несмотря на то, что производительность вертикальных валковых мельниц намного выше шаровых, различия в принципах процесса помола в различных агрегатах могут отражаться на свойствах бетонов на основе полученных цементов.

В шаровых мельницах преобладают ударные и истирающие нагрузки, при этом время нахождения материала в цикле помола может достигать нескольких десятков минут. Поэтому исследование, направленные на изучение формирования свойств цемента в зависимости от применяемой технологии измел'чения, являются весьма актуальными.

В шаровой двухкамерной мельнице измел'чение материала происходит за счёт воздействия сил, где в первой камере преобладает водопадный режим движения мелющих тел [3], измел'чение происходит преимущественно за счёт удара на участках падения мелющих тел и перетирания материала между помольными шарами. Во второй камере, с каскадным режимом движения мелющих тел – шаров или цельпесба, преобладают в большей степени истирающие нагрузки, возникающие как при трении частиц материала друг

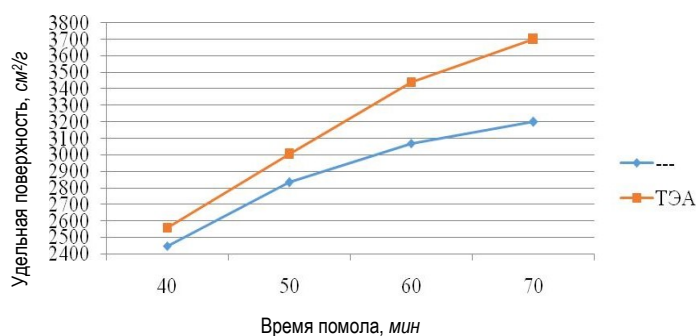


Рис. 1. Влияние поверхностно-активных веществ на кинетику изменения удельной поверхности

о друга, так и между мелющими телами и футеровкой мельницы [4, 5]. Факторы, влияющие на интенсивность измельчения клинкера в шаровых мельницах, рассматриваются нами в трёх направлениях, а именно: химическое, конструктивное, и технологическое.

Первое направление – химическое, подразумевает интенсификацию процесса измельчения введением поверхностно-активных веществ (ПАВ), второе – конструктивное, применение футеровочных бронеплит с эффективной поверхностью и третье – технологическое, оптимизацию параметров работы шаровой мельницы. Цель исследования – выявление преимуществ и недостатков каждого направления интенсификации помола.

Ранее были проведены исследования по повышению производительности шаровых цементных мельниц путём использования различных минеральных добавок и отходов промышленности [6-8]. Однако, возможности этого метода повышения производительности ограничены свойствами используемых материалов, в первую очередь абразивностью и влажностью исходных компонентов шихты.

Применением в качестве ПАВ триэтанолamina (ТЭА), являющегося наиболее эффективным интенсификатором помола цементов в лабораторной мельнице МБЛ-1, можно увидеть уменьшение времени помола. При использовании ТЭА в качестве ПАВ удельная поверхность увеличивается с 3200 $см²/г$ до 3700 $см²/г$. Последнее приводит к повышению качества и марочности продукта (рис. 1).

Из данных рис. 1 можно увидеть, что требуемая удельная поверхность равная 3000 $см²/г$ достигается на 10 мин раньше, чем помол цемента без добавки ТЭА. Количество ТЭА в шихте составляет 0,03%. В табл. 1 приведены расчётные данные показателей мельницы при снижении времени помола.

Следовательно, при использовании ТЭА в качестве интенсификатора помола цемента достигается снижение удельного расхода электроэнергии на 28,5% и повышение удельной производительности на 39,09%.

Очевидным, является также и второе направление увеличения производительности мельниц путём изменения профиля поверхности бронифутеровки. Хотя, применение бронифутеровки уменьшает свободное сечение барабана мельницы, она предохраняет корпус мельницы от износа и придаёт направленное движение мелющим телам и измельчаемому материалу [9, 10]. Для защиты корпуса мельницы от износа применяют бронифутеровку с различной кон-

фигурацией поверхности. Бронифутеровку изготавливают из различных материалов: легированной стали, износостойкого чугуна, резины, карбида кремния, пластика, стеклопластика и т.д. На практике самыми востребованными являются брони из стали и резины.

Анализируя работу мелющих тел внутри барабана мельницы, нами предложена конфигурация поверхности бронифутеровки для двухкамерной цементной мельницы размером 2,6x13 м [11-13]. Бронеплита для первой камеры мельницы имеет форму с технологическими выступами в виде трёх головок волнового профиля различной высоты. Технологические выступы по длине плиты выполнены с переменной высотой с уменьшением её в сторону вращения барабана мельницы. При этом, соотношение максимальной и минимальной высоты выступов составляет 1,7.

Габаритные размеры соответствуют стандартно изготавливаемым бронеплитам, что не исключает возможность совместного использования известных бронеплит с предлагаемым.

Повышение эффективности измельчения достигается за счёт того, что выпуклые части рабочей поверхности бронеплиты заканчиваются головками волнового профиля, что образуя «лифтеры» способствуют более тонкому измельчению материала. Кроме того, при вращении мельницы часть материала продольными выступами поднимается выше угла подъёма шаров и тем самым обеспечивает выброс мелкого материала в поток отсасываемого воздуха, что также увеличивает эффективность помола.

Расчёты показали увеличение ударного импульса отдельно взятого шара диаметром 70 мм на 20,3% в результате подъёма шара выше угла подъёма шара при использовании обычной бронеплиты (табл. 2).

Во второй камере мельницы с каскадным режимом работы шаровой загрузки предлагается использование бронеплит каблучкового профиля с более совершенным профилем.

Предлагаемая схема бронифутеровки была использована на АО «Бекабадцемент» для футеровки двухкамерной цементной мельницы размером 2,6x13 м. Первая камера мельниц была загружена стальными шарами диаметром от 40 до 100 мм, а вторая камера – цильпёбсами диаметром 25-40 мм. Шаровая мельница помола цемента до реконструкции имела максимальную производительность 26 $т/ч$. После установки предлагаемой бронифутеровки производительность мельниц выросла до 30 $т/ч$, т.е. на 15%.

Показатели работы мельницы при использовании ТЭА

Таблица 1

Количество ТЭА, %	Показатели работы мельницы					
	Производительность		Удельный расход эл. энергии		Удельная производительность	
	кг/час	%	кВт·час/т	%	т/кВт·час	%
–	258	100	4806	100	2,08	100
0,03	361	139,9	3435	71,5	2,91	139,9

Физико-технические характеристики цемента, произведённых на АО «Бекабадцемент», следующие: остаток на сите с сеткой 0,08 мм – до 13 мас. %; удельная поверхность, определённая методом воздухопроницаемости на приборе Т-3 – 2900-3100 см²/г; сроки схватывания цементного теста: начало – не ранее 2 ч 35 мин, конец – не более 4 ч 55 мин; расплыв стандартного конуса при нормальной густоте цементного теста – не более 110 мм; прочность цементного камня при соотношении цемент/песок = 1:3 и водоцементном отношении равны 0,40 в 28 суточном возрасте твердения в нормальных условиях по ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» (МПа, не менее): при изгибе – 5,7; при сжатии – 39,6. Физико-технические характеристики цемента определены в производственном испытательном подразделении АО «Бекабадцемент».

Третье направление увеличения производительности мельниц путём оптимизации параметров шаровой мельницы связано с изучением потока аспирационного воздуха мельниц.

В свою очередь, внутримельничные воздушные потоки (аспирация мельницы), являются одним из основных факторов, влияющих на процесс помола в технологической схеме производства цемента.

Внутримельничные потоки воздуха трубной мельницы предусматривают также вывод измельченного материала из зоны помола. При этом, такие вопросы как переизмельчение материала, налипание готового измельченного материала на корпус мельницы и мелющие тела в результате образования водяного пара при помоле и своевременный вывод водяного пара из зоны помола, повышение температуры мельницы приводящий к быстрому схватыванию цемента в результате дегидратации гипсового камня, находят своё решение.

В целом, внутримельничные воздушные потоки считаются одним из основных факторов формирования гранулометрического состава измельченного материала, определяя эффективность помола.

Результаты проведённых нами исследований с применением пакета прикладных программ Solid Works Flow Simulation математического 3D моделирования показали различие внутримельничных воздушных потоков двухкамерных мельниц от однокамерных, не отрация ранее полученные сведения в этом направлении [14-16].

Различие в скоростях внутримельничных воздушных потоков двухкамерных мельниц объясняется наличием в них межкамерных перегородок. При этом, общий воздушный поток создаваемый воздуходувной машиной внутри мельницы подразделяется на два

Таблица 2
Результаты расчета ударного импульса шара диаметром 70 мм

Тип бронеплиты	Высота падения шара, (м)	Время падения шара, τ (с)		Импульс удара, кг·м/с	m·g·τ
		τ = √2h/g			
Обычная	1,3	0,5		6,9	
Трехволновая	1,8	0,6		8,3	

самостоятельных потока. Наряду с этим, потоки в первой и второй камерах мельницы принципиально отличаются друг от друга в зависимости от режима работы воздуходувной машины.

Такое различие явно прослеживается при скорости воздушного потока 20 м/с у разгрузочного конца мельницы (рис. 2). Если линии воздушных потоков в первой камере сконцентрированы вдоль оси мельницы, то линии воздушных потоков во второй камере перераспределены по всему объёму камеры. Межкамерная перегородка выступая в роли фактора, препятствующего воздушному потоку, в свою очередь приводит к увеличению скорости воздушного потока после прохождения щели межкамерной перегородки. В результате, воздушный поток с большей скоростью увлекает с собой мелкую фракцию из измельченного материала. Наряду с этим следует отметить, что скорость воздушных потоков в первой и второй камере одинаковы.

На рис. 3 можно увидеть образование во второй камере мельницы колец с низкой скоростью вблизи межкамерной перегородки. Образующиеся вблизи межкамерной перегородки кольца с низкой скоростью препятствуют прохождению измельченного материала через перегородку. Создание таких режимов аэродинамики внутри трубной мельницы происходит за счёт больших затрат электроэнергии на воздуходувную машину и приводит к быстрому изнашиванию рабочих частей высокоскоростного оборудования.

Образование в первой камере мельницы интенсивных турбулентных вихревых потоков в различных направлениях оказывает положительное влияние на протекание процесса измельчения.

Во первых, снижение скорости потока приводит к снижению подъёмной силы, что несомненно приводит к увеличению из смеси материала и шаровой загрузки частиц мелкой фракции, во вторых, образование интенсивных турбулентных вихревых потоков стимулирует дополнительному измельчению крупных частиц в результате воздействия на них центробежных сил и удара об броневую футеровку мельниц.

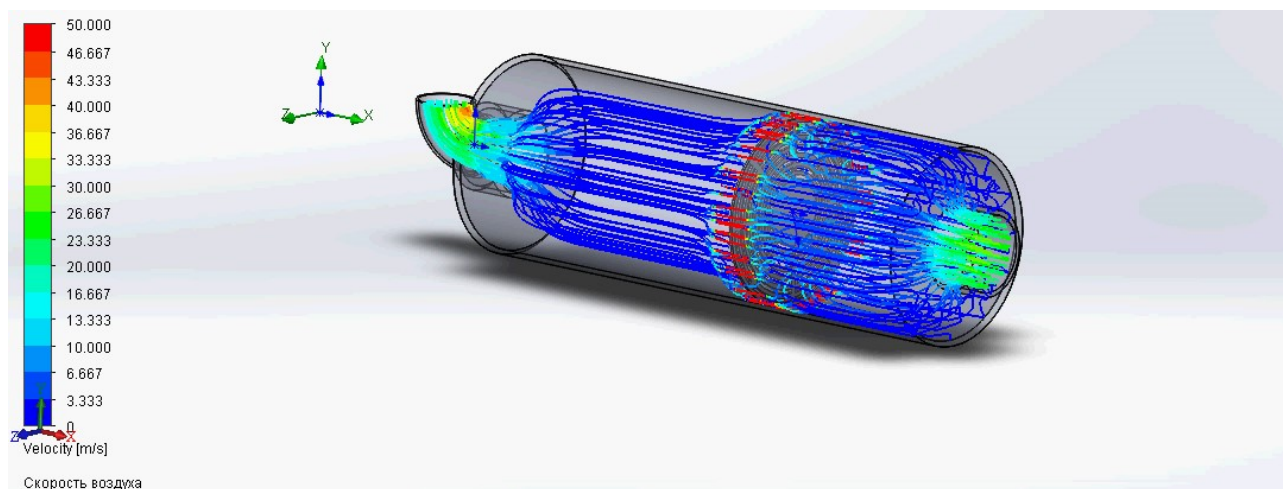


Рис. 2. Внутримельничные воздушные потоки двухкамерной мельницы (V = 20 м/с, гамма цветов – изменение скорости)

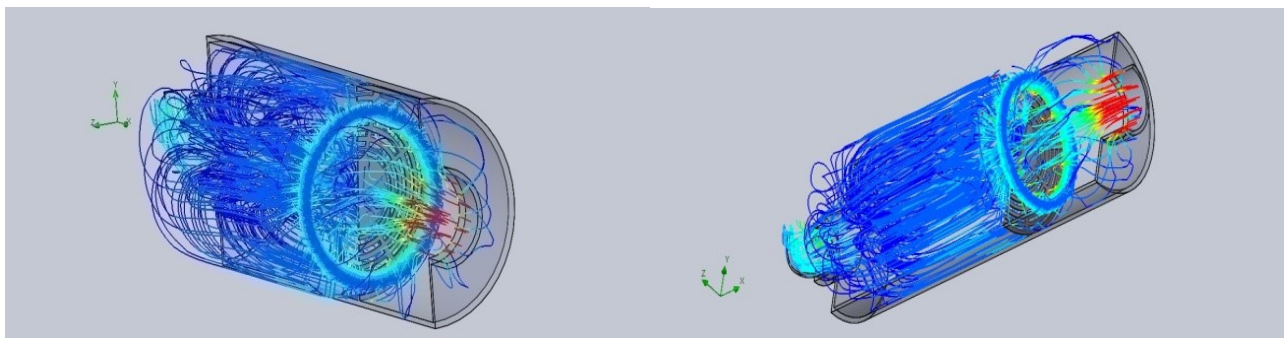


Рис. 3. Внутримельничные воздушные потоки двухкамерной мельницы ($V = 45$ м/с, гамма цветов – изменение скорости, соответственно рис. 2)

Образование колец с низкой скоростью вблизи межкамерной перегородки мельниц, по нашему мнению, может быть одной из причин перятствий повышения производительности трубных многокамерных мельниц. В производстве цемента известны предложения по применению импульсной технологии, подразумевающей использование наклонных межкамерных перегородок.

Импульсная технология производства цемента разработана В.В. Кафаровым, сущность предлагаемой технологии заключается в модификации кинетических и гидродинамических факторов существенно влияющих на изменения рабочих потоков технологического процесса. Систематизированы влияния импульсов на факторы изменения потоков, объединены на прямоугольные, чередующиеся и сложные комбинированные виды импульсов. Преимущества применения импульсной технологии, в частности при помолке твердых материалов, направлены на устранение или уменьшение влияния малоподвижных зон, обратных потоков и перераспределению материала по длине мельниц [17].

В импульсной технологии измельчения в качестве показателей структуры газо-материальных потоков в мельницах и её камерах выбраны: аспирационный воздух, время прохождения смеси и её отдельных компонентов через мельницу.

Также следует отметить, что для этих потоков важны значения числа Пекле. Увеличение числа Пекле показывает упорядоченность потоков и указывает о приближении к режиму идеального вытеснения.

Применение в трубных мельницах межкамерных наклонных перегородок [18, 19] вместо вертикальных, также способствует улучшению передвижения шаровой загрузки. Установленные наклонные перегородки обеспечивая смещение центра тяжести шаровой загрузки по горизонтальной и вертикальной плоскостям, также способствуют разрушению застойных зон и зон с низкой скоростью вблизи межкамерных перегородок. Разрушение застойных зон происходит за счёт пересыпки материала через наклонно установленные перегородки.

Этот процесс явно показан на рис. 4. Во время вращения мельницы наклонная перегородка переходит в зону с более высокой скоростью воздушного потока.

Наряду с пересыпанием смеси на наклонную перегородку и за счёт увеличения подъёмной силы потока при увеличении скорости воздуха, наблюдается вовлечение большего количества

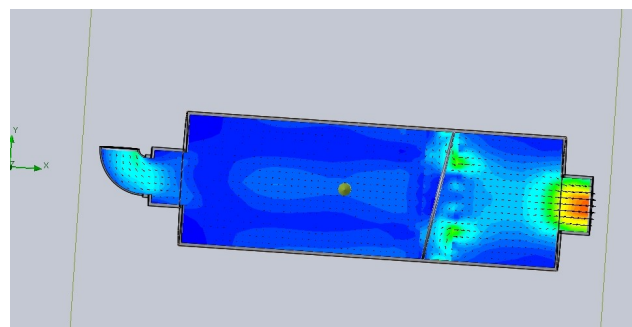


Рис. 4. Воздушные потоки в двухкамерной мельницы с наклонной перегородкой ($V=45$ м/с, гамма цветов – изменение скорости, соответственно рис. 2)

измельчённого материала. В результате, увеличивается производительность мельницы, снижаются удельные затраты электроэнергии.

Результаты проведённых нами исследований внутримельничных потоков воздуха и анализ опубликованных научных работ позволяют создать такие возможности, как:

- снижение удельных затрат электроэнергии на 10%;
- увеличение на 45-50% объема щелей в перегородках, повышение эффективности внутримельничных воздушных потоков;
- снижение на 10°C температуры цемента и воздушного потока;
- повышение в 1,4 раза производства цемента к единице объёмной массы мелющих тел.

Таким образом, выполненные исследования показывают техническую возможность увеличения производительности шаровых мельниц и получения качественного цемента.

Рассмотренные направления приводят к интенсификации процесса измельчения.

Однако, при выборе способа увеличения производительности мельниц необходимо проанализировать все аспекты эффективности, в первую очередь экономические, т.к. немаловажным фактором является показатель себестоимости производимой продукции. Например, для химического направления интенсификации необходима организация доставки, хранение ПАВ и дополнительная установка по вводу ПАВ в мельницу, что требует определённых материальных затрат.

Библиографический список:

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов // 10-е изд., стереотипное, доработанное. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.
2. Jorgensen, S.W. Cement grinding – a comparison between vertical roller mill and ball mill / S.W. Jorgensen // Cement International. – 2005. – No. 2, pp. 54-61.

3. Класен В.К. Технология и оптимизация производства цемента. – Белгород: БГТУ им. Шухова, 2011. – 271 с.
4. Дуда В. Цемент. – М.: Стройиздат, 1981. – 464 с.
5. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов: Учебник для вузов // Под ред. Тимашева В.В. – М.: Высш. школа, 1980. – 472 с.
6. Мухамедбаев А.А., Ячничков Я.М., Мухамедбаев А.А. Исследование размалываемости портландцемента в промышленных трубных шаровых мельницах // Химия и химическая технология. 2018, № 3. – С. 32-36.
7. Мухамедбаев А.А., Пиримов Т.Ж., Мухамедбаев А.А. Энергосбережение в технологии производства портландцемента // Материалы XI Международ. конф. молодых ученых «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов». – Пенза, 2016. – С.129-132.
8. Шакаров Т.И., Мухамедбаев А.А., Атаджанов Ш.Ю., Мухамедбаева М.А. Переработка флотационных отходов обогащения свинцовых руд в цементном производстве // Горный вестник Узбекистана. – № 2 (81). – Навои, 2020. – С. 53-55.
9. Патент 2304466 Россия МПК В02С 17/22. Бронефутеровка для мельниц полусамоизмельчения (варианты). Совмен В.К., Иванов В.И., Кузина З.П., Битаров М.А., Алиханов И.А. Заявлено 21.09.2005; Оpubл. 20.08.2007. Бюл. № 23. – 11 с.
10. Патент 2314160 Россия МПК В02С 17/22. Сортирующая бронефутеровка барабанных мельниц. Совмен В.К., Иванов В.И., Кузина З.П., Битаров М.А., Алиханов И.А. Заявлено 10.06.2007; Оpubл. 10.01.2008, Бюл. №1. – 7 с.
11. Патент полезной модели FAP 01654UZ. Футеровка цементной мельницы / Мухамедбаева М.А., Атаджанов Ш.Ю., Яковлев М.В., Мухамедбаев А.А., Каримов К.Ф. // Заяв.: 26.08.2020; опуб.: 30.06.2021. – 6 с.
12. Мухамедбаева М.А., Шакаров Т.И., Мухамедбаев А.А., Атаджанов Ш.Ю. Повышение эффективности работы шаровых мельниц // Горный вестник Узбекистана. – № 3 (82). – Навои, 2020. – С. 79-81.
13. Мухамедбаев А.А., Мухамедбаева М.А., Хурмаматов А.М. Бронефутеровка шаровых мельниц для измельчения минеральных вяжущих веществ // Архитектура. Строительство. Дизайн. – № 3-4. – Москва, 2020. – С. 162-167.
14. Хурмаматов А.М., Мухамедбаева М.А., Ячничков Я.М. Моделирование потока аспирационного воздуха в цементных шаровых мельницах // Научно-технический журнал «Развитие науки и технологий». – № 3. – М.: Наука, 2022. – С. 33-37.
15. Мухамедбаева М.А. Описание потока аспирационного воздуха в шаровых мельницах // Труды XXXI – научно-технической конференции молодых ученых, магистрантов и студентов бакалавриата «Умидли кимёгарлар-2022». Ташкент, ТХТИ, 2022. – С. 83-84.
16. Хурмаматов А.М., Мухамедбаева М.А. Оптимизация работы шаровых мельниц/ Сборник научных трудов III Международной конференции «Проблемы и перспективы инновационной техники и технологий в аграрно-пищевом секторе». –Ташкент, ТашГУТ, 2023. –Ч. 2. – С.48-49.
17. Кафаров В.В., Вердиян М.А., Кравченко И.В., Воронков И.И., Альбац Б.С., Ковалева И.Е., Долбилова И.Б., Хлусов В.Б., Головин Е.Н., Аюпов В.Г., Бачурина О.В., Бачурин В.В., Федосеев Д.Ф., Ляшенко П.Ф., Балабко Л.Н. Импульсная технология производства цемента // Цемент. 1988. – № 8. – С. 8-15.
18. Богданов В.С., Воробьев Н.Д., Платонов В.С., Шевченко И.Н. О возможности продольных перемещений трубных мельниц с наклонными перегородками // Цемент. – 1985. – № 12. – С. 17-19.
19. Редько Ю.Г. Опыт освоения мельниц с наклонными межкамерными перегородками // Цемент. – 1988. – № 2. – С. 10-13.

HT-250-01; HT-250 M

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
ТОКАРНЫЙ СТАНОК



NMZ
Всегда жизнь в металл

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

STRUKTURAVIY TASHKIL ETUVCHILARNING YEYILISHGA BARDOSHLILIK XUSUSIYATIGA TA'SIRINI TAHLIL QILISH



Egamberdiev I.P.,
NDK va TU
«Mashinasozlik texnologiyasi»
kafedrası professori v.b., n.f.d.



Hamroev N.N.,
NDK va TU
«Mashinasozlik texnologiyasi»
kafedrası doktoranti



Ashurov X.X.,
NDK va TU
«Mashinasozlik texnologiyasi»
kafedrası doktoranti



Saibov M.F.,
NDK va TU
«Mashinasozlik texnologiyasi»
kafedrası doktoranti

Jahonda bugungi kunning muhim vazifalaridan biri quyimakorlik usulida olinayotgan metall va qotishmalar mustahkamligini oshirish, mexanik va ekspluatatsion xossalari yaxshilash orqali iqtisodiy samaradorligini yuksaltirish hisoblanadi. Shu sababli qator olimlar guruhi yeyilishga bardoshli materiallar ishlab chiqarish va ularning kerakli xossalari yaxshilash borasida turli xil izlanishlar olib borishmoqda. Ushbu tadqiqot ishi olimlarning yuqori xromli oq cho'yanlarning asosiy strukturaviy tashkil etuvchilaridan biri bo'lgan karbidlarning joylashuvi va kristallanish jarayonida ajralib chiquvchi karbid fazalarining turlari yeyilish xususiyatiga qanday ta'sir ko'rsatishi borasida olib borilgan tadqiqotlarining natijalarini tahlil qilish asosida yozilgan. Tadqiqot ishida na'munalarga termik ishlov berilgandan keyin abraziv va erozion yeyilishni aniqlash uchun sinov qurilmalarida olib borilgan test natijalari va karbidlarning turi, shakli va joylashuvi yeyilish xususiyatlariga qanday ta'sir ko'rsatishi bayon etilgan. Sinov natijalariga ko'ra geksagonal tuzilishga ega bo'lgan M_7C_3 karbidi eng yaxshi ko'rsatkichlarni namoyon etadi.

Tayanch iboralar: yuqori xromli oq cho'yan, karbid, matritsa, abraziv yeyilish, erozion yeyilish, mikro qattqlik, yeyilishga bardoshli oq cho'yan, ikkilamchi karbid, austenit, toblash, bo'shatish, martensit, abraziv materiallar qattqliqi, cho'yan karbidlari, termik ishlov berish, mikroqattqlik, stabilashtirish, metallografik tahlil, kimyoviy elementlar ta'siri, zarb burchagi.

Одной из важных задач в мире сегодня является повышение прочности металлов и сплавов, полученных методом литья, повышение их экономической эффективности за счёт улучшения механических и эксплуатационных свойств. Поэтому ряд групп учёных проводят различные исследования по получению износостойких материалов и улучшению их желаемых свойств. Данная работа написана на основе литературного обзора результатов исследований, проведённых учёными ориентированно по карбидам, которые являются одной из основных структурных составляющих высокохромистого белого чугуна, и тому, какие типы карбидных фаз выделяются в процессе кристаллизации. В статье описаны результаты испытаний, проведённых на испытательных стендах по определению абразивного и эрозионного износа образцов после термообработки и влияние типа, формы и ориентации карбидов на характеристики износа. По результатам испытаний наилучшие характеристики показывает карбид гексагональной формой M_7C_3 .

Ключевые слова: высокохромистый чугун, карбиды, матрица, абразивный износ, эрозионный износ, микротвёрдость, износостойкий чугун, вторичный карбид, закалка, аустенит, отпуск, мартенсит, твёрдость абразивных материалов, термическая обработка, металлографический анализ, угол удара.

Butun dunyo energiyasining deyarli chorak qismi yeyilish hodisasi tufayli mashina detallarining ishqalanish va abraziv yeyilish muammosini bartaraf etish uchun sarflanadi. Shu sababli yeyilishga bardoshli materiallar texnologiyasini ishlab chiqish borasida ko'pgina tadqiqotchilar ish olib borishmoqda. Mashina detallari qismlari yeyilishining bir necha ko'rinishlari mavjud, ulardan biri mexanik shikastlanishlarning taxminan 8% ni tashkil etuvchi abraziv yeyilish hisoblanadi [1].

Yuqori xromli oq cho'yanlar odatda 650 dan 850 HV gacha qattqlikka ega bo'ladi. Bunday yuqori qattqlik ularni erozion va abraziv yeyilishga juda chidamli qiladi. Bundan tashqari karbid deb nomlanuvchi yuqori qattqlikdagi fazaning hajmiy ulushi oq cho'yanlarning mikrostrukturasi 30% gacha bo'lgan xrom karbidining (M_7C_3) mavjudligi mazkur materialning yuqori yeyilishga bardoshlilik xossasini ta'minlaydi.

Ushbu qattiq karbidlar material va abraziv zarralar o'rtasidagi to'g'ridan to'g'ri kontakti oldini oluvchi to'siq vazifasini bajarish bilan bir qatorda yeyilish tezligini minimal darajaga tushiradi [2]. Bundan tashqari, legirovchi elementlarni qo'shish orqali karbidlarning yo'nalishini, morfologiyasini, o'lchamlarini va taqsimlanishini o'zgartirish yeyilishga qarshiligini oshirishning samarali usuli ekanligi isbotlangan [2].

Fe-Cr-C qotishmalari M_7C_3 tipidagi karbidlarga qo'shimcha ravishda, odatda Nb, V, W va Ti, Mo kabi kuchli karbid hosil qiluvchi elementlarni o'z ichiga oladi, bu esa M_7C_3 tipidagi karbidlarga qaraganda qattiqroq va yuqaroq bo'lgan MC tipidagi karbidlarning shakllanishiga olib keladi. Yeyilishga bardoshli oq cho'yanlarning tarkibiga nikel kabi boshqa foydali elementlarni qo'shish metall asosdagi austenitni barqarorlashtiradi. Karbidlarni minimal legirlash tufayli nikel karbid hosil qiluvchi elementlarning hosil bo'lishining kamaytirishga imkon beradi [3].

Karbidlarning yo'nalishi oq cho'yanlarning abraziv yeyilish xususiyatlariga ta'sir qiluvchi asosiy xususiyatlardan biri ekanligi aniqlangan [4, 5]. Havk va boshqa mualliflar [6], karbidlarning uzun o'qi bilan yeyilish yuzasiga perpendikulyar yo'naltirilganda, yeyilish qarshilik sezilarli darajada kamayganligini aniqlashgan. Eng yaxshi yeyilishga bardosh berish ko'rsatkichi karbidlarning uzun o'qi yeyilish yuzasiga parallel va yeyilish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lganda erishilgan.

Coronado va boshqalarning [7] tadqiqotlariga ko'ra, pastroq yuklamalarda material massasining kamayishi karbidlar joylashuvining yeyilish yo'nalishiga bog'liq emasligini, faqatgina yuqori yuklamalarda karbidlarning yeyilish yo'nalishiga perpendikulyar bo'lishi yaxshi abraziv yeyilish xususiyatlarini keltirib chiqarishi ta'kidlangan.

Na'munalarning kimyoviy tarkibi [15]

Material	C	Si	Mn	Cr	V	Nb	Mo	W	Co	Fe
27Cr-WCI	3,07	0,62	0,47	27,45	–	–	–	–	–	Bal.
5V-MWCI	1,97	0,6	0,27	4,57	5,23	–	5,36	5,34	4,30	Bal.
5Nb-MWCI	1,79	0,65	0,20	4,89	–	5,27	4,69	5,75	4,96	Bal.
27Cr-MWCI	2,9	0,46	0,39	27,50	2,95	–	2,85	2,92	2,98	Bal.

Bir yo'nalishli kristallanishda karbidlar aniq kristallografik yo'nalishga ega zarrachalar harakati bo'ylab (parallel) yoki ko'ndalang yo'naladi [8]. Boshqa so'z bilan aytganda, karbid novdalarining uzun o'qi yeyilish yuzasiga parallel tekislikda joylashgan bo'lsa, yuqori xromli oq cho'yanlarning yeyilishga bardoshliligi eng zaif holatda bo'ladi. Boshqa adabiyotlarda [9], M_7C_3 karbidlarining uzun o'qi yeyilish yuzasiga parallel ravishda yo'naltirilganda, yuqori xromli oq cho'yanlarning yeyilishga chidamlilik xususiyatlari oshishi ta'kidlangan.

Ko'pgina olimlar oz miqdorda qo'shilgan kimyoviy elementlarning oq cho'yanlarning struktura hosil qiluvchilariga ta'sirini o'rganishgan. Touhami va boshqalar [10] ta'kidlashlaricha quyma tarkibiga oz (umumiy massaning 0-1%) miqdordagi marganes (Mn) va niobiy (Nb) qo'shish M_7C_3 karbidlarining tozlanishini ta'minlaydi. Undan tashqari 2% miqdordagi titan (Ti) ham ushbu turdagi karbidlarni yaxshilaydi [11]. R. J. Chungning [12] fikriga ko'ra titan miqdorini 6% ga ko'tarish M_7C_3 karbidlarining tozalanishiga ta'sir ko'rsatmaydi.

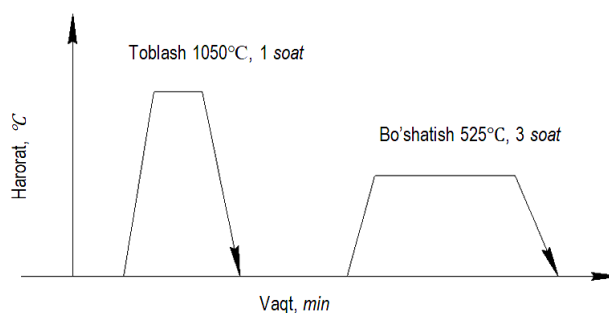
Hashimoto va boshqa tadqiqotchilar [13] tarkibi Fe-2%C-5%Cr-5%V-5%Mo-5%W-Co kabi tashkil topgan prokat juvalari (прокатные станы) uchun mo'ljallangan ko'p komponentli oq cho'yan yaratishadi. Qotish jarayonida mazkur materialning matritsasi geksagonal kristall panjaradan iborat plastinkasimon M_2C va markazlashgan kub panjarali gul bargi shaklidagi yoqlari markazlashgan kub panjaraga ega MC karbidlari kristallangan. M_2C karbidlari termik ishlov berish jarayonida austenit bilan reaksiya natijasida MC, M_6C va M_7C_3 karbidlariga o'zgargan ammo ularning morfologiyasi o'zgarishsiz qolgan.

Kusumoto va boshqalar [14] oq cho'yanga har birining miqdori 5% dan bo'lgan kuchli karbid hosil qiluvchi elementlar Cr, Ti, Mo, W va Co qo'shish natijasida ko'p komponentli yeyilishga bardoshli oq cho'yan tayyorlashgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra cho'yan tarkibidagi karbidlarning hajmiy ulushi 20% ni tashkil etgan. Ko'p komponentli mazkur materialni boshqa na'munalarda bilan solishtirish jarayonida 5V-5Co va 5Nb-5Co markali materiallar, tarkibida xromning miqdori 27% bo'lgan na'munaga nisbatan sezilarli darajada yuqori yeyilishga bardoshlilik xossasini ko'rsatgan. Kusumotoning ta'kidlashicha mazkur ustunlik va yuqori qattqlikning asosiy sababi kristallanish jarayonida ajraladigan MC, M_2C (yoki M_6C) va M_7C_3 karbidlarining hisobiga to'g'ri keladi.

Yuqoridagi tadqiqotchilarning ilmiy izlanishlariga tayangan holda Yila Gaqi va boshqalar [15] ko'p komponentli yuqori xromli yeyilishga bardoshli oq cho'yan yaratishgan va mazkur material ustida tadqiqot olib borishgan. Materialning tarkibiga umumiy massaning 3% miqdorida kuchli karbid hosil qiluvchi elementlar V, Mo, W va Co qo'shilgan. Kristallanish jarayonida yuqori qattqlikdagi M_7C_3 va M_2C karbidlari ajralganini kuzatish mumkin.

Material va metodlar. Tadqiqot olib borilgan na'munalarning kimyoviy tarkibi 1-jadvalda keltirilgan. Na'munalarni quyib olish uchun yuqori chastotali induksion pechlarda har bir materialdan 50 kg miqdorda cho'yan eritilgan hamda Y-shakldagi qum qoliplarga quyilgan. Y-shaklli formalarning quyi ($53 \times 53 \times 125 \text{ mm}^3$) qismidan yeyilishga sinash uchun $50 \times 50 \times 10 \text{ mm}^3$ o'lchamdagi na'munalarda kesib olinib yuza qismi $Ra = 0,2 \text{ mkm}$ tozalikda jilvirlangan.

Mazkur tadqiqot ishida materiallarga termik ishlov berish quyidagicha amalga oshirilgan: (1) toblash: 1050°C haroratda 1 soat davomida ushlab turilib havoda tezda sovutish (forced air cooling), (2),



1-rasm. Na'munalarga termik ishlov berish sharoitlari [15]

bo'shatish 525°C haroratda 3 soat davomida ushlab turib xona haroratida sovutish (1-rasm). Tadqiqotchilar oldingi ishlar davomida nisbatan kamroq yeyilishga bardoshlilik xossasini ko'rsatganligi sababli 27Cr-MWCI materialini faqatgina toblash bilan cheklanishgan.

Na'munalarning mikrostrukturasi optik mikroskop (OM, ECLIPSE LV150N, Nikon, Minato, Japan), skanerlovchi elektron mikroskop (SEM, JSM-6510A, JEOL, Akishima, Japan) va karbidlarning hajmiy ulushlari VHX-1000 (KEYENCE, Japan) qurilmalaridan foydalanilgan holda tekshirilgan. Metall asos va karbidlarning mikro qattqliklari FV-800 Vickers tester dan foydalanib aniqlangan.

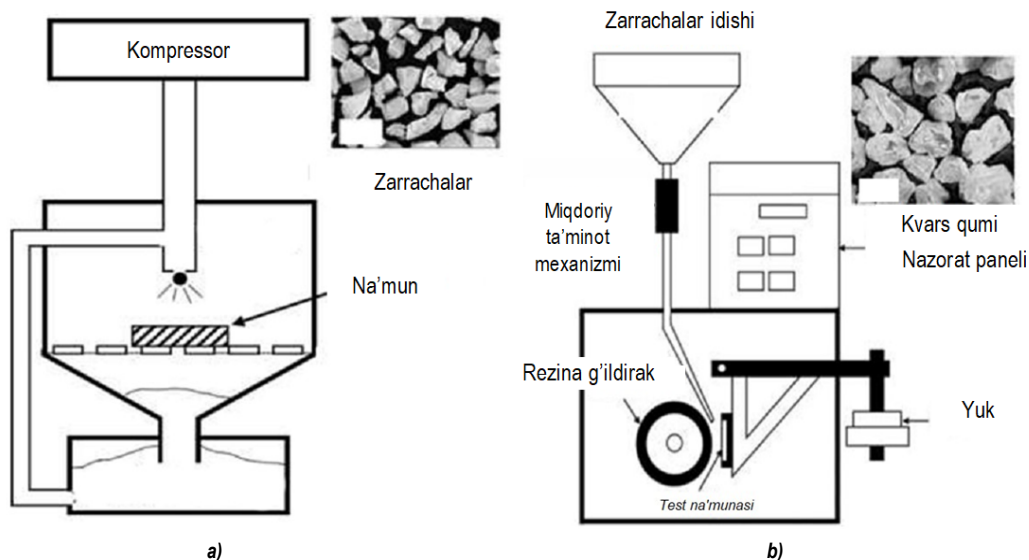
Metodlar. Yuqori xromli oq cho'yanlarning yeyilish xususiyatiga karbidlar yo'nalishining ta'sirini yaxshiroq tushunish maqsadida yuqoridagi qotishmalar abraziv va erozion yeyilishga sinab ko'rildi. Sinov qurilmalarining umumiy ko'rinishi 2-rasmda ko'rsatilgan.

2a-rasmdagi qurilma yordamida na'munalarga umumiy massasi 2 kg, qattqligi Vickers bo'yicha 810 HV, o'rtacha o'lchami 770 mkm bo'lgan po'lat zarrachalar, havoning tezligi 100 m/s va zarrachalarning tezlik darajasi 20 g/s bo'lgan sharoitda 30, 60, va 90 gradus burchak ostida zarb ta'sir ettirilgan. Test sinovlarining davomiyliigi 3600 sekundni tashkil etadi.

2b-rasmda rezina g'ildirak va kvarts qumining ta'siri ostida abraziv yeyilishni o'lchash qurilmasining sxematik ko'rinishi o'z aksini topgan. Yuqori xromli oq cho'yanlardan quyib olingan na'munalarda 100 ayl/min tezlikda aylanayotgan rezinali g'ildirak bilan 196 N kuch osilgan devor orasida o'rtacha o'lchami 300 mkm, 1100 HV qattqlikka, urilish tezligi 4,2 g/s bo'lgan kvarts qumi ta'siri ostida siqiladi. Sinovning davomiyliigi 360 sekundni tashkil etadi.

Olingan natijalar va ularning tahlili. Skanerlovchi elektron mikroskop ostida kuzatilgan mikrostrukturaviy tahlillar shuni ko'rsatadiki 27Cr-WCI na'munadan kristallanish jarayonida ajralgan M_7C_3 karbidlarning hajmiy ulushi 32,6% ni, 5V-MWCI da 18% asosan M_2C va MC karbidlari, 5Nb-MWCI da 18% MC va M_6C karbidlari, 27Cr-MWCI na'munada esa 34,9% asosiy qismini M_7C_3 , va oz miqdorda M_2C karbidlari tashkil etadi. 27Cr-MWCI va 27Cr-WCI qolgan materiallarga nisbatan yuqori hajmiy ulushdagi va kattaroq o'lchamdagi M_7C_3 karbidlar va qattiq matritsa hisobiga eng yuqori natijalarni ko'rsatadi.

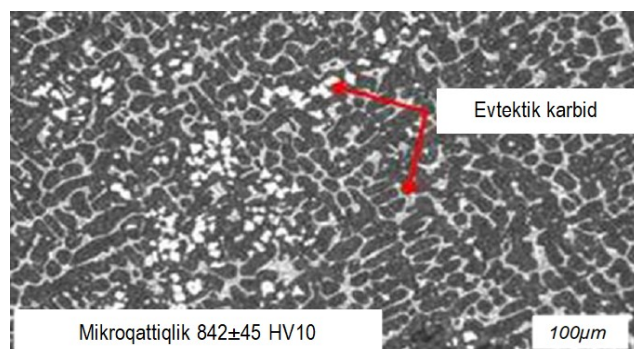
Odatda yuqori xromli yoki legirlangan cho'yanlarning matritsasi termik ishlov berishdan keyin austenitdan martensitga o'zgarib bo'ladi [16]. Lekin ayrim hollarda qoldiq austenit ham uchrab turish ehtimoli



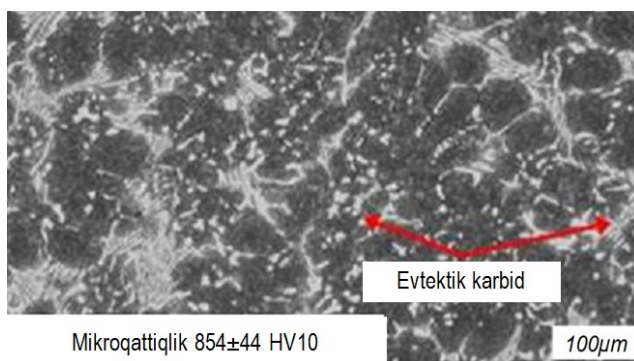
2-rasm. Sinov qurilmalarining umumiy ko'rinishi: a – erozion yeyilish sinov qurilmasi, b – abraziv yeyilish sinov qurilmasi [15]



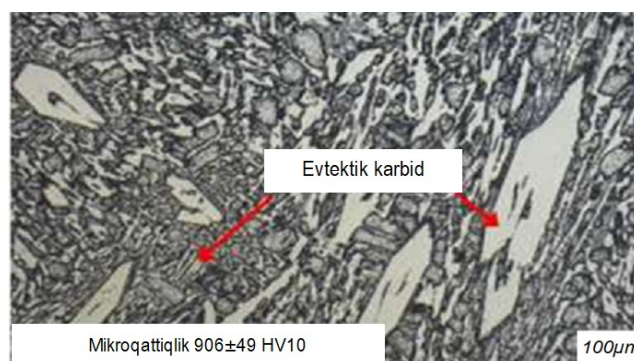
3-rasm. 27Cr-WC1 na'munaning SEM orqali ko'ringan mikrostrukturasi [15]



5-rasm. 5Nb-MWC1 na'munaning SEM orqali ko'ringan mikrostrukturasi [15]



4-rasm. 5V-MWC1 na'munaning SEM orqali ko'ringan mikrostrukturasi [15]



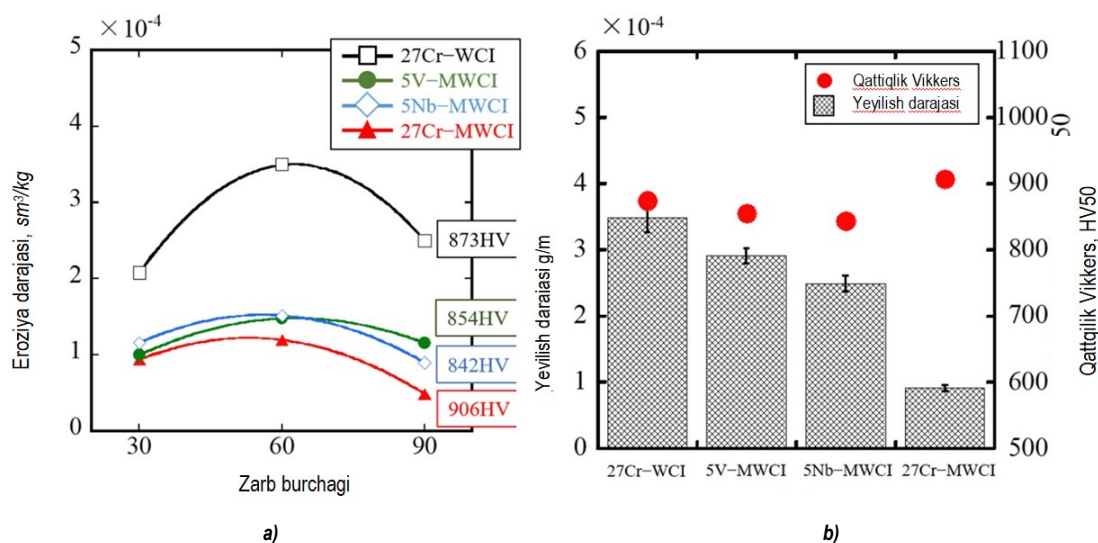
6-rasm. 27Cr-MWC1 na'munaning SEM orqali ko'ringan mikrostrukturasi [15]

ham yo'q emas ammo mazkur na'munalarda bunday turdagi tashkil etuvchilar umuman uchramaganini quyidagi mikrostrukturalar orqali bilib olish mumkin (3, 4, 5, 6-rasmlar).

Vickers mikroqattqlik o'lchagichi 27Cr-WC1 na'muna matritsasining qattqligini 654 HV0,3, 5V-MWC1 va 5Nb-MWC1 da 720 HV0,3 atrofida, eng yuqori qattqlikni yumshatganda matritsada ikkilamchi karbidlarning o'sishi natijasida uglerodning kamayishi evaziga 27Cr-MWC1 na'munada 800 HV 0,3 ko'rsatgan.

Eroziya va abraziv yeyilishga sinash natijalari 7a-rasmda keltirilgan. Birinchi turdagi sinov natijalari bo'yicha 27Cr-MWC1 na'muna eng yaxshi ko'rsatgichni qayd etgan. Abrziv yeyilishdagi sinov natijalarida ham 27Cr-MWC1ning yeyilish darajasi qolgan materiallarga nisbatan kamida 1,5 baravar yuqoriligini 7b-rasmdan ko'rish mumkin.

Xulosa. Abrziv va eroziya yeyilishga sinashlar davomida eng yuqori natijani 27Cr-MWC1, eng yomonini esa 27Cr-WC1 ko'rsatgan. Bundan kelib chiqadiki yuqori qattqlik va karbidlarning hajmiy ulushlari



7-rasm. Yeyilishga sinash natijalari: a – materiallarning qattiqligi va zarb burchagiga qarab eroziya yeyilish tezligi; b – har bir materialning qattiqligi va abraziv yeyilish tezligi [15]

yeyilishga bardoshlilikning asosiy omillari hisoblanmaydi. Na'munalarni SEM yordamida tahlil qilish jarayonida M_7C_3 karbidi 27Cr-MWCI va 27Cr-WCI na'munalarda shakl jihatidan bir xil ko'rinishda biroq birinchi materialda keyingisiga nisbatan qalinroq ko'ndalang kesimda uchrashini ko'rish mumkin.

27Cr-MWCIning yuqori yeyilishga bardoshlilik xossasining sabablari bu M_7C_3 karbidining atrofida yeyilish yuzasiga parallel joylashganligi, ishqalanish va zarb ta'sirida deformatsiyani tormozlash va matritsani yeyilishini kamaytiruvchi M_2C karbidining hisobiga to'g'ri kelmoqda [15].

Bibliografik ro'yxat:

- Holmberg Kenneth, Ali Erdemir. Influence of tribology on global energy consumption, cost and emissions // *Friction*, 2017. Volume 5. Issue 3, pp. 263-284
- Gaqi Y. et al. Effect of Carbide Orientation on Wear Characteristics of High-Alloy Wear-Resistant Cast Irons // *Lubricants*. 2023. Volume 11, Issue 7, pp. 272-276.
- Liu S. et al. Growth characteristics of primary M_7C_3 carbide in hypereutectic Fe-Cr-C alloy // *Sci Rep*. 2016. Volume 6, Issue 1, pp. 32941-32948.
- Coronado J.J., Sinatora A. Effect of abrasive size on wear of metallic materials and its relationship with microchips morphology and wear micromechanisms: Part 1 // *Wear*. 2011. Volume 271, Issue 9-10, pp. 1794-1803.
- Coronado J.J., Sinatora A. Effect of abrasive size on wear of metallic materials and its relationship with microchips morphology and wear micromechanisms: Part 2 // *Wear*. 2011. Volume 271, Issue 9-10, pp. 1804-1812.
- Heino V. et al. The role of microstructure in high stress abrasion of white cast irons // *Wear*. 2017. Volume 388-389, Issue 7, pp. 119-125.
- Coronado J.J. Effect of load and carbide orientation on abrasive wear resistance of white cast iron // *Wear*. 2011. Volume 270, Issue 11-12, pp. 823-827.
- Wang S. et al. Effect of Carbide Orientation on Impact-Abrasive Wear Resistance of High-Cr Iron Used in Shot Blast Machine // *Tribology*. 2013. Volume. 50, Issue 3, pp. 439-448.
- Doğan Ö.N., Laird G., Hawk J.A. Abrasion resistance of the columnar zone in high Cr white cast irons. // *Wear*. 1995. Volume 4, Issue 3, pp. 342-349.
- Tang X.H. et al. Microstructure of high (45wt.%) chromium cast irons and their resistances to wear and corrosion // *Wear*. 2011. Volume 271, Issues 10, pp. 1426-1431.
- Touhami R.C. et al. Wear Behavior and Microstructure Changes of a High Chromium Cast Iron: The Combined Effect of Heat Treatment and Alloying Elements. // *Metallographic Microstructural Analysis*. 2023. Volume 12, Issue 4, pp. 580-590.
- Chung R.J. et al. Effects of titanium addition on microstructure and wear resistance of hypereutectic high chromium cast iron Fe – 25 wt.% Cr – 4wt.% C: 1-4 // *Wear*. 2009. Volume 267, Issues 1-4, pp. 356-361.
- Hashimoto M., Kubo O., Matsubara Y. Analysis of Carbides in Multi-component White Cast Iron for Hot Rolling Mill Rolls: 2 // *ISIJ International*. 2004. Volume. 44, Issue 2, pp. 372-380.
- Kusumoto K. et al. Abrasive wear characteristics of Fe-2C-5Cr-5Mo-5W-5Nb multi-component white cast iron // *Wear*. 2017. Volume 376-377, pp. 22-29.
- Gaqi Y. et al. Effect of Carbide Orientation on Wear Characteristics of High-Alloy Wear-Resistant Cast Irons // *Lubricants*. 2023. Volume. 11, Issue 7, pp. 272-278.
- Inthidech S. et al. Three-body-type Abrasive Wear Behavior of Multi-alloyed White Cast Iron with Different Carbon Contents Used for Hot Work Rolls // *ISIJ International*. 2021. Volume. 61, Issue 11, pp. 2832-2843.

FREZALASH DASTGOHLARINI MODELLASHTIRISH ASOSIDA TADQIQ QILISH



Mamadiyov M.Yu.,
«NKMK» AJ NMZ IChB
Bosh texnolog bo'limi
muhandis-texnologi



Saidov A.N.,
«NKMK» AJ Innovatsion rivojlanish
boshqarma Departamenti YaTJEBIM
muhandis-mexanigi



Irnaeva L.S.,
«Navoiyazot» AJ muhandis-
konstruktori



Djuraeva D.M.,
«NKMK» AJ Markaziy loyihalash
byurosi muhandisi

Ushbu maqolada, metallga ishlov berish jarayoni bilan birga keladigan tovush tendensiyasi va ishlov berilgan yuzaning yuza g'adir budurlik tendensiyasi o'rtasida yaqin ishlov berish ko'rsatilgan. Kesuvchi asbobni o'rnatish paytida frezalash dasgohining modelini o'zgartirishlarini aniqlash uchun dinamikani matematik modellashtirish natijalari keltirilgan. Hisoblash natijalari asbobning ishlash muddatini prognoz qilish muammosini hal qilish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Asboblarning yeyilishining operatsion prognozi materialni qayta ishlash tarixida birinchi marta maqolada tasvirlangan materialning yangiligini aniqlaydigan kesish jarayonini moslashuvchan boshqarish uchun samarali texnologiyani amalda qo'llash imkonini beradi.

Tayanch iboralar: ishlov berish tizimi, frezalash dastgohi, asbob yeyilishi, tebranish, taxminiy (kutlayotgan) model.

В этой статье показано тесное взаимодействие между тенденцией объема, которая сопровождает процесс обработки металла, и тенденцией поверхностного натяжения обрабатываемой поверхности. Приведены результаты математического моделирования динамики для определения того, изменится ли модель фрезерного станка при установке режущего инструмента. Результаты расчетов служат основой для решения задачи прогнозирования срока службы инструмента. Оперативный прогноз просеивания инструмента позволяет впервые в истории обработки материала применить на практике эффективную технологию гибкого контроля процесса резания, определяющую свежесть описанного в статье материала.

Ключевые слова: система обработки, фрезерный станок, износ инструмента, вибрация, приблизительная (ожидаемая) модель.

Ma'lumotlarni qayta ishlash tizimining dinamikasini o'rganishdan maqsad uning dinamik xatti-harakatlari qonuniyatlarini o'rganishdir. Ushbu maqolada metallga ishlov berish jarayonini maqsadli nazorat qilish va ishlov beriladigan qismda nuqsonlar paydo bo'lishining oldini olish imkonini beradi. Ushbu o'tishlar quyidagilarda namoyon bo'ladi:

– materiallarni kesish jarayonida hosil bo'lgan ovoznig yo'nalishi va spektral tarkibi;

– asbobning yeyilishi tufayli kesish jarayonida o'zgarib turadigan yuza g'adir budurligi balandlik parametrlarining tendensiyasi va uning profili.

Ushbu parametrlar metallga ishlov berish sifatiga hal qiluvchi ta'sir ko'rsatadi. Jahonda texnologik mashinalarni takomillashtirish, energiya va resurs tejankor, yuqori tezlikda ishlaydigan texnika texnologiyalarni ishlab chiqarishga qo'llash, mahsulotlar sifatini va raqobatbardoshligini oshirish muhim ahamiyat kasb etmoqda. Shu bilan birga metall kesuvchi dastgohlarning ishonchligini oshirish muammolari, uskunalarining nosozliklari bilan bog'liq yo'qotishlarni kamaytirish, texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash xarajatlarini kamaytirish hamda dastgohlarning yuritish mexanizmlarini yuritmalarini kinematik va dinamik modellashtirish mashinasozlikning asosiy masalalaridan sanaladi. Bu borada rivojlangan mamlakatlar, jumladan Germaniya, Yaponiya, Xitoy, Rossiya va boshqa mamlakatlarning ilmiy-tadqiqot markazlarida raqobatbardosh hamda sifatli mahsulotlar olishda yuqori samaradorlikka ega va resurstejankor texnologiyalarni yaratishda mashina va mexanizmlarning yangi konstruksiyalarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ko'plab tadqiqotlarga qaramay, metall kesuvchi dastgohlarining samaradorligi va ishonchligini oshirish muammosi oxirigacha yechilmagan va uni hozirda yechish muhim ahamiyat kasb etadi. Zamonaviy mashinasozlik rivojlanishining o'ziga xos xususiyati

texnologik jarayonlarni avtomatlashtirish va intensivlashtirish bo'lib, bu mashina qismlarini qayta ishlash samaradorligini maksimal darajada oshirish istagi bilan bog'liq.

Ishlov berishning progressiv rejimlarini joriy etish, bo'sh vaqtni minimal darajaga tushirish va yordamchi harakatlar mashinalarning, xususan, dastgoh uskunasi shpindel birliklarining tezligini sezilarli darajada oshirishga olib keladi. Natijada, metall kesish dastgohlarida ishlov berish jarayonida tebranish jarayonlari ishlov beriladigan yuzaning aniqligi va sifatini cheklaydi, kesuvchi asbobning chidamliligiga va ishlov berish unumdorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatadi. Yangi loyihadagi dastgohni yaratish jarayonida va seriyali dastgohlar ishlab chiqarilgandan so'ng, shuningdek ta'mirlashdan keyin, dastgohni ishga tushirishdan oldin dastgoh va uning alohida qismlarini ishlatishda eksperimental tadqiqotlar, sinovlar va tekshirishlar amalga oshiriladi. Dastgohning geometrik aniqligi qismlarning, yig'ilishlarning aniqligi va ularni yig'ish sifatiga bog'liq. Dastgohning aniqligi, asosan, unda ishlov beriladigan qismlarning aniqligini aniqlaydi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati metall kesish dastgohlarini staninasi hamda tugunlari elementlarining yig'ishdagi texnik holatini yaxshilash bo'yicha usul ishlab chiqishga va staninani yo'naltirgichlariga supportrni yig'ishdagi aniqlik resurs qiymatini va sifatini aniqlashga hamda bashorat qilishga xizmat qiladi.

Keltirib o'tilgan sharh bo'yicha dastgohlarining ishlashini o'rganish bo'yicha yig'ish sifat ko'rsatkichlariga ko'ra, eng muhim ko'rsatkich staninani yo'naltirgichlariga supportrni moslashuvchanligi hisoblanadi. Ko'plab ishlarning tahlili bo'yicha staninani yo'naltirgichlariga supportrni harakatlanishida tebranishlar amplitudasi ish qismining sifatiga sezilarli darajada ta'sir qiladi.

Bugungi kunda dunyoda, ishonchlikni oshirish, metall kesuvchi dastgohlariga texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlash tizimini takomillashtirish borasida butun dunyoda sezilarli yutuqlarga erishildi. Biroq, bashoratli baholash, texnik holat va ta'mirlash, shuningdek, metall kesuvchi dastgoh uskunalari tayanch tugunlariga texnik xizmat ko'rsatishni yaxshilashga doir qator asosiy masalalar hal etilmagan. Shunga ko'ra, metall kesuvchi dastgohlar ishonchligini oshirish uchun ularga texnik xizmat ko'rsatish va ta'mirlashning resurstejamkor usullarini ishlab chiqish bo'yicha ilmiy tadqiqot ishlarini olib borish zarurati taqozo etmoqda.

Respublikamizda mashinasozlikni rivojlantirish, mashina va mexanizmlarning yangi avlodlarini yaratish bo'yicha chuqur nazariy hamda tajribaviy tadqiqotlar olib borishga, xususan, mashinasozlik sohasi uchun metall kesuvchi dastgoh uskunalari ishlab chiqish sifatini oshirish va ta'mirlashning resurstejamkor texnologiyalarini ishlab chiqish bo'yicha qator chora tadbirlar amalga oshirilmoqda. Dastgohlarni to'g'ri ishlatishning vazifasi, dastgohning uzoq vaqt ishlashini va aniqligi ta'minlangan holda uning ish unumini oshirishdan iborat. Dastgohning eng yuqori ish unumiga kesuvchi asbobi to'g'ri tanlab olish va uning yuqori sifatli bo'lishi, to'g'ri kesish rejimlari belgilash, dastgohni to'g'ri sozlash va rostdash natijasida erishiladi. Ikkinchi tomondan, dastgohlar bugun ishlatilish davrida barqaror yuqori ish unumini ta'minlashi kerak. Dastgohlarni to'g'ri ishlatishga nisbatan qo'yiladigan talablar ularni aniq va to'g'ri joylash, tashish, sexlarda o'rnatish, ishlatish, pasportlash, ta'mirlash va takomillashtirishni o'z ichiga oladi. Dastgohni to'g'ri o'rnatishning barcha shartlariga rioya qilish uning sifatli ishlashini ta'minlaydi. Dastgohlarni sinab ko'rish, odatda, ularning statikaviy va dinamikaviy aniqligini, dastgohni quvvati, bikrligi va titrashga chidamliligini hamda boshqa xususiyatlarini tekshirish uchun zarur. Dastgohlarning ishlab chiqarish korxonalarida ishlatilishi ularni tozalash va moylash, moylash-sovitish suyuqliklari tanlash, ishlatilib bo'lgan moylash va artish materiallarini yig'ish hamda tiklash kabi tadbirlarni o'z ichiga oladi. Dastgohning pasporti undan barcha ko'rsatkichlari hamda vazifasi jihatidan to'g'ri foydalanishga imkon beradi. Uskunalarni hozirgi zamon talablariga muvofiq va sifatli ravishda ta'mirlash korxonaning ritmik ishlashining muhim shartidir. Eskirib qolgan dastgohlar takomillashtirilishi lozim, bu hol dastgohlardan ularning ma'naviy eskirishigacha foydalanish muddatini oshiradi. Dastgohlarni ishlatishda xavfsizlik texnikasi tadbirlariga katta ahamiyat beriladi. Ammo dastgohlardan muvaffaqiyatli foydalanishning asosiy sharti zavodlarimizning dastgohlarni ishlatish bilan shug'ullanuvchi xodimlarining yuqori umumiy texnikaviy savodidir. Buning uchun barcha ishchilar dastgohning tuzilishi to'g'risida, dastgohga to'g'ri qarab turishning ishga ta'siri, uzellarni moylashning hamda rostdashning o'z vaqtida o'tkazilishi va boshqalar to'g'risidagi asosiy tasavvurlarga ega bo'lishi zarur.

Korxonaning injener-texnik xodimlari ham dastgohlarning ishlatilishiga oid bilimlarga ega bo'lishi kerak.

Frezalash dastgohida elastik tizimining matematik tavsifi ishlov berish tizimining ish sohasida sodir bo'ladigan jarayonlar bilan bog'liq bo'lishi kerak. Har bir qabul qilingan dinamik model o'ziga xos tarzda uning xatti-harakatlarini tavsiflovchi differensial tenglamalarning ma'lum bir tizimiga mos keladi. Ushbu tenglamalarni dinamik tizimning matematik modeli sifatida ko'rib chiqish mumkin. Chiziqli dinamik modelda elastik kuchlar deformatsiyalarga mutanosib, qovushqoqlikka qarshilik kuchlari tezlikka mutanosib va inersiya kuchlari tezlanishlarga mutanosib. Maqolada frezalash mashinasining o'xshash chiziqli dinamik modeli muhokama qilinadi.

Modellashtirish metodologiyasi.

Tadqiqotning maqsadi – kesuvchi asbobning texnik holati (yeyilishi) o'zgariganda texnologik tizimning dinamik va metallga ishlov berish dastgohlarining ishlashi bilan birga keladigan tovush to'liqlarining amplituda tendensiyasida aniqlash. Tadqiqot mavzusi odatdagi texnologik metallga ishlov berish tizimining dinamik modeli-frezalash dasgohining texnologik tizimi.

Tadqiqot metodologiyasi quyidagilardan iborat:

- kesuvchi asbobning yeyilishi, uning qattiqligi va xususiyatlari o'zgariganda ishlov berish tizimining tebranishlarini kompyuter simulyatsiyasi;

- simulyatsiya natijalarini taqqoslash va hisob-kitoblarning ishonchligini tasdiqlash va uning ishlashi bilan birga keladigan tovush to'liqini tendensiyasi amplitudasida ishlov berish tizimining dinamikasidagi o'zgarishlarning namoyon bo'lish qonuniyatlarini aniqlash uchun tekshirish tajribalari.

Frezalash dastgohining dinamik model diagrammasida m , k va c yordamida simulyatsiya qilingan birliklarining massasi, qattiqligi va qovushqoqlik koeffitsientlari ko'rsatilgan, bu parametrlar har bir simulyatsiya qilingan mashina yig'ilishining qisman tebranishlarini simulyatsiya qilingan qattiqlik va amortizatsiya o'qlari uchun asosiy o'gga perpendikulyar yo'nalishda tavsiflaydi. Umumlashtirilgan koordinata ξ_i texnologik tizimning i modellashtirilgan elementlarining har birining markazining fazoviy yo'naltirilgan tebranishlarini tavsiflaydi. Almashtirish yo'li bilan murakkab amplitudalar usulidan foydalangan holda differensial tenglamalar tuziladi va ular murakkab koeffitsientli algebraik tenglamalar tizimiga aylantirildi [1].

$$\xi(\tau) = \xi_A \cdot \exp(i\omega\tau);$$

bu yerda ξ_A – simulyatsiya qilingan dastgoh elementining markazining tebranishlari amplitudasi;

m – simulyatsiya qilingan dastgoh elementining massasi.

Ushbu algebraik tenglamalar tizimi Gauss usuli bilan yechiladi. Modelning sxemasi 1-rasmida va uning parametrlari 1-jadvalda keltirilgan. Modelning tebranishlari olita differensial tenglama yordamida tasvirlanadi. Shu bilan birga, texnologiyaning quyidagi elementlarining tebranishlari ko'rsatilgan.

$P_{CF}=107N$ kontakt kuchi qattiqligi k quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$k_i = m_i(2\pi f_i)^2;$$

bu yerda f_i – identifikatsiya usuli bilan hisoblangan simulyatsiya qilingan uzelnig qisman tebranishlarining chastotasi.

c_i quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$c_i = \frac{\sqrt{k_i \cdot m_i}}{Q_i};$$

Q_i – identifikatsiya usuli bilan hisoblangan simulyatsiya qilingan uzelnig tabiiy qisman tebranishlari cho'qqisining kattaligi (faktori).

Tizim ko'rib chiqiladi: asosiy konsol (m_1, k_1, c_1); shpindel freza bilan (m_2, k_2, c_2); kesuvchi asbob tishlari (m_3, k_3, c_3); stol va ishchi detal (m_4, k_4, c_4).

Differensial tenglamalar:

$$m_1 \xi_1 + c_1 \dot{\xi}_1 + k_1 \xi_1 - c_2 (\xi_2 - \xi_1) - k_2 (\xi_2 - \xi_1) + c_4 (\xi_1 - \xi_4) = 0;$$

$$m_2 \xi_2 + c_2 (\xi_2 - \xi_1) + k_2 (\xi_2 - \xi_1) = 0;$$

$$m_3 \xi_3 + c_3 (\xi_3 - \xi_2) + k_2 (\xi_3 - \xi_2) = -P(t);$$

$$m_4 \xi_4 + c_4 (\xi_4 - \xi_3) + k_4 (\xi_3 - \xi_3) = P(t);$$

Algebraik tenglamalar:

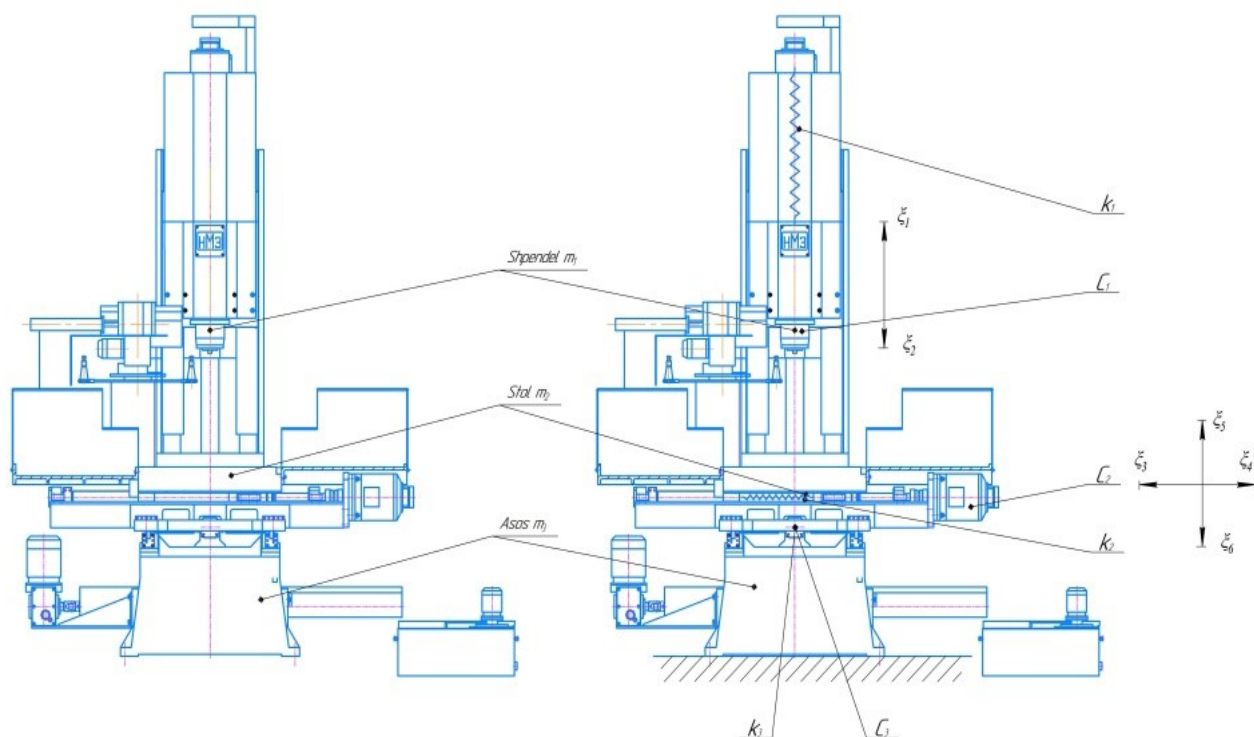
$$[k_1 + k_2 + k_4 - \omega^2 m_1] \xi_1 + i\omega(c_1 + c_2 + c_4) \xi_1 +$$

$$(k_2 + i\omega c_2) \xi_2 - (k_4 + i\omega c_4) \xi_4 = 0;$$

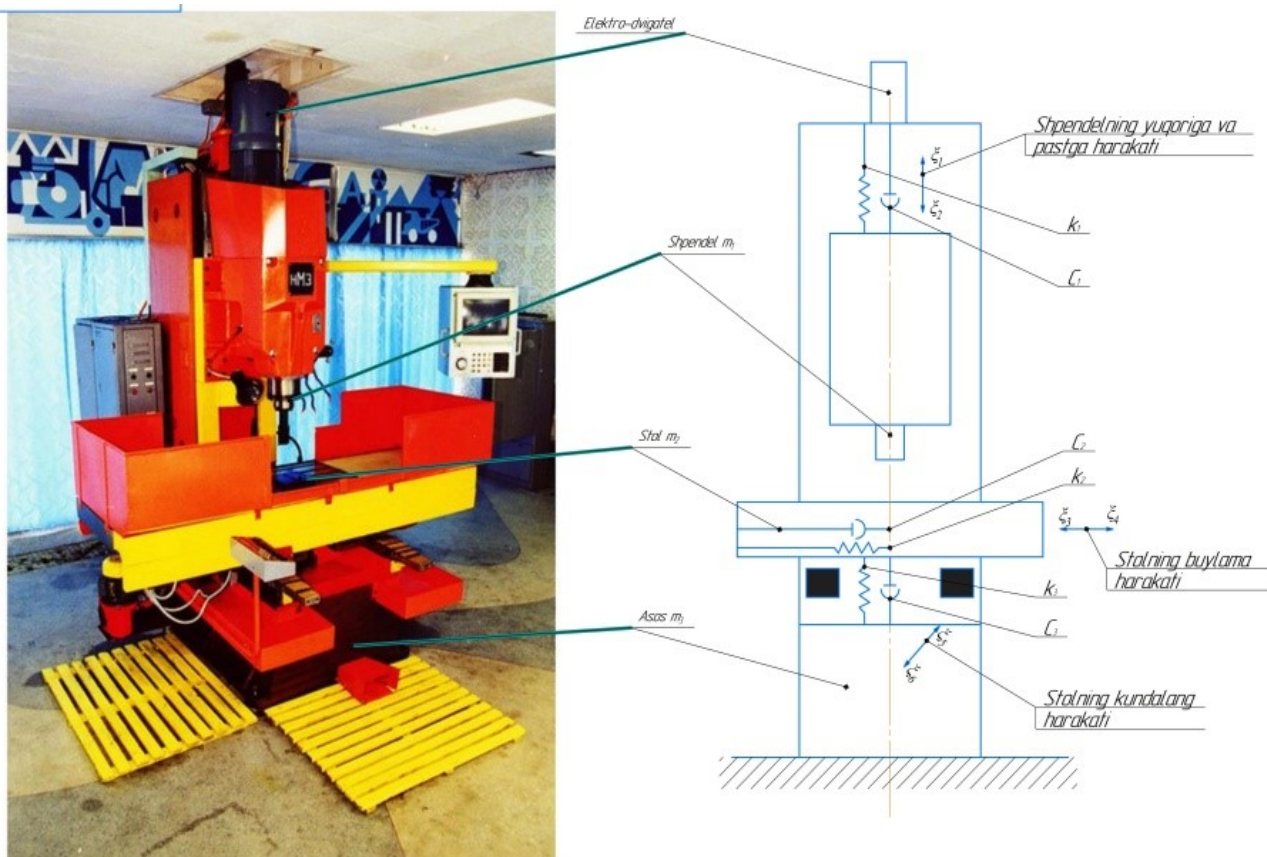
$$(k_2 + i\omega c_2) \xi_1 + [(k_2 - \omega^2 m_2) + i\omega c_2] \xi_2 = 0;$$

$$[k_2 + i\omega c_2] \xi_2 - [(k_{3x} - \omega^2 m_2) + i\omega c_{3x}] \xi_3 = -P(t, \omega);$$

$$[k_4 + \omega^2 m_4] \xi_4 - (k_4 + i\omega c_{4z}) \xi_3 = P(t, \omega).$$



1-rasm. Frezalash dastgohining texnologik tizimining modeli



2-rasm. Frezalash dastgohining texnologik tizimining dinamik modeli

Frezalash dastgohining dinamik modelining parametrlari

Dinamik parametr	Texnologik tizimning simulyatsiya qilingan uzeli			
	Konsol bazasi	Freza va patron bilan shpindel	Frezalar	Stol
Og'irligi, m^3, kg	5800	17	$0,3 \cdot 10^{-6}$	500
Mustahkamlik koeffitsienti, $k_t, N/m (fi, Hz)$	$8,6 \cdot 10^9$ (250)	$8,1 \cdot 10^6$ (110)	$1,9 \cdot 10^8$ ($4,14 \cdot 10^6$)	$1,2 \cdot 10^9$ (250)
Qovushqoqlikka qarshiligi koeffitsienti, $s, N/m/sec$ (sifat omili Q)	$1,8 \cdot 10^6$ (3)	2 348 (17)	0.5 (10)	$2,6 \cdot 10^8$ (3)

Yuqorilarda keltirilgan hisob kitoblarga asosan, metal kesuvchi dastgohlarida ishlatiladigan asinxron motorlarning texnik xarakteristikalari keltirilgan [2]. GPM asosiy elektr dvigatellari va boshqa turdagi avtomatlashtirilgan uskunalar uchun nominal quvvat (1,5-45) kvtgacha teng bo'lib, himoya darajasi kamida IP44 ga, guruh M8 ish sharoitlari (KPO M9, M10 va M11 uchun), shovqin darajasi esa, 3-sinf uchun M8, doimiy quvvatdagi tezlikni boshqarish diapazoni kamida 5:1 ga teng bo'lishi maqsadga muvofiq.

Sokolovskiy hosil bo'ladigan kuchlarni kesish jarayoni uchun empirik formulasi asosida yuza birligini bir, ikki va uchta o'tishda qayta ishlov berilgan yuza uchun zarur bo'lgan asosiy vaqtni belgilashda surish qiymatini hisoblash uchun quyidagi bog'liqliklarni oladi:

1 o'tishda ishlov berishda:

$$S = \sqrt{\frac{\lambda \cdot D_{fr}^{1.1} \cdot j_{mc} \cdot \Delta_{det}}{S_r \cdot V^{1.1} \cdot Z_{fr} \cdot \Delta_{zag}}}$$

2 ta o'tishda ishlov berish:

$$\sqrt{S_1 \cdot S_2} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot D_{fr}^{1.1} \cdot j_{mc} \cdot \Delta_{det}}{S_r \cdot V^{1.1} \cdot Z_{fr} \cdot \Delta_{zag}}}$$

3 ta o'tishda ishlov berish:

$$\sqrt{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot D_{fr}^{1.1} \cdot j_{mc} \cdot \Delta_{det}}{S_r \cdot V^{1.1} \cdot Z_{fr} \cdot \Delta_{zag}}}$$

bu yerda: S_1, S_2, S_3 – 2 va 3 ta o'tishda ishlov berishning surish qiymati;

λ – texnologik tizimning xususiyatlarini hisobga olgan holda olingan koeffitsient;

D_{fr} – freza diametri; j_{mc} – texnologik tizimning qattiqligi;

S_r – ishlov beriladigan materialning tarkibi, koeffitsienti;

V – frezalash qalinligi;

Z_{fr} – freza tishlar soni.

Ma'lum bir grafik zanjirlar to'plami orasida cheklanishlarni qanoatlantiruvchi va funksiyaning minimal qiymatini beruvchi zanjirni, ya'ni o'tishlarning minimal soni quyidagicha bo'ladi (2, 3-rasm). Ko'p o'tishni optimallashtirishning ushbu usuli eng to'g'ri hisoblanadi, biroq o'tishlarning optimal sonini aniqlash usulida har bir o'tishda o'tishlar soni va kesish maromlarini hisobga olish zarur bo'lgan matematik modellar mavjud emas.

Ishlov berish marshruti bir oralqida beriladi, ya'ni aniq ishlov berish kvalitet rejasi yo'q, unga ko'ra aniq bir kvalitet sifatini olish mumkin.

Freza tishining aylanish burchaklari ψ_i ψ_B , yuqoridagi formulalardan ko'rinib turibdiki, jarayon parametrlariga bog'liq. Qabul qilingan qiymatlar bo'yicha burchaklarning bir-biriga nisbati uchun uchta variant mavjud: $\psi_i > \psi_B$, $\psi_i = \psi_B$, $\psi_i < \psi_B$.

Dastlabki ikki variantni birlashtirish mumkin, chunki olingan vektorning dastur nuqtasi aylanish burchagi va olingan vektorning dastur nuqtasi aylanish burchagi va freza tishining aylanish burchagi o'rtasida hech qanday asosiy farq bo'lmasligi kerak [4]. Birinchi holat ko'rib chiqildi: $\psi_i \geq \psi_B$ $\omega > 0$.

I – dastlabki holat;

II – burchak bilan burilish ψ_B parametri keyin V amalga oshiriladi;

III – burchak bilan burilish ψ_i parametri keyin V amalga oshiriladi;

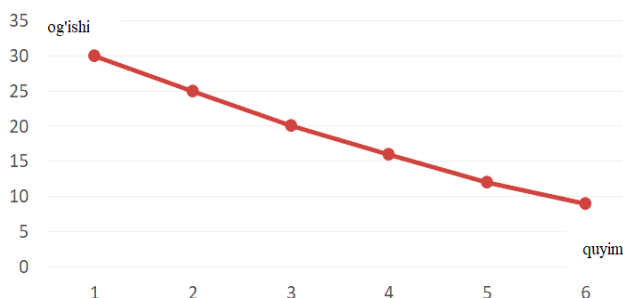
IV – ψ_k burchak bilan burilish oxirgi holat.

Lekin kesuvchi asboblarni bir trayektoriyadan ikkinchisiga ko'chirishda (3-rasm.), $Z_{i+2} = Z_{i+1}$, ifoda 0 ga teng, shuning uchun dastgoh shpindelining Z_{i+1} nuqtadagi tezligi maksimal qiymatni olishi kerak, Z_{i+2} nuqtada esa nomaqbul bo'lgan trayektoriya qismiga mos qiymatni oladi.

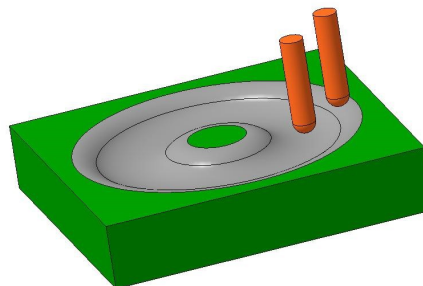
Bundan tashqari keskichni oldindan ishlov berilmagan qismni kesishda, shpindelning doimiy chastotasida kesish tezligi ortadi, chunki kesish chuqurligi o'zgaradi va avval ishlov berilmagan qismdagi S_{n2} shpindelning aylanish tezligi boshqaruv tizimi tomonidan funksiya sifatida aniqlanishi ifodalarda keltiriladi.

Shunday qilib, ishdan chiqish chegaralarining berilgan ehtimolliklari uchun uning qiymatlari oralig'i aniqlandi: $0,32 \leq [h_3] < 0,40$. Kuch parametrini tanlash va uning chegaraviy qiymatini belgilash uchun $h_3 = 0,36$ mm qabul qilindi. h_B, mh_3 , va h_a ta'rifi bo'yicha hisob-kitoblarni, yuqorida ko'rsatilgan usullarini bo'yicha ishlab chiqilgan, frezalash paytida kesish kuchining tarkibiy qismlarini hisoblash dasturi bilan bir xil muhitda yoziladi (4-rasm). Frezalashning ishdan chiqish holatini ishonchli aniqlash uchun kuch diagnostik belgilarining chegaraviy qiymatlarini tanlash va tayinlash bo'yicha umumiy dasturni yaratish muammosi hal qilinadi [3].

Dinamikani matematik modellashtirish natijalari asosida, frezalash dastgohi asboblarning chidamliligini tezkor prognozlash muammosini hal qilish uchun asos bo'lib xizmat qiladi (2-jadval). Ushbu muammoni hal qilish tarixda materiallarni qayta ishlatishda birinchi marta kesish



3-rasm. Ishlov berish marshrutining optimal variantini topish sxemasi



4-rasm. Toza ishlov berishda keskichning traektoriyasi

Asinxron motorlarning texnik xarakteristikalari

2-jadval

Nominal quvvat, kvt	10 gacha	30 gacha	30 yuqori
Maksimal tezlik, ob/min	6000-8000	5000-7000	4000-5000
Maxsus quvvat, kv / kg	0,07	0,11	0,13
Tebraniş darajasi, mm/s	0,71-1,12	1,12-1,8	1,12-1,8

jarayonini samarali boshqarish texnologiyasini amalda qo'llash imkonini beradi. Ushbu texnologiyani amalga oshirish uchun asboblarning umrini prognoz qilish to'g'ridan-to'g'ri materiallarni kesish usuli bilan qayta ishlash jarayonida real vaqtda amalga oshirilishi kerak. Bunday holda, prognozlash usuli bashorat qiluvchi modelga asoslangan bo'lishi kerak, bu vaqt funksiyasi bo'lishi va raqamli qiymat sifatida T kesish asbobining kerakli chidamliligini o'z ichiga olishi kerak bo'lgan minimal parametrlarga ega bo'lishi kerak. Diagnostika tizimlaridan foydalanish natijasida frezalash unumdorligi oshirish va kesuvchi asbob xarajatlari kamaytirish imkonini yaratildi. Kesuvchi asbobning holatini diagnostika qilish chegarasi qiymatini hisoblash algoritmi ishlab chiqildi [7]. Frezalash holatini diagnostika qilish uchun ishlab chiqilgan dasturlarni eksperimental sinovdan o'tkazildi. Frezalash jarayonida qarama-qarshi va yo'l-yo'lakay frezalashda botiq va qavariq yuzalarga ishlov berishning maksimal ruxsat etilgan qiymatlarini tanlash va hisoblash uchun matematik model ishlab chiqiladi va asosiy dastur yaratildi. Kesuvchi asbob holatining ishonchligini hisobga olgan holda kuchlarni tashxis

qilish xususiyatlarini avtomatik tanlash va ularning chegara qiymatlarini hisoblash uchun ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot to'plami, yuqori tezlikda yuzalarga ishlov berish uchun ishlov berish namuna detalari uchun kiritildi. Shuni ta'kidlash kerakki, bu masala o'zining murakkabligi tufayli nazariy jihatdan yetarlicha o'rganilmagan.

Mavjud alohida eksperimental materiallar, asosan, oldindan tig'izliklar ta'sirini o'rganishga bag'ishlangan bo'lib, uning qiymati ish vaqtida tartibga solinmaydi [5].

Shunday qilib, tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki, vibrotebranishlari yo'qligi sababli, bikir supportiga ega bo'lgan tizimning vibratsiya faolligi deyarli uning tayanch xususiyatlari bilan aniqlangan. Nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida kesuvchi asbobni tashxislashni real vaqt maromida qo'llash, kesuvchi asbobning ishdan chiqishi va eyilishi, kesish unumdorligini 5-7% gacha oshirish va kesuvchi asbob narxining 8,0-8,2% gacha kamaytirish imkonini beradi.

Diagnostika tizimlaridan foydalanish natijasida frezalash unumdorligi oshirish va kesuvchi asbob xarajatlari kamaytirish imkonini yaratildi. Kesuvchi asbobning holatini diagnostika qilish chegarasi qiymatini hisoblash algoritmi ishlab chiqildi.

Frezalash holatini diagnostika qilish uchun ishlab chiqilgan dasturlarni eksperimental sinovdan o'tkaziladi [6]. Frezalash jarayonida qarama-qarshi va yo'l-yo'lakay frezalashda botiq va qavariq yuzalarga ishlov berishning maksimal ruxsat etilgan qiymatlarini tanlash va hisoblash uchun matematik model ishlab chiqildi va asosiy dastur yaratiladi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Egamberdiev I.P. Spectral analysis of the oscillatory process of support assemblies on drilling machines // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – National Institute of Science Communication and Information Resources. – India, 2018. Vol. 5. Issue. 5, pp. 5958-5962.
2. Egamberdiev I.P. Spectral analysis of the oscillatory process of support assemblies on drilling machines // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – National Institute of Science Communication and Information Resources. – India, 2018. Vol. 5. Issue. 5, pp. 5958-5962.
3. 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.
4. Гречишников В.А. Математическое моделирование в инструментальной технике. – М.: Машиностроение, 1997. – 228 с.
5. Безьязычный В.Ф. Расчёт режимов резания: Учебно-методическое пособие. – М.: Машиностроение, 2010. – 270 с.
6. Брандон Д. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля. – М.: Техносфера, 2004. – 384 с.
7. 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.

НФ-630; НФ-1200М-03

**ВЕРТИКАЛЬНЫЙ
ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ СТАНОК**



NMZ
Всегда жизнь в движении

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА В СОВРЕМЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ



Туйбойев О.В.,
доцент кафедры
«Технология машиностроения»
ТГТУ им. И. Каримова, PhD



Каримов К.А.,
профессор кафедры
«Технология машиностроения»
ТГТУ им. И. Каримова, д.т.н.



Эгамбердиев И.П.,
профессор кафедры
«Технология машиностроения»
НГГТУ, д.т.н.



Яхшиев Ш.Н.,
доцент кафедры
«Технология машиностроения»
НГГТУ, PhD

Asbobning yemirilishi ishlov berish jarayonlariga ta'sir qiluvchi muhim omil bo'lib, mahsulotning sifatiga, uskunaning ishdan chiqishi va ishlab chiqarish xarajatlariga ta'sir qiladi. Ushbu maqola ma'lumotlarni oldindan qayta ishlash va asboblarning yemirilishini bashorat qilish uchun to'liqlik qisqa muddatli xotira (WLSTM), chuqur ko'p qatlamli perseptron (DMLP) va uzluksiz to'liqlik o'zgarishini birlashtirgan modelni taklif qiladi. Natijalarni tekshirish mikroskopik tahlil va chekli elementlar tahlili orqali amalga oshiriladi. Tadqiqot asboblarning yemirilishini kuzatish va yemirilish jarayonini optimallashtirish uchun sun'iy intellekt (AI) usullarini, jumladan, mashinali o'rganish va neyron tarmoqlarni o'z ichiga oladi. Sirtning morfologik tahliliga asoslangan bo'lib, ishlov berilgan yuzaning xarakterli parametrlari orqali asboblarning yemirilishini miqdoriy aniqlashda tezkor yarim onlayn asboblarning yemirilishini nazorat qilish usuli joriy etildi. Ommaviy ishlab chiqarish muhitida asboblarning yemirilishini baholash uchun tasvirni olish va qayta ishlash usullari qo'llaniladi.

Tayanch iboralar: asbobning yemirilishini nazorat qilish, ishlov berish jarayonlari, sun'iy intellekt usullari, sirt morfologik tahlili, to'liqlik muddatli xotira, ko'p qatlamli perseptron, uzluksiz to'liqlik transformatsiya, jarayonni bashorat, ishlab chiqarish samaradorligi.

Износ инструмента является критическим фактором, влияющим на процессы обработки, влияющим на качество деталей, время простоя оборудования и производственные затраты. В этой статье предлагается модель, которая сочетает в себе вейвлет-долговременную память (WLSTM), глубокий многослойный перцептрон (DMLP) и непрерывное вейвлет-преобразование для предварительной обработки данных и прогнозирования износа инструмента. Исследование сосредоточено на поздней стадии износа с использованием операции многоосного шлифования для имитации условий искусственного износа инструмента. Проверка осуществляется посредством микроскопического анализа, измерений технологических сил и анализа методом конечных элементов. В исследовании используются методы искусственного интеллекта (ИИ), в том числе машинное обучение и нейронные сети, для мониторинга износа инструмента и оптимизации процесса износа. Представлен метод быстрого полуонлайн-мониторинга износа инструмента, основанный на морфологическом анализе поверхности, позволяющий количественно оценить износ инструмента по характерным параметрам обработанной поверхности. Методы захвата и обработки изображений используются для оценки износа инструмента в универсальной производственной среде.

Ключевые слова: мониторинг износа инструмента, процессы обработки, методы искусственного интеллекта, морфологический анализ поверхности, вейвлет-долговременная память, глубокий многослойный перцептрон, непрерывное вейвлет-преобразование, прогнозное обслуживание, эффективность производства.

Износ инструмента является критическим аспектом процесса обработки, влияющим на качество детали и предотвращающим повреждение [1]. Прогнозирование износа инструмента на основе уровней вибрации является сложной задачей из-за различий в условиях резания [2].

В исследовании предлагается модель, которая сочетает в себе вейвлет-долговременную память (WLSTM), глубокий многослойный перцептрон (DMLP) и непрерывное вейвлет-преобразование для предварительной обработки данных и прогнозирования износа инструмента [3].

Исследования направлены на изучение износа инструментов на поздней стадии путём создания стабильных условий износа [4]. Операцию многоосного шлифования применяют для создания искусственного износа инструмента, повторяющего естественный износ [5].

Методология проверена посредством микроскопического анализа, измерения технологической силы и анализа конечных элементов. Методы искусственного интеллекта (ИИ), такие как машинное обучение и нейронные сети, используются для мониторинга

износа инструмента и оптимизации процесса износа. Предложен метод быстрого полуонлайн-мониторинга износа инструмента, основанный на морфологическом анализе поверхности. Метод позволяет количественно оценить износ инструмента на основе характерных параметров обрабатываемой поверхности. Методы захвата и обработки изображений также используются для оценки износа инструментов в универсальной производственной среде.

Мониторинг износа инструмента имеет решающее значение в процессе обработки, поскольку он обеспечивает качество деталей, сокращает время простоя оборудования и прогнозирует стоимость и срок службы инструмента.

Для мониторинга износа инструмента были предложены различные методы, включая анализ сигналов датчиков, морфологический анализ поверхности и модели глубокого обучения. Взаимосвязь между износом инструмента и сигналами датчиков можно анализировать, чтобы определить необходимый сигнал сбора данных [6].

Морфологический анализ поверхности, основанный на текстуре и шероховатости обработанной поверхности, может эффективно

выявить и количественно оценить износ инструмента [7]. Модели глубокого обучения, такие как вейвлет-долговременная память (WLSTM), глубокий многослойный перцептрон (DMLP) и сверточная нейронная сеть (CNN), показали многообещающие результаты в прогнозировании износа инструмента на основе данных о вибрации и сигналах силы, преобразованных в изображения [8-9]. Этот всесторонний анализ явлений износа инструмента даёт представление об эффективных методах мониторинга износа инструмента для улучшения качества и эффективности производства [10].

Мониторинг износа инструмента имеет решающее значение в передовых производственных процессах, поскольку позволяет гарантировать качество заготовок и предотвратить повреждение оборудования.

Для решения этой проблемы были предложены различные методы. Чжэн Цзоу и др. разработал метод онлайн-мониторинга износа инструмента, основанный на обработке данных и извлечении признаков. Они собрали сигналы тока шпинделя и данные о термической деформации, чтобы создать набор образцов функций, который затем был обработан с использованием анализа чувствительности и алгоритма глубокого автоматического кодирования. Полученные синтезированные признаки были использованы для построения картографической модели для мониторинга состояния износа инструмента.

Чжэ Ли представил инструмент моделирования, оптимизации и рекомендаций для оценки влияния изменений параметров на производительность модели цифрового двойника. Сян-Чун Цэнг и др. разработал модель изгибающего момента, которая учитывает силы резания для изучения поведения резания и прогнозирования износа инструмента. Эти исследования обеспечивают всесторонний анализ явлений износа инструментов в современных производственных процессах.

Износ инструмента — сложное и многогранное явление, играющее ключевую роль в определении успеха операций механической обработки в различных отраслях.

В данной исследовательской работе проводится всесторонний анализ явлений износа инструментов в передовых производственных процессах с целью разгадать сложные механизмы, лежащие в основе деградации режущих инструментов. Исследование охватывает целый спектр производственных технологий, включая традиционные методы обработки, а также новые технологии, такие как аддитивное производство и высокоскоростная обработка.

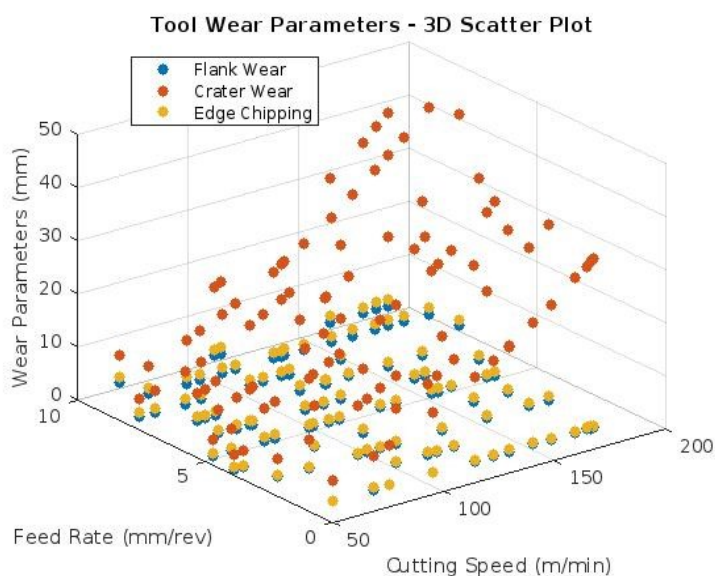


Рис. 1. Моделирование и визуализация параметров износа инструмента

Тщательно изучая факторы, влияющие на износ инструмента, исследование стремится предоставить ценную информацию о продлении срока службы инструмента, снижении производственных затрат и, в конечном итоге, о продвижении современного уровня производства.

Исследование изучает влияние параметров резания, методов смазки и покрытий инструментов на износостойкость, предлагая целостное представление о сложном взаимодействии между переменными процесса.

Явления износа инструмента широко изучались в процессе механической обработки. Контроль износа инструмента необходим для обеспечения качества заготовки и предотвращения повреждения технологического оборудования [11].

Для мониторинга износа инструмента были предложены различные методы, включая анализ сигналов датчиков и извлечение характеристик во временной и частотной областях [12].

Морфологический анализ поверхности также использовался для количественной оценки степени износа инструмента, при этом текстура обработанной поверхности служила показателем износа инструмента [13].

Кроме того, было обнаружено, что износ инструмента имеет прямую корреляцию с уровнем вибрации в процессе обработки [14]. Модели глубокого обучения, такие как свёрточные нейронные сети, применялись для точного определения состояния износа инструментов на основе сигналов силы, преобразованных в двумерные изображения [15]. Эти исследования способствуют улучшению контроля износа инструмента и повышению эффективности механической обработки.

Ранние исследования износа инструмента заложили основу для понимания основных механизмов, участвующих в процессах механической обработки [16]. Основополагающие работы Тейлора и Мерчанта дали важное представление о взаимосвязи между скоростью резания, износом инструмента и экономикой механической обработки. Последующие исследования основывались на этих принципах и изучали явления износа в традиционном производственном контексте. Классические модели износа, такие как уравнение износа Арчарда, уже давно служат краеугольным камнем для понимания износа инструмента в традиционных процессах обработки. Несмотря на эффективность во многих сценариях, эти модели сталкиваются с ограничениями при применении к современным материалам и нетрадиционным методам обработки.

Рассматриваются сильные и слабые стороны традиционных моделей, что подготавливает почву для необходимости развития теоретических основ. С появлением в производстве современных материалов, таких как керамика, композиты и суперсплавы, в динамике износа инструментов произошла смена парадигмы.

Также рассматривается, как уникальные свойства этих материалов влияют на механизмы износа, бросая вызов общепринятым представлениям и побуждая к разработке новых моделей, адаптированных к требованиям современных процессов обработки.

Интеграция аддитивного производства, высокоскоростной обработки и других передовых технологий создала новые проблемы в понимании износа инструментов. Рассматриваются недавние исследования явлений износа, характерных для передовых производственных процессов, подчеркиваются влияние нетрадиционных траекторий движения инструмента, быстрых циклов нагрева и охлаждения, а также использования интеллектуальных материалов [21-27]. Взаимосвязь между параметрами резания (скоростью, подачей, глубиной резания) и износом инструмента является важнейшим аспектом оптимизации обработки.

Оцениваются текущие исследования влияния параметров обработки на явления износа, обращаясь к тонкому балансу между максимизацией скорости съема материала и сохранением целостности инструмента. Износ инструмента по своей сути связан с трибологическими взаимодействиями на границе раздела инструмент-заготовка.

Рассматриваются исследования, посвященные стратегиям смазки, характеристикам трения и роли смазочно-охлаждающих жидкостей в минимизации износа. Цель состоит в том, чтобы выявить идеи, которые могут помочь в разработке эффективных методов смазки для современного производства.

В целях комплексного анализа явлений износа инструмента в передовых производственных процессах мы приступили к моделированию и визуализации ключевых параметров износа инструмента — износа по задней поверхности, кратерного износа и сколов кромок.

На *рис. 1* показаны результаты моделирования, которые служат наглядным примером, дающим основу для понимания взаимодействия между условиями резания и износом инструмента.

Мы инициировали процесс, создав произвольные условия резания, включая скорости резания и подачи, что отражает реальные производственные сценарии. Используя эти условия, мы смоделировали параметры износа инструмента с помощью уравнений, разработанных для имитации сложных взаимосвязей, наблюдаемых в процессах обработки. Включение случайного шума обеспечило реалистичную изменчивость смоделированных данных.

Износ задней поверхности [17]. Смоделировано как функция скорости резания, подачи и случайной изменчивости. Кратерный износ [18]. Моделирование выполнено с учетом квадратичного влияния скорости резания, подачи и случайных возмущений. Выкашивание кромок [19]. Представлено как функция скорости резания, подачи и дополнительных случайных колебаний. На *рис. 1* показана точечная диаграмма координат траектории инструмента. На этом рисунке показаны оптимизированные координаты траектории инструмента, созданные с помощью алгоритмов на основе искусственного интеллекта. Каждая точка на точечной диаграмме представляет собой определенное положение на траектории инструмента, демонстрируя способность системы автономно перемещаться и оптимизировать траектории резания. Заполненные маркеры успокаивающего синего цвета подчеркивают точность, достигнутую за счёт интеграции GPT-4 и методов глубокого обучения.

Стремясь к систематическому пониманию сложного взаимодействия между скоростями резания, подачами и их влиянием на результаты обработки, мы разработали и визуализировали экспериментальную матрицу (*рис. 2*). Эта матрица отражает широкий диапазон условий резания, включая факторный расчет для всестороннего учета взаимодействия между переменными. Диапазон скоростей резки – мы определили диапазон скоростей резки, систематически охватывающий от 50 до 200 м/мин. Этот диапазон был выбран, чтобы охватить спектр сценариев обработки. Диапазон скоростей подачи – скорости подачи систематически менялись в пределах от 1 до 10 мм на оборот. Этот выбор призван охватить спектр условий подачи, встречающихся в практической обработке. Factorial Design – используя функцию «сетчатая сетка», мы создали сетку комбинаций скоростей резания и подачи.

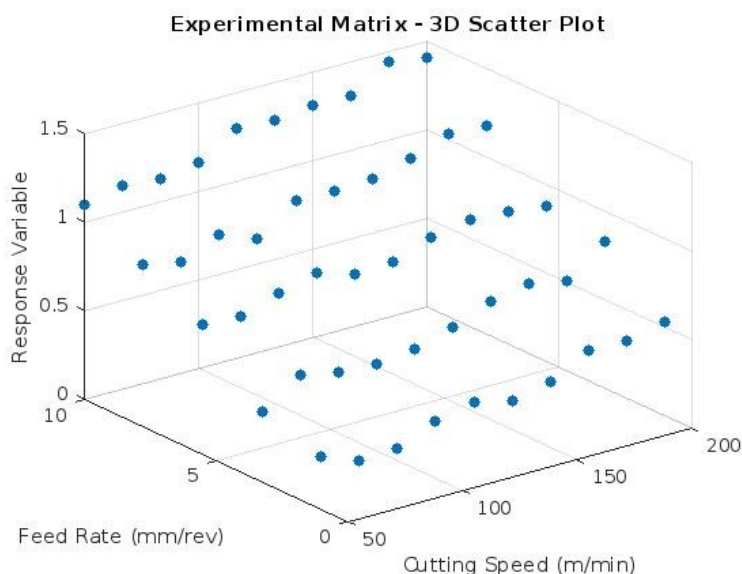


Рис. 2. Экспериментальная матричная визуализация

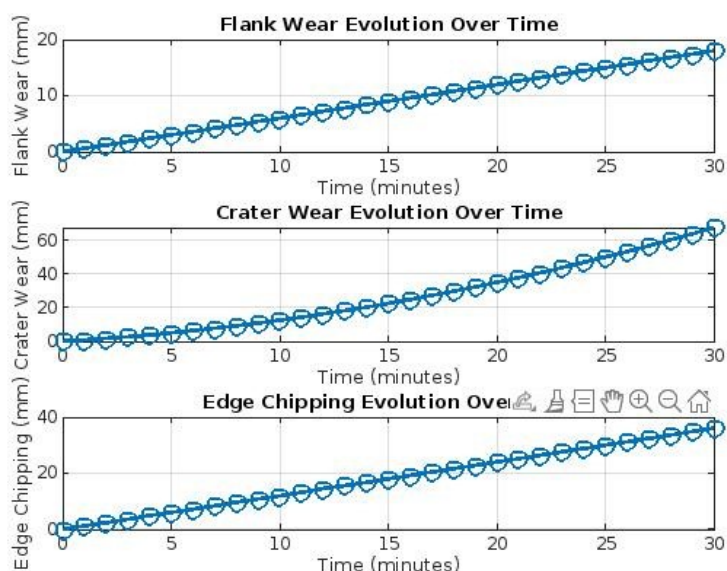


Рис. 3. Визуализация эволюции износа инструмента с течением времени

Этот факторный дизайн обеспечил всестороннее исследование пространства параметров, облегчая наблюдение за взаимодействием между переменными. Стремясь к более глубокому пониманию динамики износа инструмента во время операций обработки, мы смоделировали и визуализировали эволюцию ключевых параметров износа инструмента – бокового износа, кратерного износа и сколов кромок – с течением времени (*рис. 3*).

Это моделирование носит иллюстративный характер и дает представление о том, как параметры износа реагируют на контролируемые условия резания. Условия резания – мы определили конкретные условия резания, включая постоянную скорость резания 100 м/мин, скорость подачи 5 мм на оборот и общее время обработки 30 мин.

Моделирование, зависящее от времени. Используя подход к моделированию, зависящему от времени, мы сгенерировали синте-

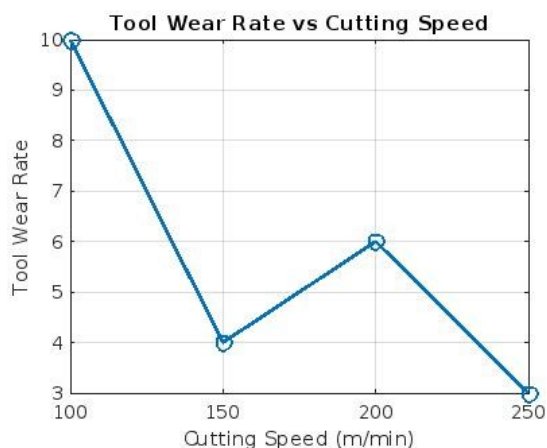


Рис. 4. Скорость износа инструмента в зависимости от скорости резания

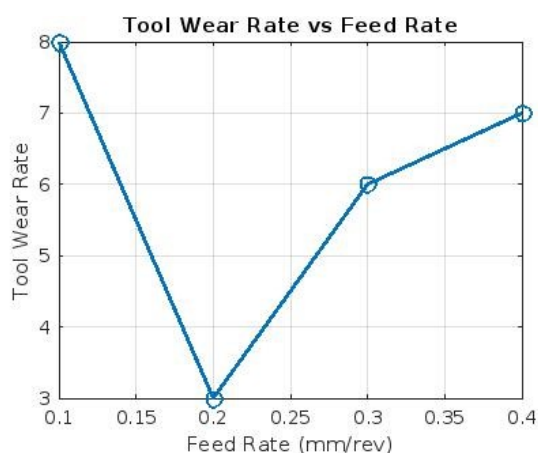


Рис. 5. Скорость износа инструмента в зависимости от скорости подачи

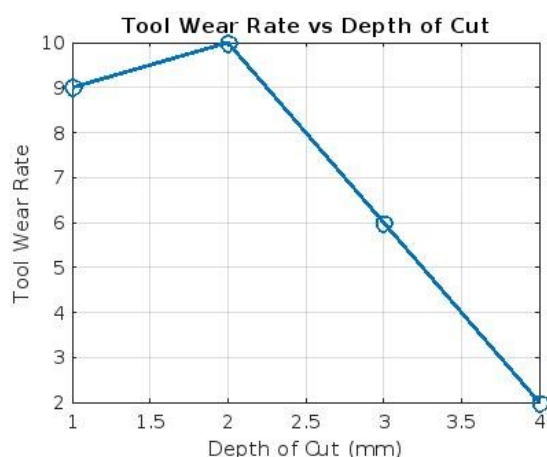


Рис. 6. Скорость износа инструмента в зависимости от глубины резания

тические данные для износа по задней поверхности, луночного износа и сколов кромок в течение всего периода обработки. Моделирование включало комбинацию детерминистических тенденций,

основанных на условиях резания и случайной изменчивости, для имитации реальных сценариев.

Графики изменения износа инструмента – визуальное представление смоделированных данных представлено тремя подграфиками, каждый из которых посвящен отдельному параметру износа инструмента.

Эволюция износа задней поверхности – первый подграфик иллюстрирует эволюцию износа задней поверхности с течением времени.

На графике показано, как изменяется размер износа по задней поверхности в зависимости от определенных условий резания. Эволюция луночкообразного износа – второй подграфик визуализирует эволюцию луночкообразного износа в процессе обработки.

График отражает взаимосвязь между скоростью резания, скоростью подачи и развитием луночкообразного износа. Эволюция сколов кромок – третий подграфик посвящен эволюции сколов кромок. Он дает представление о том, как условия резания влияют на появление сколов на кромках с течением времени.

Время как ось X, каждый подграфик имеет время на оси X, представляющее прогрессивную продолжительность операций обработки. Параметры износа по оси Y – оси Y отображают динамику износа по задней поверхности в мм. Отдельные подграфики: разделение графиков повышает наглядность и позволяет целенаправленно исследовать каждый параметр износа инструмента.

На рис. 4 проиллюстрирована взаимосвязь между скоростью износа инструмента и скоростью резания в процессе обработки. Были исследованы скорости резания в диапазоне от 100 до 250 м/мин. Линейный график показывает, как изменения скорости резания влияют на скорость износа инструмента.

Каждая точка на линии представляет определенную скорость резания, а маркеры отмечают соответствующую скорость износа инструмента при каждом условии. График даёт представление о влиянии скорости резания на износ инструмента, помогая определить оптимальные диапазоны скоростей резания.

На рис. 5 показана корреляция между скоростью износа инструмента и скоростью подачи во время операций обработки.

Были исследованы скорости подачи в диапазоне от 0,1 до 0,4 мм/об. Линейная диаграмма визуально отображает взаимосвязь между скоростью подачи и скоростью износа инструмента, при этом каждая точка на линии указывает на определенное состояние скорости подачи. График показывает, как изменения скорости подачи влияют на износ инструмента, помогая оптимизировать параметры обработки для повышения производительности инструмента.

На рис. 6 показано влияние глубины резания на скорость износа инструмента.

При анализе учитывались значения глубины резания от 1 до 4 мм. Линейная диаграмма дает четкое представление о взаимосвязи между глубиной резания и скоростью износа инструмента, при этом каждая точка соответствует определенной глубине резания.

Маркеры подчеркивают скорость износа инструмента на различной глубине резания, предлагая ценную информацию о влиянии этого параметра на износ инструмента. График помогает определить оптимальную глубину резания для минимизации износа инструмента и увеличения его срока службы.

Подробная структура анализа позволяет провести всестороннее исследование износа инструмента в различных условиях обработки, предоставляя как количественные данные, так и визуальное представление для полного понимания наблюдаемых характеристик.

Мониторинг износа инструмента является важнейшим аспектом процессов обработки, влияющим на качество деталей, время простоя оборудования и производственные затраты.

В данной статье представлен всесторонний анализ явлений износа инструмента, охватывающий традиционную обработку и новые технологии.

В обзоре литературы освещается эволюция методов мониторинга износа инструмента, включающих сигналы датчиков, морфологический анализ поверхности и передовые модели искусственного интеллекта.

Эти разнообразие подходы указывают на растущее признание важности мониторинга в реальном времени и профилактического обслуживания в современном производстве.

Внедрение модели WLSTM-DMLP и непрерывного вейвлет-преобразования для прогнозирования износа инструмента подтверждает проблемы, связанные с изменениями условий резания [20]. Традиционные модели износа, такие как уравнение износа Арчарда, являются фундаментальными, но сталкиваются с ограничениями при использовании современных материалов и нетрадиционных методов обработки.

В исследовании сравниваются методологии различных исследований, такие как промышленно жизнеспособный подход WLSTM-DMLP [1] и методология искусственного износа при концевом фрезеровании.

Предлагаемый метод мониторинга износа инструмента, основанный на морфологическом анализе поверхности и интеграции методов захвата и обработки изображений, представляет собой целостный подход.

Проверка посредством микроскопического анализа, измерения технологической силы и анализа конечных элементов повышает доверие к предлагаемой методологии. Сравнение с другими исследованиями, такими как методы RGB для прогнозирования износа инструмента, дает более широкое представление об эффективности различных подходов к мониторингу.

Это исследование дает ценную информацию о явлениях износа инструментов, предлагая основу для будущих исследований и практического применения. Интеграция методов искусственного интеллекта и предлагаемого метода быстрого полуонлайн-мониторинга износа инструмента, основанного на морфологическом анализе поверхности, открывают возможности для мониторинга в реальном времени и прогнозного обслуживания.

Будущие исследования могут изучить применение этих методов в различных производственных средах и отраслях. Кроме того,

можно дополнительно изучить влияние покрытий инструментов, современных материалов и нетрадиционных траекторий движения инструмента на износостойкость, чтобы увеличить срок службы инструмента и оптимизировать производственные процессы.

Заключение. Комплексный анализ явлений износа инструментов в передовых производственных процессах, представленный в этой исследовательской статье, проливает свет на сложную динамику, которая влияет на срок службы и эффективность режущих инструментов.

Благодаря тщательному обзору литературы, интеграции передовых методов мониторинга и визуализации на основе моделирования, в исследовании рассматриваются и интегрируются различные методы мониторинга износа инструмента, начиная от анализа сигналов датчиков и заканчивая морфологическими исследованиями поверхности и передовыми моделями искусственного интеллекта. Такая инклюзивность отражает развивающуюся среду производственных технологий и потребность в универсальных подходах к мониторингу.

Предложенная модель, сочетающая вейвлет-длгосрочную память (WLSTM), глубокий многослойный перцептрон (DMLP) и непрерывное вейвлет-преобразование, демонстрирует дальновидный подход к прогнозированию износа инструмента. Эта модель, способная учитывать изменчивость эксплуатации, добавляет ценный инструмент в арсенал профилактического обслуживания.

Методологии, представленные в статье, являются не просто теоретическими, но проходят строгую проверку посредством микроскопического анализа, измерения технологических сил и анализа методом конечных элементов. Такая приверженность экспериментальной проверке повышает надежность и применимость предлагаемых методов. Использование методов моделирования и визуализации, проиллюстрированных посредством создания параметров износа инструмента и экспериментальных матриц, обеспечивает осязаемое понимание сложного взаимодействия между условиями резания и износом инструмента. Эти визуализации дают представление об эволюции износа инструмента с течением времени и влиянии параметров обработки.

Библиографический список:

1. Gudelek M.U., Serin G., Ozbayoglu A.M., Unver H.O. An industrially viable wavelet long-short term memory-deep multilayer perceptron-based approach to tool condition monitoring considering operational variability. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 2023. – Vol. 237. Issue. 6, pp. 2532-2546.
2. Potthoff N., Agarwal A., Wöste F., Wiederkehr P., Mears L. Evaluation of Contrived Wear Methodology in End Milling of Inconel 718. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2023. – Vol. 145. Issue. 10, pp. 1-8.
3. Munaro R., Attanasio A., Del Prete A. Tool Wear Monitoring with Artificial Intelligence Methods: A Review. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 2022. – Vol. 7. Issue. 4, pp. 129.
4. Li C., Xu J., Chen M. Quantitative evaluation method of tool wear based on morphological characteristics of machined surfaces. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2023. – Vol. 237. Issue. 2, pp. 81-90.
5. Ganesh V.D., Bommi R.M. Prediction of Tool Wear by Using RGB Techniques in Comparison with Experimental Analysis. In *2022 International Conference on Data Science, Agents & Artificial Intelligence (ICDSAAI)*, 2022. – Vol. 1. Issue. 3, pp. 1-6.
6. Jia R., Yue C., Liu Q., Xia W., Qin Y., Zhao M. Tool wear condition monitoring method based on relevance vector machine. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2023. – Vol. 128. Issue. 3, pp. 11-12.
7. David L.G., Patra R.K., Falkowski-Gilski P., Divakarachari P.B., Antony Marcilin L.J. Tool wear monitoring using improved dragonfly optimization algorithm and deep belief network. *Applied Sciences*, 2023. – Vol. 12. Issue. 16, pp. 8130.
8. Zhang Y., Qi X., Wang T., He Y. Tool Wear Condition Monitoring Method Based on Deep Learning with Force Signals. *Sensors*, 2023. – Vol. 23. Issue. 10, pp. 4595.
9. Zou Z., Gao X., Lei S., Zhang H., Min R., Yang Y. Development of tool wear condition on-line monitoring method for impeller milling based on new data processing approach and DAE-BP-ANN-integrated modeling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2022. – Vol. 15. Issue. 8, pp. 115-119.
10. Huang H., Yao J., Zhi X., Pang Q., Xue W. A hybrid tool wear prediction model based on JDA. *Research Square*, 2022. pp. 129-143.
11. Jia R., Yue C., Liu Q., Xia W., Qin Y., Zhao M. Tool wear condition monitoring method based on relevance vector machine. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2022. – Vol. 128. Issue. 12, pp. 4721-4734.
12. Srinivasan V., Eswaran C., Sriaram A.N. Artificial neural network based epileptic detection using time-domain and frequency-domain features. *Journal of Medical Systems*, 2019. – Vol. 29. Issue. 5, pp. 647-660.
13. Ji W., Shi J., Liu X., Wang L., Liang S.Y. A novel approach of tool wear evaluation. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2022. – Vol. 139. Issue. 9, pp. 413-418.

14. Ehmann K.F., Kapoor S.G., DeVor R.E., Lazoglu I. Machining process modeling: a review. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 2022. – Vol. 119. Issue. 4, pp. 655-663.
15. Lim J.S. *Two-dimensional signal and image processing*. Englewood Cliffs., 1990. pp. 338-415.
16. Ulsoy A.G., Koren Y. Control of machining processes. *Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing*, 2023. pp. 1-32.
17. Luo X., Cheng K., Holt R., Liu X. Modeling flank wear of carbide tool insert in metal cutting. *Wear*, 2005. – Vol. 259. Issue. 12, pp. 1235-1240.
18. Devillez A., Lesko S., Mozer W. Cutting tool crater wear measurement with white light interferometry. *Wear*, 2004. – Vol. 5. Issue. 8, pp. 56-65.
19. Morrell R. Edge chipping of hard materials. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2001. – Vol. 19. Issue. 6, pp. 293-301.
20. Diniz A.E., Micaroni R. Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 2002. – Vol. 42. Issue. 8, pp. 899-904.
21. Egamberdiev I.P. Spectral analysis of the oscillatory process of support assemblies on drilling machines. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2018. – Vol. 5. Issue. 5, pp. 5958-5962.
22. Egamberdiev I.P., Atakulov L., Muminov R.O., Ashurov Kh.Kh. Research of Vibration Processes of Bearing Units of Mining Equipment. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2020. – Vol. 9. Issue. 5, pp. 7789-7793.
23. Egamberdiev I.P. Spectral analysis of the oscillatory process of support assemblies on drilling machines. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2018. – Vol. 5. Issue. 5, pp. 5958-5962.
24. Egamberdiev I.P., Atakulov L., Muminov R.O., Ashurov Kh.Kh. Research of Vibration Processes of Bearing Units of Mining Equipment. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2020. – Vol. 9. Issue. 5, pp. 7789-7793.
25. Muminov R.O., Egamberdiev I.P., Ashurov Kh.Kh., Makhmudova M.F. Experimental Studies of the SBSH-250MNA-32 Mining Drilling Rig. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2021. – Vol. 8. Issue. 11, pp. 18637-18644.
26. Yaxshiyev Sh.N., Ashurov Kh.Kh., Mamadiyarov A.J. Dynamics of Spindle Assembly of Metal-Cutting Machine. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN: 2249 – 8958*, 2020. – Vol. 9. Issue. 3, pp. 3121-3125.
27. Эгамбердиев И.П., Мирзаев А.У., Зоиров Ш.Ш., Яхшиев Ш.Н. Разработка метода мониторинга технического состояния опорных узлов горного оборудования // Илм-фан в инновацион ривожланиш. – Тошкент, 2020. – № 1. – С. 114-119.

HT-250-01; HT-250 M

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
ТОКАРНЫЙ СТАНОК



NMZ
Большая жизнь в мелочах

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

DASTURIY TA'MINOTNI ISHLAB CHIQUISHDA MOSLASHUVCHAN YONDASHUVLAR



Bozorov B.N.,
«NKMK» AJ axborot kommunikatsion
texnologiyalar boshqarmasi
boshlig'i o'rinbosari



Shodiyev N.O.,
«NKMK» AJ Axborot-kommunikatsiya texnologiyalari
boshqarmasi Navoiy axborot-kommunikatsiya texnologiyalari
markazi servis xizmat ko'rsatish bo'limi boshlig'i

Maqolada dasturiy ta'minotni ishlab chiqish sohasidagi loyihalarni boshqarish usullari muhokama qilinadi. Moslashuvchan va kaskad metodologiyalarining xususiyatlari, ularning ijobiy tomonlari va kamchiliklari aniqlanadi. Axborot tizimlari va texnologiyalari loyihalarni ishlab chiqishni tashkil etishning o'rganilayotgan muqobil usullarida sezilarli farqlar aniqlanadi va mualliflar tomonidan taklif qilingan mezonlarga qarab ulardan foydalanish imkoniyatlari ham ko'rib chiqiladi. Tashkiliy madaniyatni oshirish, moslashuvchan boshqaruv tamoyillarini amalga oshirish va xo'jalik yurituvchi subyektlarni rivojlantirish uchun moslashuvchan rejalashtirish tizimlarini joriy etish zarurligi asoslab berilgan. Loyihalarni boshqarishning zamonaviy metodologiyalarini amalga oshirish muhiti sifatidagi loyihalarning xususiyatlari aniqlanadi.

Tayanch iboralar: Agile (moslashuvchan), loyihalarni boshqarish, moslashuvchan metodologiyalar, adaptiv boshqaruv, dasturiy ta'minot, sprint, scrum.

В статье рассмотрены методы управления проектами в области разработки программного обеспечения. Определены особенности гибкой и каскадной методологий, их положительные стороны и недостатки. Выявлены существенные различия исследуемых альтернативных способов организации разработки ИТ-проектов, а также рассмотрены возможности их использования в зависимости от предложенных авторами критериев. Обоснована необходимость совершенствования организационной культуры, реализации принципов адаптивного управления и внедрения систем гибкого планирования развития экономических субъектов. Определены характеристики проектов как среды внедрения современных методологий проектного управления.

Ключевые слова: Agile (гибкий), управление проектами, гибкие методологии, адаптивное управление, программное обеспечение, спринт, Scrum.

Moslashuvchan dasturiy ta'minotni ishlab chiqish metodologiyalari boshqa usullar to'plami emas, balki ilovalarni ishlab chiqish madaniyatidir.

Metodologiya amal qilinishi kerak bo'lgan modellar, usullar va qoidalar to'plamini anglatadi, madaniyat esa loyiha jamoasi yoki loyiha dasturining xatti-harakatlari bo'yicha umumiy nuqtai nazarga ega bo'lgan ijrochilar va loyiha menejrlari jamoasi tomonidan qabul qilingan singdirilgan tushunchalar to'plamini belgilaydi. Metodologiya yordamida odamlar o'zini qanday tutishni o'rganadi, madaniyat esa insonning o'zini qanday tutish kerakligini belgilaydi.

Olib borilgan tadqiqotlar tahlili. Iterativ dasturiy ta'minotni ishlab chiqish metodologiyalarining evolyutsion rivojlanishi natijasida adaptiv metodologiyalar ishlab chiqildi. 2001 yilda 17 ta dasturiy ta'minot ishlab chiquvchilari (Kent Beck, Mayk Beadle, Airey van Bennekum, Alistair Cockburn va boshqalar) yangi ishlab chiqish metodologiyalarini muhokama qilish uchun Yuta shtatidagi Snowbird shaharchasida yig'ilishdi. Natijada "Moslashuvchan rivojlanish metodologiyalari manifesti" (Agile Manifesto) hujjati ishlab chiqildi va qabul qilindi [1]:

- odamlar va o'zaro ta'sir jarayonlar va vositalardan muhimroqdir;
- ishlaydigan mahsulot keng qamrovli hujjatlardan muhimroqdir;
- buyurtmachi bilan hamkorlik shartnoma shartlarini kelishishdan muhimroqdir;
- o'zgartirishga tayyorlik, dastlabki rejaga rioya qilishdan ko'ra muhimroqdir.

Eng mashhur adaptiv dasturiy ta'minotni ishlab chiqish metodologiyasi Scrum bo'lib, biz ushbu innovatsion yondashuvning

afzalliklarini namoyish qilish uchun asos sifatida foydalanamiz. "Mahsulotni ishlab chiqishda sharshara modeli yondashuvi... maksimal tezlik va chaqqonlik maqsadlariga zid kelishi mumkin. Buning o'miga, moslashuvchan modelning yaxlit yondashuvi – jamoa bir birlik sifatida masofani bosib o'tishga harakat qiladi, oldinga va orqaga harakat qiladi – bugungi raqobat talablariga yaxshiroq xizmat qilishi mumkin" [2].

Scrum – bu mijozning biznesi nuqtai nazaridan eng muhim qadriyatlarini eng qisqa vaqt ichida etkazib berishga qaratilgan moslashuvchan metodologiya jarayonlaridan biridir.

Dasturiy ta'minotni ishlab chiqish jarayoni sprintlar deb ataladigan teng davomiylikdagi vaqt bilan cheklangan iteratsiyalar ko'rinishida ifodalanadi. Odatda, har bir sprintning davomiyligi loyihaning boshida belgilanadi va loyiha maqsadlarining o'ziga xos xususiyatlariga qarab 1 dan 4 haftagacha o'zgarib turadi. Scrum sizga haqiqiy ishlaydigan dasturiy ta'minotni tez va muntazam tekshirish imkonini beradi. Har bir sprint oxirida jamoa mijozga sprint boshlanishidan oldin kelishilgan funksiyalarga ega bo'lgan dasturiy ta'minotning joriy versiyasini namoyish etadi. Mijoz ustuvorliklarni belgilaydi.

Jamoalar o'z-o'zini tashkil qiladi va birinchi navbatda eng yuqori ustuvorlikka ega bo'lgan va shuning uchun mijozning biznesi nuqtai nazaridan muhim bo'lgan funktsionallikni amalga oshirishning eng yaxshi usulini aniqlaydi.

Bir haftadan bir oygacha bo'lgan muntazamlik bilan har bir kishi haqiqiy ishlaydigan dasturiy mahsulotni ko'rishi va uni avvalgidek chiqarishga qaror qilishi yoki keyingi sprintda uni yaxshilashni davom ettirishi va qo'shimcha funktsiyalar bilan kengaytirishi mumkin.

AVTOMATLASHTIRISH VA ELEKTROENERGETIKA

Dasturiy ta'minot loyihasi menejerlari orasida dasturiy ta'minot loyihasini ishlab chiqishning o'ziga xos xususiyatlarini aks ettiruvchi yangi atamalar paydo bo'ldi.

Mahsulot egasi – bu talablarni ustuvorlashtirish va ko'pincha ularni yaratish uchun mas'ul shaxs;

Scrum master – jarayonlar, ishni muvofiqlashtirish va jamoada ijtimoiy muhitni saqlash uchun qo'shimcha javobgar bo'lgan jamoa a'zosi;

Mahsulot egasining talablarini amalga oshiradigan jamoa – 7 ± 2 kishi;

Mahsulot qoldig'i – harakatlarni baholash bilan talablarning ustuvor ro'yxati – odatda u biznesning o'ziga xos qiymatini keltiradigan biznes talablaridan iborat bo'lib, ularni orqada qoldirish elementlari deb ataladi;

Sprint Backlog – eng yuqori ahamiyatga ega va umumiy ballga ega bo'lgan mahsulot orqasida;

Scrum uchrashuvi – loyiha jamoasi a'zolarining uchrashuvi (mahsulot egasining taklifi bilan) jamoa faoliyatini sinxronlashtirish va muammolarni aniqlash. Har bir jamoa a'zosi uchta savolga javob beradi: "Oldingi Scrum uchrashuvidan keyin nima qilindi?" Qanday muammolar bor? Keyingi Scrum uchrashuvi nima qiladi?";

Sprintni rejalashtirish – jamoa sprint davomida amalga oshirishi mumkin bo'lgan mahsulotlar to'plamidan talablarni tanlaydi va uni mahsulot egasi bilan muvofiqlashtiradi;

Ilovaning yuqori darajadagi arxitekturasini hisobga olgan holda Sprint Backlog yaratiladi;

Sprint tekshiruvi – mahsulot egasiga (va manfaatdor tomonlarga) sprint davomida tugallangan mahsulotning ish funksionalligini ko'rsatish – sprint tekshiruvini o'tkazishning asosiy vazifasi fikr-mulohazalarni qabul qilishdir;

Retrospektiv – nima ishlaydi va nima ishlamasligini davriy ko'rib chiqish;

Retrospektiv an'anaviy tarzda sprint tekshiruvidan so'ng o'tkaziladi;

Scrum master – sprint natijalarini muhokama qilish uchun butun jamoani to'playdi;

Qo'shimcha fikr-mulohazalarni olish uchun mahsulot egasini retrospektivga taklif qilish tavsiya etiladi.

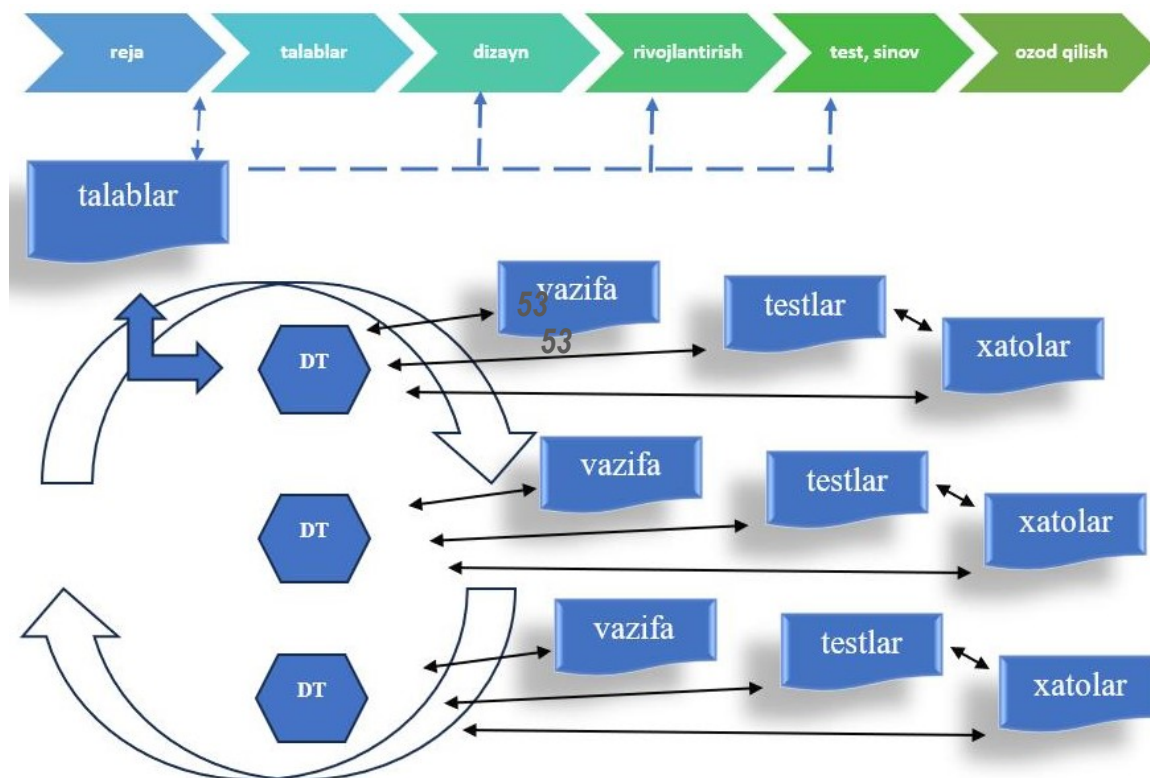
Tadqiqot materiallari va natijalari. Moslashuvchan dasturiy ta'minotni ishlab chiqish metodologiyasining o'ziga xos xususiyati dasturning muayyan muammolarini hal qilish yoki menejerlar yoki ishlab chiqish guruhlar ambitsiyalarini qondirishga emas, balki mijozlar ehtiyojlarini qondirishga qaratilgan.

Mijoz o'z bozorida doimiy raqobatda. Zamonaviy bozorning og'ir, raqobatbardosh sharoitlarida omon qolish va rivojlanish uchun u o'z biznesining mavqeini mustahkamlash va raqobatchilar tomonidan hali band bo'lmagan tegishli sohalarda kengayish uchun har qanday potentsial imkoniyatlarga moslashuvchan va tezkor munosabatda bo'lishi kerak. Bu to'g'ridan-to'g'ri ichki jarayonlarning doimiy moslashuvini va natijada yaratilayotgan dasturiy ta'minotga bo'lgan talablarning doimiy o'zgarishini talab qiladi. Ushbu o'zgaruvchan jarayonlarni qo'llab-quvvatlashga e'tiborni qaratib, biz mijozlar va dasturiy ta'minot ishlab chiqaruvchilari o'rtasidagi abadiy qarama-qarshilikdagi talablarni boshqarish uchun doimiy xarajatlar emas, balki mijoz uchun o'z biznesiga sarmoyaga aylanamiz [4].

Rivojlanishning takroriy metodologiyalari paydo bo'lishidan oldin, rivojlanish jarayoni talablarni tahlil qilish, loyihalash, amalga oshirish, sinovdan o'tkazish, integratsiya va qo'llab-quvvatlash bosqichlaridan ketma-ket o'tuvchi oqim sifatida ko'rilgan "Sharshara modeli" ishlatilgan (1-rasm).

Har bir bosqichni qat'iy ketma-ketlikda bajarish ushbu modelning asosiy kamchiligi bo'lib, undan boshqalar ham ergashadi, masalan: rejaga o'zgartirishlar kiritishning murakkabligi va mehnat talabchanligi; vaqtni behuda sarflash (talablarni tahlil qilish bosqichi tugamaguncha dizayn bosqichini boshlash mumkin emas); test keyingi bosqichlarda amalga oshiriladi, garchi uni imkon qadar erta qilish samaraliroq bo'lsa.

"Sharshara modeli" metodologiyasi moslashuvchan emasligi va loyihani rasmiy boshqarishni vaqt, xarajat va sifatga zarar yetkazadigan maqsad deb e'lon qilgani uchun tanqid qilinadi (1-jadval).



1-rasm. Sharshara va moslashuvchan dasturiy ta'minotni ishlab chiqish modeli

Sharshara modeliga nisbatan moslashuvchan modelning qiymatlari

Moslashuvchan model	Sharshara modeli
odamlar va ularning o'zaro munosabatlari	jarayonlar va vositalar
tayyor mahsulot	hujjatlar
xaridor bilan hamkorlik	shartnoma bo'yicha qat'iy cheklolar
o'zgarishga reaksiya	rejaga rioya qilish

Iterativ metodologiyalar loyihalarni boshqarish falsafasini o'zgartirmoqda. Mishel Sliger o'zining sharshara va adaptiv modellarni solishtirgan maqolasida [3] ta'kidlaydiki, sharshara modeli falsafasida rejaning o'zi "plan driven" (rejaga asoslangan), iterativ usullarda esa "plan driven" maksimaldir, qat'iy byudjet va muddatlar doirasida mijozlar ehtiyojini qondirish (qiymatga asoslangan).

Yondashuvlardagi bu uslubiy farq "vaqt-pul – ish hajmi" uchburchagi yordamida quyidagi diagrammada ko'rsatilgan (2-rasm).

Moslashuvchan texnologiyalarning afzalliklarini quyidagicha ifodalash mumkin:

- loyihaning dastlabki bosqichlarida jiddiy xavflarning ta'sirini yumshatish qobiliyati, shu bilan birga bu hali ham minimal xarajatlar bilan amalga oshirilishi mumkin;

- kelajakdagi oxirgi foydalanuvchilarga ularning ehtiyojlariga haqiqatan ham javob beradigan tizimni yaratish uchun mazmunli fikr-mulohazalarni taqdim etish qobiliyati;

- sa'y-harakatlarni loyihaning eng muhim va muhim sohalariga yo'naltirish; yakuniy mahsulotni doimiy takroriy sinovdan o'tkazish, butun loyihaning muvaffaqiyatini umuman baholash imkonini beradi;

- talablar, modellar va dastur kod o'rnatidagi nomuvofiqlikni erta aniqlash; loyiha ishtirokchilarining bir xildagi ish yuki;

- to'plangan tajribadan samarali foydalanish;
- loyihaning joriy holatini real baholash va buning natijasida mijozlar va bevosita ishtirokchilarning uning muvaffaqiyatli yakunlanishiga ishonchini oshirish;

- fan sohasi va texnik echimlar haqidagi bilimlar jamoa a'zolari o'rtasida teng taqsimlanadi [6].

Har qanday avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini, shu jumladan uning dasturiy komponentlarini ishlab chiqish, ishlab chiqish jarayonlarini tashkil etish bo'yicha me'yoriy-texnik hujjatlar tomonidan belgilangan bir qator bosqichlarga muvofiq amalga oshiriladi. Davlat standartiga muvofiq, ushbu bosqichlar 121 tani o'z ichiga oladi:

- avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlariga talablarni shakllantirish;
- avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari konsepsiyasini ishlab chiqish;

- avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimini yaratish uchun texnik shartlarni ishlab chiqish va tasdiqlash;

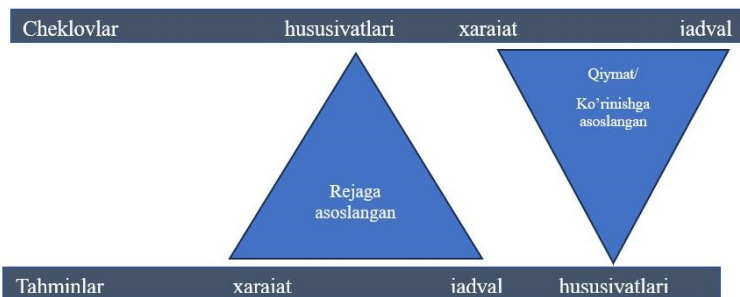
- dastlabki loyihani ishlab chiqish;
- texnik loyihani ishlab chiqish;
- ishchi loyiha hujjatlarini ishlab chiqish;
- tizimni ishga tushirish;
- ACS qo'llab-quvvatlash.

Ushbu bosqichlarning mazmuni va ularning ketma-ketligi rivojlanish texnologiyasini belgilaydi (3-rasm).

Dasturiy ta'minotni ishlab chiqishni tashkil etishning mavjud texnologiyalarini tahlil qilish.

Dasturiy ta'minotni ishlab chiqishda muayyan yondashuvdan foydalanishning maqsadga muvofiqligi ushbu jarayonning shartlari bilan belgilanadi. Bu shartlar, o'z navbatida, ishlab chiqilayotgan dasturiy ta'minot turi, ishlab chiqish jarayonini moliyalashtirish tartibi va ishlanmani boshqarish usuli bilan belgilanadi.

Waterfall Agile



2-rasm. Sharshara va moslashuvchan modellar uchun "vaqt-pul – ish hajmi" uchburchagi

Ishlab chiqilayotgan dasturiy ta'minot turiga e'tibor qaratish, birinchi navbatda, ishlab chiqish tartibini va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimining boshqa tarkibiy qismlariga kiritilgan o'zgarishlarning ta'sirini hisobga olish kerak. Masalan, ochiq kodli dasturiy ta'minot, ko'p hollarda, loyihaning yakuniy bosqichida, xavfsizlik va xavfsizlik dasturlari allaqachon tayyor bo'lgan holda ishlab chiqiladi va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimining boshqa qismlariga deyarli ta'sir qilmaydi.

Ochiq kodli dasturiy ta'minotdagi har qanday o'zgarishlar, aksincha, barcha boshqa komponentlar va boshqalar uchun muhimdir. Ushbu guruhdan yana bir ko'rsatkich bu prototipning mavjudligi yoki yo'qligi. Ochiq kodli dasturiy ta'minot va erkin va ochiq kodli dasturiy ta'minot qoida tariqasida, shunga o'xshash maqsadlar uchun ilgari ishlab chiqilgan vositalarga o'xshash tarzda ishlab chiqilgan va ularni ishlab chiqish jarayoni prototipni ishlab chiqishning allaqachon ma'lum bo'lgan bosqichlariga muvofiq qurilishi mumkin. O'z navbatida, ochiq kodli dasturiy ta'minot, qoida tariqasida, tendensiyalarga asoslangan prototipsiz ishlab chiqilgan va bu holda "qattiq" yondashuvlardan foydalanish muammoli bo'lishi mumkin [7].

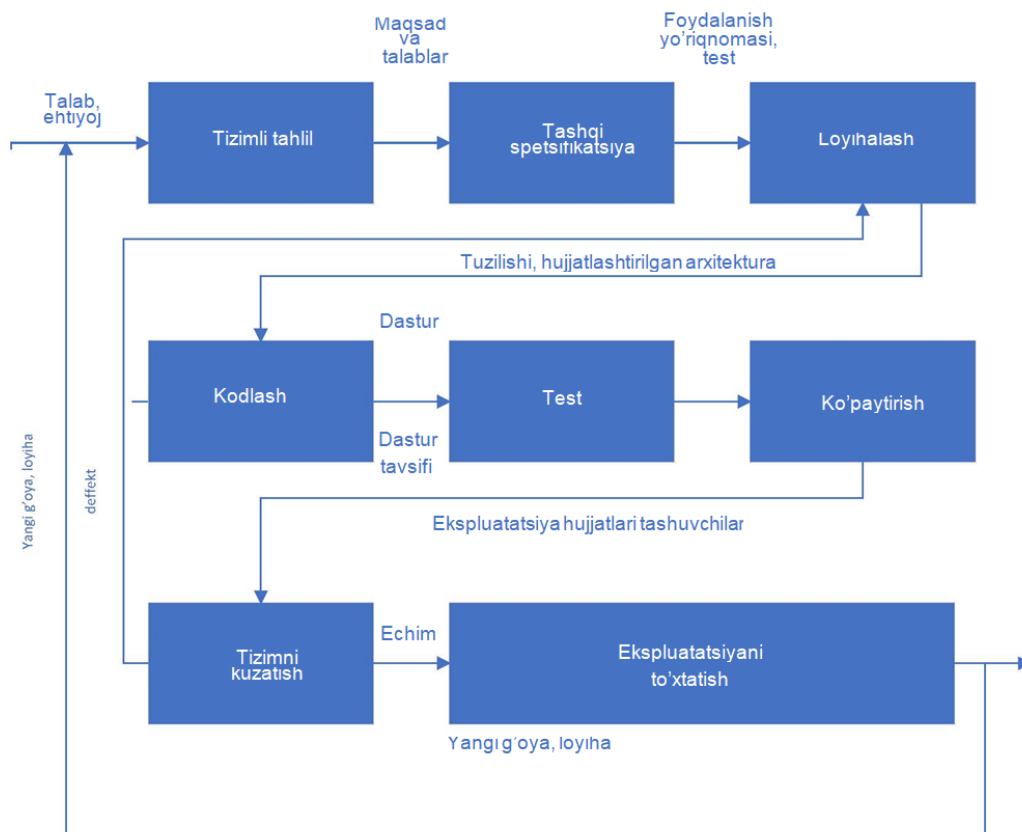
Shunday qilib, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimining dasturiy ta'minoti sinflarini ishlab chiqishga qo'yiladigan talablar to'plamini va ish vazifasini batafsil ko'rib chiqish imkoniyatlarini taqqoslash bizga "qattiq" yoki "moslashuvchan" texnologiyalardan foydalanishning maqsadga muvofiqligi to'g'risida xulosa chiqarish imkonini beradi.

Dasturiy ta'minotini ishlab chiqishni tashkil qilish uchun Scrum metodologiyasidan foydalanish imkoniyati to'g'risida.

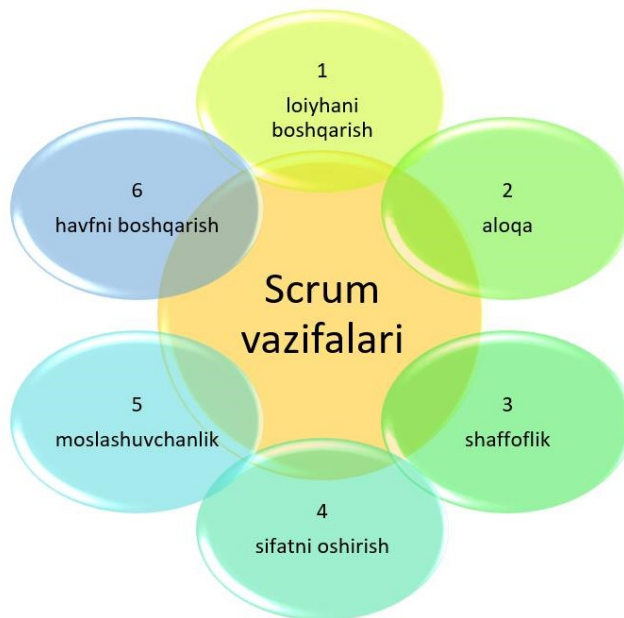
Loyihalarni boshqarishda asosan uchta yondashuv qo'llaniladi: an'anaviy (predictive/waterfall), moslashuvchan (agile) va gibrid (hybrid). An'anaviy yondashuv loyihani bosqichma-bosqich, ketma-ketlikda bajarishni nazarda tutsa, moslashuvchan yondashuv loyihaning o'zgaruvchan talablariga tezkor moslashish va doimiy takomillashtirishga e'tibor qaratadi.

Gibrid yondashuv esa an'anaviy va moslashuvchan metodlarning eng yaxshi jihatlari o'zida mujassam etadi.

Samarali loyiha boshqaruvi nafaqat belgilangan vaqt, byudjet va sifat maqsadlariga erishishga, balki manfaatdor tomonlarning talablarini qondirishga ham yordam beradi. Loyiha menejerining vazifasi resurslarni oqilona taqsimlash, jamoani boshqarish, risklarni minimallashtirish va doimiy ravishda kommunikatsiyani ta'minlashdan iborat.



3-rasm. DTning foydalanish (hayot) sikli



4-rasm. Scrum vazifasi

Amalga oshirish Scrum metodologiyasi, ishlab chiqish guruhi quyidagi majburiy fazilatlarga ega bo'lishi kerak: o'z-o'zini tashkil qilish; ko'p funksiyali bo'lish, dasturiy ta'minot tizimlarini ishlab chiqish uchun barcha zarur ko'nikmalarga ega bo'lish.

Loyihani ishlab chiqishda "uchinchi tomon" ishtirokchilari guruhlari (Yordamchi rollar) qo'shimcha ravishda jalb qilinishi mumkin:

mahsulotning oxirgi foydalanuvchilari (foydalanuvchilar), mutaxassislar (Konsultativ ekspertlar) va boshqa bir qator mutaxassislar.

Loyihani amalga oshirishning dastlabki bosqichida uning umumiy tuzilishi va muddatlari aniqlanadi, buyurtma qilingan ishlar to'plami shaklida tasvirlangan yakuniy mahsulotning funktsionalligiga qo'yiladigan talablar ro'yxatini o'z ichiga olgan ishlab chiqish jurnali (Loyihaning orqada qolishi) tuziladi. Ahamiyatiga ko'ra jurnal Scrum jarayonining barcha ishtirokchilari tomonidan kirish huquqlariga muvofiq tahrirlanishi mumkin.

Loyihaning borishini kuzatish uchun ixtisoslashtirilgan vosita qo'llaniladi: "vazifalarni yoqish jadvali" (Burndown chart).

Metodologiyaning bir qismi sifatida har bir bosqichni amalga oshirish jarayonida joriy Sprint bo'yicha ish holatini aniqlash, muammolarni aniqlash va bosqich maqsadlariga erishish strategiyasini aniqlashtirish vazifasi bilan kundalik uchrashuvlar (Daily Scrum) o'tkaziladi.

Har bir bosqich oxirida uning natijalarini sarhisob qilish (Sprint Review) va retrospektiv yig'ilish o'tkaziladi, uning vazifasi oldingi bosqichdagi ishlarning samaradorligini baholash, ishda kutilayotgan samaradorlikni bashorat qilishdir. Keyingi sprint mavjud muammolarni aniqlash, berilgan vaqt oralig'ida barcha kerakli ishlarni bajarish ehtimolini baholash va boshqa savollar.

Scrum metodologiyasining ijobiy tomonlari shundaki, u har bir bosqich oxirida potensial ishlaydigan mahsulotni olish imkonini beradi. Scrum mijozlar talablariga qaratilgan va loyiha rivojlanishi davomida ularni moslashtirishga moslashadi. Har bir sprintning belgilangan qisqa muddati rivojlanish jarayonini bashorat qilish va moslashuvchanlikni beradi. Rivojlanish guruhining ishi rahbariyat tomonidan minimal muvofiqashtirish bilan o'zini o'zi tashkil etish asosida amalga oshiriladi. Scrum-da amalga oshirilgan ochiqlik, tekshirish va moslashish tamoyillari moslashuvchan texnologiyalardan foydalanishni loyiha mijozlari uchun

birinchi navbatda moliyaviy jozibador qiladi [5]. Shunga asoslanib, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari uchun ochiq kodli dasturiy ta'minotni ishlab chiqish bo'yicha ko'pgina loyihalarni o'z ichiga olgan noyob loyihalar ustida ishlashda "moslashuvchan" yondashuvlar ishlab chiquvchilar uchun eng qulay bo'lib chiqadi. Scrum metodologiyasining kamchiliklari ishlab chiqish guruhi uchun yuqori sifat talablarini o'z ichiga oladi, buni har bir jamoa ham bajara olmaydi. Albatta, Scrum – bu faqat metodologiya, garchi u o'zining har bir tarkibiy qismi "Kaizen" orqali ish jarayonini doimiy takomillashtirishning taniqli falsafasini amalga oshiradi, bu o'z samaradorligini uzoq vaqtdan beri isbotlagan. Uni amaliy qo'llash uchun texnologik vositaga ega bo'lish kerak, bu alohida holatda loyihani boshqarish usullarini amalga oshirish dasturi. Scrum metodologiyasining boshqarish bosqichlari 4-rasmda keltirilgan. Ushbu turdagi juda ko'p maxsus vositalar mavjud: Jira, Gemini, Redmine, Team Foundation Server (TFS) va boshqalar. Ushbu dasturlarning funksiyalari asosan o'xshash, ularning ba'zilari bir-biriga mos keladi [8].

Xulosa. Scrum – bu biznes nuqtai nazaridan eng muhim qadriyatlarini imkon qadar qisqa vaqt ichida etkazib berishga e'tibor qaratish imkonini beruvchi moslashuvchan metodologiya jarayonlaridan biridir.

Scrum-ni muvaffaqiyatli amalga oshirish jamoalar va menejerlar uchun juda ko'p afzalliklarga ega.

Yaxshi ishlaydigan Scrum birinchi navbatda eng muhim funksiyalarni taqdim etadi va mijoz tomonidan hech qachon foydalanilmaydigan xususiyatlarni yaratishdan qochadi.

Sanoat ma'lumotlari shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqilgan dasturiy ta'minot xususiyatlarining qariyb yarmi hech qachon ishlatilmaydi, ishlab chiqish 2 baravar tezroq bajarilishi mumkin, bu vaqtni behuda sarflash yoki keraksiz ishlarni oldini oladi [1].

Va nihoyat, barcha Scrum amaliyotlarini qo'llash shart emas. Buni bosqichma-bosqich yoki hatto loyiha uchun eng mos bo'lgan bitta amaliyot yordamida amalga oshirish mumkin.

Bibliografik ro'yhat:

1. Гагарина С.Н. Мотивация персонала, организация в условиях цифровой трансформации. – Калуга – Россия, 2021. – С. 172-177.
2. Abdurakhmonova, N. Morphological Analyzer for the Uzbek Language. In 2022 7th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) IEEE. – Tashkent, Uzbekistan, 2022, pp. 61-66.
3. Лукинова О.В. Методологические аспекты управления жизненным циклом информационной системы на основе инструментов функциональной стандартизации // Программные продукты и системы. – Москва: РАН, 2016. – С. 27-31 с. <https://www.ipu.ru/node/39560>.
4. Кон М. Agile: Оценка и планирование проектов. Майк Кон; Пер. с англ. – М.: Альпина Паблицер, 2022. – 418 с.
5. Джефф Сазерленд. Scrum. Революционный метод управления проектами-Scrum. The art of doing twice the work in half the time. – Манн: Иванов и Фербер, 2016. – 288 с.
6. Чаусов Н.Ю. Применение методологии Scrum в IT-менеджменте. – Калуга – Россия, 2021. – С. 69-74.
7. Тиханьчев О.В. Теория и практика автоматизации поддержки принятия решений. – Москва – Россия: Эдитус, 2014. – 64 с.
8. Тиханьчев О.В., Макарецов Л.В., Гахов В.Р. Рациональная организация процесса разработки прикладного программного обеспечения как предпосылка успешной автоматизации поддержки принятия решений // Программные продукты и системы. – № 4. – Москва – Россия, 2017. – С. 706-710.
9. Жабраилов Ш.В. Сравнительный анализ методологии разработки ПО AGILE и Waterfall. – № 52. – Москва – Россия: Молодой ученый, 2020. – 342 с. <https://moluch.ru/archive/342>.
10. Viki.com – Совместное решение вопросов. Тенденции развития программного обеспечения.
11. Красилов И.В., Тригуб С.Г., Гордиенко Ю.Г. Искусство программирования. – Вильямс, 2019. – С. 202-288.
12. Toshkent axborot texnologiyalari universiteti. Toshkent, 2022. Manba: <https://tuit.uz/umumiy-malumat.html>.
13. Software.uz (2024). Dasturchilar va dasturiy mahsulotlar milliy katalogi. Manba: <http://software.uz/uz>.

НФ-630; НФ-1200М-03

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ
ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ СТАНОК



NMZ
Всегда рядом с металлом

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов, 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

KONCHILIK KORXONALARINING ELEKTR ENERGIYA ISTE'MOLIGA TA'SIR ETUVCHI OMILLARNING TAHLILI



Qarshibayev A.I.,
NDK va TU Energo-mexanika
fakulteti dekani, «Elektr energetikasi»
kafedrası professori, t.f.d.



Jumayev Z.I.,
ND va KTU «Energetika» kafedrası
katta o'qituvchi

Ushbu maqolada konchilik korxonalarining elektr energiya iste'moliga ta'sir etuvchi ko'plab omillarga bog'liqligi tahlil qilingan. Elektr energiya iste'moli jarayoniga omillarning ta'siri murakkab va xilma-xil xususiyatga ega ekanligi va ularni deterministik usullar doirasida tavsiflash, har doim ham omillar ta'sirini belgilaydigan shartlarning noaniqligi tufayli mumkin emas. Bu omillarga tog'-kon geologik, tog'-kon texnologik, iqlim va meteorologik, elektr energiyasi, tashkiliy, ekspluatatsion va boshqalar o'rganilgan.

Tayanch iboralar: energiya samaradorligi, elektr energiyasi sarfi, elektr energiyasi o'rtacha oylik iste'moli, elektr yuklamasi, energetik resurslar, qayta ishlangan texnogen chiqindilar, tashqi havo harorati, tog'-kon geologik va tog'-kon texnologik omillar.

В данной статье анализируется зависимость горнодобывающих предприятий от многих факторов, влияющих на потребление электроэнергии. Влияние факторов на процесс потребления электроэнергии сложно и многообразно, и описать их в рамках детерминированных методов невозможно из-за неопределенности условий, определяющих влияние факторов. К таким факторам относятся горно-геологические, горно-технологические, климатические и метеорологические, электроэнергетические, организационные, эксплуатационные и другие.

Ключевые слова: энергоэффективность, потребление электроэнергии, среднемесячное потребление электроэнергии, электрическая нагрузка, энергоресурсы, переработка техногенных отходов, температура наружного воздуха, горногеологические и горнотехнические факторы.

Konchilik korxonalarining elektr energiya iste'moli ko'plab omillarga bog'liq. Elektr energiya iste'moli jarayoniga omillarning ta'siri murakkab va xilma-xil xususiyatga ega, uni deterministik usullar doirasida tavsiflash, har doim ham omillar ta'sirini belgilaydigan shartlarning noaniqligi tufayli mumkin emas. Bu omillarga tog'-kon geologik, tog'-kon texnologik, iqlim-meteorologik, elektr-energetik, tashkiliy, ekspluatatsion va boshqalar kiradi. Tog'-kon geologik va tog'-kon texnologik omillar tarkibiga, konning chuqurligi, konning ko'lami, tog' tizmalarining harorati, texnologik ko'rinishi, ochilish tartibi va qazish usuli, ishlatiladigan mashina va uskunalarning turlari, mustahkamligi, bo'lak-bo'lak ruda va boshqalar, mahsulotning elektr sig'imiga ta'sir etadi. Iqlim-meteorologik omillar elektr energiya iste'molining mavsumiyligini belgilaydi va uning o'zgarishi ichki tendensiyasini shakllanadi. Elektr-energetik omillari, masalan, elektr zanjirlarining strukturaviy parametrlari, elektr iste'molchilarning soni, quvvati, samaradorligi va boshqalar elektr yuklama rejimlarini shakllantirishni belgilaydi. Tashkiliy va ekspluatatsion omillar elektr iste'molchilardan foydalanish me'yori, elektr uskunalari, mashinalar va mexanizmlarning xususiyatlarining yomonlashishi tufayli yoqotishlar darajasini belgilaydi. Konchilik korxonalarining elektr energiya iste'molini o'rganishning uslubiy tamoyillari. Konchilik korxonalarida ishlab chiqarishning tog'-kon geologik, texnologik, energetik, ekspluatatsion va tashkiliy xususiyatlari bilan bog'liq bo'lgan ko'plab omillar ta'siri tufayli elektr energiya iste'moli tasodifiy xarakterga ega bo'ladi. Elektr energiya iste'moli jarayonining o'ziga xos xususiyatlari uning tadqiqotining asosi sifatida quyidagi uslubiy tamoyillarni qo'yish maqsadga muvofiqdir:

1. Konchilik korxonalarida elektr energiya iste'moli jarayonini sexlar, texnologik o'zgarishlar bo'yicha tuzish maqsadga muvofiq, bunda, o'z navbatida, eng ko'p energiya talab qiladigan iste'molchilarni ajratib ko'rsatish maqsadga muvofiqdir. Alohida-alohida ajratib bo'lmaydigan texnologik iste'molchilar yagona texnologik elektr iste'molchilar sifatida

qaralishi kerak. Masalan, oziqlantiruvchiga, klassifikatorga, transportyorga va boshqa texnologik elektr iste'molchilarga ega bo'lgan tegirmonlar. Elektr energiya iste'moli jarayonini tuzish 1-rasmda ko'rsatilgan.

2. Elektr energiya iste'moli jarayonida tarkibiy qismlarni ajratib ko'rsatish kerak: ishlab chiqarish hajmiga bog'liq bo'lgan shartli o'zgaruvchi va ishlab chiqarish hajmiga bog'liq bo'lmagan shartli doimiy iste'molchilar. Yani, elektr energiya iste'moli ishlab chiqarish hajmi bilan bog'liq bo'lgan texnologik elektr iste'molchilarini va elektr energiya iste'moli ishlab chiqarish hajmi bilan bog'liq bo'lmagan elektr energiya iste'molchilarini ajratish kerak.

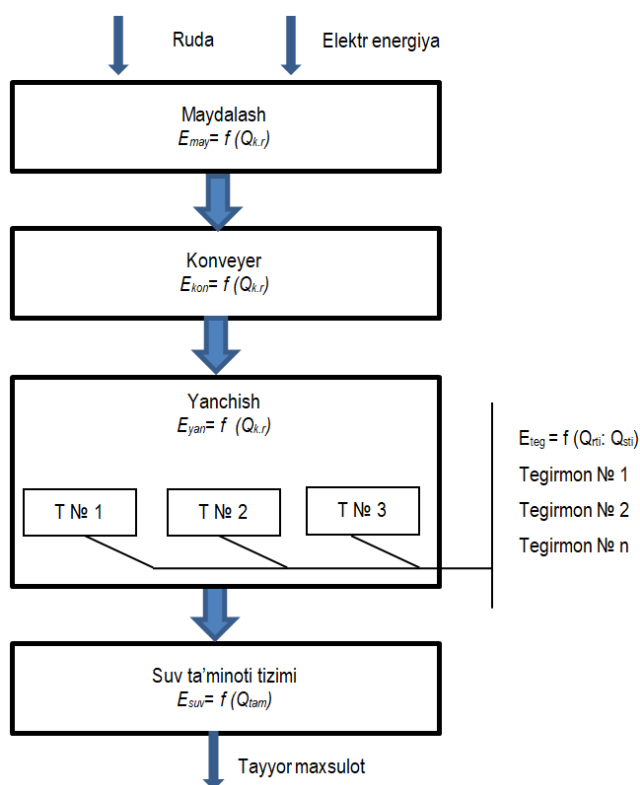
3. Konchilik korxonalarida elektr energiya iste'molini o'rganish quyidagi maqsadlarda amalga oshirilishi maqsadga muvofiqdir:

3.1. Yarim soatlik va bir soatlik me'yordagi elektr energiyani iste'mol qilish va texnologik jarayonlarni rudalarni qayta ishlash hajmi, suyuqlikni nasos yordamida bir joydan boshqa joyga o'tkaziladigan pulpa(tarkibidagi kerakli moddani ajratish uchun maydalangan, suvda yoki biror eritmada suyultirilgan ruda)ni hajmi va boshqalar) tavsiflovchi miqdorlarning eksperimental o'lchovlari.

3.2. Smena, sutkalik va oylik me'yordagi korxonalar hisobotidan elektr energiya iste'moli va ishlab chiqarish ma'lumotlari bo'yicha statistik ma'lumotlar.

3.3. Elektr energiya iste'molini o'rganish muammolarini hal qilish uchun maxsus tashkil etilgan elektr energiya iste'moli jarayoni va ishlab chiqarish jarayoni ko'rsatkichlari bo'yicha kuzatuv ma'lumotlari.

4. Elektr energiya iste'molini jarayonini ko'p o'lchovli tasodifiy jarayon sifatida taqdim etish maqsadga muvofiqdir. Elektr energiya iste'moliga ta'sir qiluvchi omillarning ko'pligi tufayli ular orasidagi aloqani topish juda qiyin. Vazifaning murakkabligini minimallashtirish uchun elektr energiya iste'moliga sezilarli ta'sir ko'rsatadigan omillarni ajratib ko'rsatish va elektr energiya iste'moliga o'zgina ta'sir qiluvchi omillar sonini kamaytirish orqali uning hajmini kamaytirish kerak.



1-rasm. Konchilik korxonalarining elektr energiya iste'moli tarkibi: E_{kor} , E_{may} , E_{konv} , E_{suv} – elektr energiya iste'moli mos ravishda: korxonada maydalash bo'limi, konveyer transport bo'limi, yanchish bo'limi, suv ta'minoti bo'limi. $Q_{k.r}$, Q_{tam} , Q_{sti} – qayta ishlangan ruda hajmi mos ravishda: korxonada gidravlik transportni qayta ishlash, tegirmon agregati. Q_{sti} – tegirmon agregatiga yetkazib beriladigan suv hajmi

5. Elektr energiya iste'moli jarayonining holati to'g'risidagi ma'lumotlarni tasodifiy jarayon sifatida qayta ishlash ehtimollik nazariyasi va matematik statistik qoidalari yordamida amalga oshirilishi kerak.

6. Olingan ma'lumotlar 2-rasmda ko'rsatilgan sxemaga muvofiq shakllantirilishi va ishlatilishi kerak.

Ushbu sxemada ikkita yo'nalishtirilgan:

1. Elektr energiya iste'molini energetik tahlili;
2. Iste'molning energiya-texnologik tahlili.

Elektr energiya iste'molining energetik tahlili quyidagilarni aniqlashga imkon beradi:

- asosiy elektr iste'molchilarining elektr yuklamalarining grafiklari, ularning xususiyatlari va ehtimollik qonunlari;
- elektr energiya sifati ko'rsatkichlarining statistik xususiyatlari;
- energetik ko'rsatkichlarining ehtimollik qonunlari va statistik xususiyatlari (aktiv, reaktiv, to'la energiya, quvvat koeffitsiyenti va boshqalar).

Elektr energiya iste'molini energiya-texnologik tahlil qilish quyidagilarni aniqlashga imkon beradi:

- asosiy qurilmalar, texnologik o'zgarishlar va bo'linmalarining energetik xususiyatlari;
- korxonalarda elektr energiya iste'molining tuzilishi, balansi;
- elektr energiya iste'molining ishlab chiqarish omillariga bog'liqligi (rudalarni qayta ishlash hajmi, shixtlar tarkibi, ruda sifati va boshqalar).

Elektr qurilmalarning elektr energiya iste'moli rejimlari va texnologik jarayonlarning energiya sig'imi bo'yicha eksperimental tadqiqotlar quyidagi tartibda amalga oshirilishi tavsiya etiladi:

1. Eksperiment uchun dastlabki hujjatlar, o'rganilayotgan elektr qurilmalarning sxemasi, o'rnatilgan qurilmalar to'g'risidagi ma'lumotlar tuziladi.

2. Tanlangan elektr qurilmalarda eksperimental qurilma yordamida elektr energiya iste'moli rejimlarining parametrlari o'lchanadi va qayd etiladi, shuningdek, tekshirilayotgan elektr iste'molchini ta'minlovchi yacheykada joylashgan elektr energiyasini hisobga olish qurilmalarining nazorat ko'rsatkichlari ham olinadi.

3. Elektr energiyasining smenali sarfini va asosan ko'p energiya iste'mol qiladigan iste'molchilarning samaradorligi qayd etiladi.

4. O'lchov natijalariga ko'ra elektr yuklamalarining grafiklari, energiya sig'imi ko'rsatkichlari, elektr balanslari tuziladi.

5. Tajriba natijalarini statistik qayta ishlash amalga oshiriladi.

6. Konchilik korxonalarining oylik va yillik elektr energiya iste'molini tahlil qilish uchun zavodning tezkor hisobotlarida joylashgan statistik ma'lumotlardan tashkil topgan vaqt ketma-ketliklari sifatida elektr energiya iste'moli rejimlarini taqdim etish talab etiladi.

7. Elektr energiya iste'moli belgilangan vaqt ketma-ketliklarining o'lchamlari mutlaq (nomlangan birliklar) va nisbiy (bazaviy yilga nisbatan birliklar) xususiyatlarini aks ettirishi kerak.

8. Elektr energiya iste'molini belgilovchi omillar to'g'risida ma'lumotni texnologik nazorat priborlarining ko'rsatkichlari, shuningdek dispetcherlik nazorati ma'lumotlari bo'yicha olish tavsiya etiladi.

Texnologik mashinalar va qurilmalarning elektr energiya iste'moli rejimlarini tasodifiy o'zgaruvchilar sifatida tavsiflash uchun ularning taqsimot qonunlarini o'rnatish talab qilinadi. Shu munosabat bilan, kelishuv mezonidan foydalanib, olingan eksperimental taqsimotlarning tegishli ehtimollik qonunlariga mansubligi haqidagi gipotezalar (farazlar) sinovdan o'tkazilishi kerak: normal, eksponent, beta, gamma, Veybull, logarifmik normal va boshqalar.

Eksperimental tadqiqotlar natijasida olingan ma'lumotlar elektr energiya iste'moli jarayonini murakkab hodisa sifatida tavsiflaydi, uning parametrlari, bog'liqligi va qonuniyatlarini aniqlash uchun taqsimot nazariyasi, omillar, korrelyatsion tahlil qoidalari asoslangan protseduralarni bajarish talab etiladi. Belgilangan uslubiy tamoyillar oltin kazib olish tarmog'idagi konchilik korxonalarida energetik resurslarini iste'molini o'rganish metodologiyasiga asoslanadi.

Ma'lumotlarni tahlil qilish uchun tegishli mavjud dasturiy paketlardan foydalanilgan.

Konchilik korxonalarining elektr energiyasi iste'molini model-lashtirish usuli. Konchilik korxonalarida elektr energiya iste'moli jarayonini modellashtirish quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi. Elektr energiya iste'moli to'g'risidagi statistik ma'lumotlar qatorini qayta ishlashda elektr energiya iste'moli korrelyatsiya koeffitsiyentining maksimal qiymatlariga ega bo'lgan texnologik omillar ajratiladi.

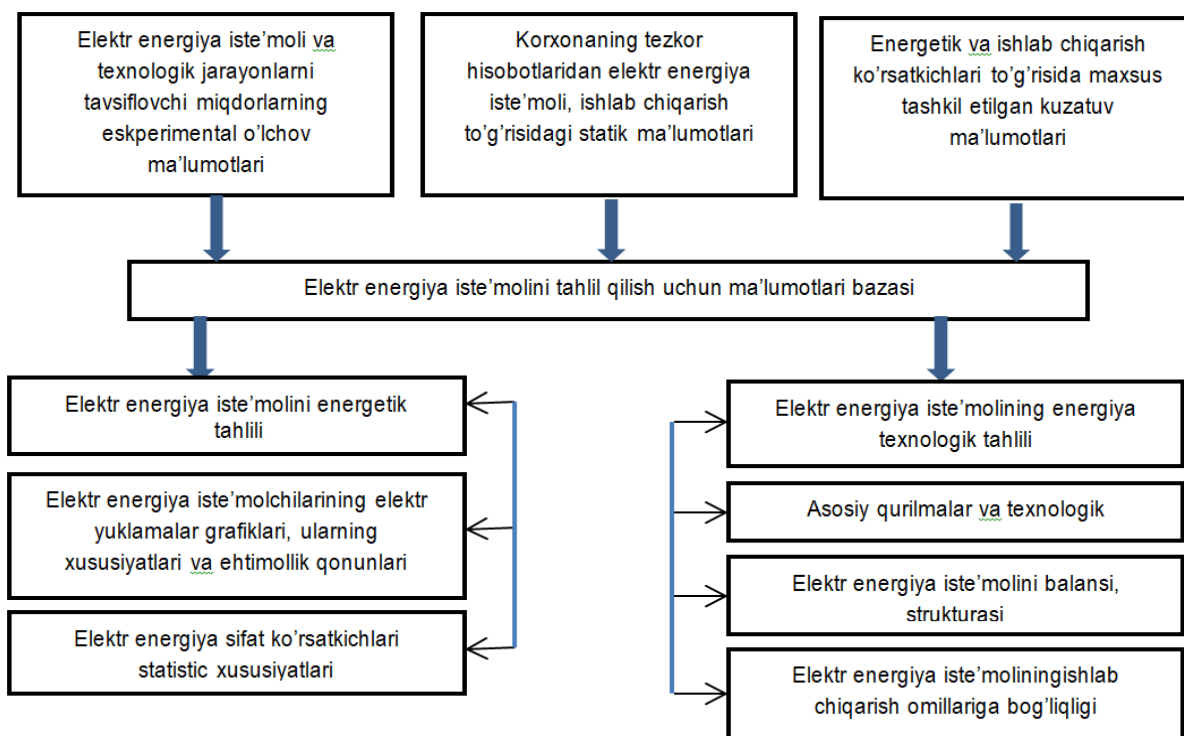
Konchilik korxonalarida o'tkazilgan elektr energiya iste'molini tahlili rudalarni qayta ishlashda elektr energiya iste'molini darajasini belgilaydigan quyidagi asosiy parametrlarni ajratib ko'rsatishga imkon berdi: ruda qattiqligi, qayta ishlangan ruda hajmi va tegirmon agregatidagi suv hajmi.

Tadqiqot vazifasi texnologik omillarga bog'liqlik to'liq va solishtirma elektr energiya iste'molini minimallashtirish sifatida shakllantirilishi mumkin:

$$W(Q, V, F, \dots) \rightarrow \min, \quad (1)$$

bu yerda W – solishtirma yoki umumiy elektr energiya iste'moli; Q – korxonada qayta ishlangan ruda hajmi; V – korxonada qayta ishlashda ishlatiladigan suv hajmi; F – rudaning fizik tarkibi (qattiq va boshqalar).

Konchilik korxonalarida rudalarni qayta ishlashda elektr energiya iste'moliga ta'sir etuvchi omillarni aniqlash va hisobga olish elektr energiya iste'molini o'rganishning muhim vazifasidir. Ushbu omillarning barchasini hisobga olish ma'lumotlarning to'liq emasligi va ularning elektr energiya iste'moliga ta'sir qilish shartlarining noaniqligi tufayli juda qiyin. Bundan tashqari, ko'p sonli omillarni hisobga olgan holda, elektr energiya iste'molini aniqlash xatoligi ortadi. Shu munosabat bilan faqat elektr energiya iste'moli miqdoriga bevosita ta'sir ko'rsatadigan va ishlab chiqarish jarayonida hisobga olinadigan omillarni ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir.



2-rasm. Elektr energiya iste'molini tahlil qilish uchun ma'lumotlar bazasini shakllantirish va ulardan foydalanish yo'nalishlari sxemasi

Elektr energiya iste'moli jarayonining kirish va chiqish o'zgaruvchilari to'g'risidagi eksperimental ma'lumotlardan foydalanib, yuqoridagi regressiv tahlil muammolarini quyidagi algoritimga muvofiq hal qilish mumkin:

1. O'rganilayotgan obyektning kirish va chiqish o'zgaruvchilari to'g'risida eksperimental ma'lumotlarni olish va dastlabki qayta ishlash (eksperiment o'tkazish).

2. Matematik model turi haqida gipotezani ilgari
3. Model parametrlarini baholash.
4. Model parametrlarining statistik ahamiyatini tekshirish.
5. Modelning mos kelishiligi tekshirish.

Regressiya tenglamasining koeffitsiyentlarini baholash eng kichik kvadratlar usuli yordamida amalga oshirilishi kerak. Amalda regressiya chizig'i ko'pincha chiziqli funktsiya sifatida aniqlanadi:

$$y = b + k \cdot x \quad (2)$$

bu yerda koeffitsiyentlar formulalar bo'yicha topiladi:

$$b = r_{xy} \frac{\sigma_y}{\sigma_x}; k = \frac{\bar{y} - b}{\bar{x}} \quad (3)$$

x va y tasodifiy o'zgaruvchilar o'rtasidagi munosabatlarning zichligi korrelyatsiya koeffitsiyenti yordamida aniqlanadi:

$$r_{xy} = \frac{\text{cov}(xy)}{\sigma_x \cdot \sigma_y}; \quad (4)$$

bu yerda $\text{cov}(x,y) = A(x \cdot y) - A(x) \cdot A(y)$ – ikkita tasodifiy miqdorning x va y kovariatsiyasi; σ_x va σ_y x va y qiymatlarining o'rtacha kvadratik og'ishlari.

Korrelyatsiya koeffitsiyenti r_{xy} tasodifiy o'zgaruvchilar x va y orasidagi chiziqli bog'lanishning zichligi pog'onasini tavsiflaydi, shu bilan bog'lanish qanchalik zich bo'lsa, yaqinroq bo'ladi $|r_{xy}|$ birlikka ($-1 \leq r_{xy} \leq 1$).

Agar $r_{xy} \geq 0$ bo'lsa, unda bitta tasodifiy o'zgaruvchining ortishi bilan boshqasi o'rtacha o'sishga intiladi. Agar $r_{xy} < 0$ bo'lsa, unda bitta tasodifiy o'zgaruvchining ortishi bilan ikkinchisi o'rtacha kamayish tendentsiyasiga ega bo'ladi. Agar $r_{xy} = 0$ bo'lsa, y holda chiziqli korrelyatsiya bog'liqlik yoq va tasodifiy o'zgaruvchilar o'zaro bog'liq bo'lmagan deb nomlanadi.

Bir nechta shunga o'xshash elektr energiya iste'mol mexanizmlarining har qaysisini ishlashini baholash mezonini aniqlash uchun Kolmogorov mezonidan foydalangan holda elektr va texnologik ko'rsatkichlarni majmuini asosiya tegishli ekanligini tahlil qilish kerak. Shu bilan birga, elektr energiya iste'molining ishlab chiqarish omillariga bog'liqligini tahlil qilish uchun eng kichik kvadratlar usulini qo'llash tavsiya etiladi, bu quyidagi ko'rinishdagi polinomlar bilan tavsiflanishi mumkin:

$$f = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_2^2, \quad (5)$$

bu yerda f – elektr energiya iste'moli funktsiyasi; x_1 – rudaning fizik tarkibi (qattiqlik, solishtirma og'irligi va boshqalar); x_2 – qayta ishlangan ruda hajmi (yoki qayta ishlangan ruda) hajmining qayta ishlashga sarflangan suv hajmiga nisbati);

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – regressiya tenglamasining koeffitsiyentlari.

Quyidagi qoidalarga asosanib, elektr energiya iste'molini rejimlarini eksperimental tadqiqotlar o'tkazish tavsiya etiladi:

1. Elektr energiya iste'moli jarayonida aniqlaydigan kuzatilgan belgilar tasodifiy o'zgaruvchilar bo'lib, bu tanlangan usuliga asoslangan eksperimentni (kuzatuvni) rejalashtirish uchun tegishli shartni nazarda tutadi. Bu holda asosiy savollar orasida tanlangan o'zini o'zi qoplashni shakllantirish va tanlanganlar a'zolari sonini (kuzatuvlar sonini) aniqlash masalalari mavjud.

Hadlar soni (tanlashlar) haqiqiy tasodifiy qayta tanlashlar olish holatida aniqlanadi.

$$n = t^2 \cdot \frac{\sigma_0^2}{S^2}, \quad (6)$$

bu yerda t – tasodifiy o'zgaruvchining qiymati, unda normal taqsimot funktsiyasi $f(x)$ tanlangan ishonch ehtimoliga teng β ;

σ_0^2 – o'z-o'zini qoplashda tasodifiy o'zgaruvchining tarqalishi;

S^2 – berilgan ishonch ehtimoli bilan tanlangan o'rtacha va umumiy o'rtacha o'rtasidagi eng katta og'ish bilan tavsiflangan cheklangan namuna olish xatosi.

Elektr energiya iste'moli rejimlarini o'rganishda o'lchovlar (kuzatuvlar) soni bo'yicha tavsiyalar mavjud. Ushbu tavsiyalarga mu-

1-jadval

Boshlang'ich ma'lumotlar jadvalini oraliqlarga ajratish misoli

Elektr energiya	Rudaning qayta ishlangan hajmi	Rudaning fizik tarkibi
W1	Q1	B1
W2	Q2	
.....	
Wn	Qn	
Wn+1	Qn+1	
Wn+2	Qn+2	B2
.....	
Wn+i	Qn+i	
.....	

vofiq, hisoblangan qiymatlarni aniqlashda aniqlik $\pm 10\%$ oralig'ida bo'lishi kerak

Yakka tartibdagi eksperimental tadqiqotlarda, o'lchovlarni statistik qayta ishlashdan dispersiya aniqlanganda, nisbiy xatoning tavsiya etilgan qiymati $\pm 15\%$ ni tashkil qiladi, bu esa hisoblangan yuklama qiymatida 3-5% ruxsat etiladi. Bunday holda, o'lchovlar soni kamida 30-60 ta bo'lishi kerak va eksperiment o'tkaziladigan smenalar soni kamida 3 ta bo'lishi kerak. Tegishli vakillik darajasini taminlash uchun eksperimental tadqiqotlarni rejalashtirishda elektr quurilmalarini tanlash elektr iste'molchilarning texnologik guruhlarini ketma-ket tanlash usuli bilan qamrab olingan holda, keyinchalik texnologik xususiyat asosida texnik namunalarini tashkil etish bilan amalga oshiriladi.

2. Energiya sarfini baholash normalashtirilgan sharoitlarda ishlab chiqilishi kerak, bunda quyidagilar nazarda tutiladi: loyihalash hujjatlariga muvofiq uskunalarni jihozlash; elektr va mexanik uskunalarining bajarilishining ishlatish sharoitlariga va ularning asosiy texnik xususiyatlariga – passport ma'lumotlariga muvofiqligi; texnik foydalanish qoidalari va boshqa ko'rsatmalar bilan tartibga solinadigan sharoitlarda elektromexanik uskunalarining ishlatishi; elektr sifati standartga muvofiqligi.

3. Eksperimental o'rnatish asosiy texnologik jarayonlarning elektr iste'molchilarining ishlatishi paytida malum vaqt oralig'ida elektr energiyasini sarfi qiymatlarini o'lchash va qayd etishni taminlashi kerak. Elektr yuklamalari rejimlarining parametrlarini aniqlashda o'rtacha oraliq sifatida 3 soniyadan 0,5 soatgacha bo'lgan intervallar qabul qilinadi.

Konchilik korxonalaridagi texnologik mashinalar va quurilmalarning elektr energiya iste'molini tasodifiy jarayon sifatida baholash uchun uning taqsimot qonunlarini o'rnatish talab qilinadi. Shu munosabat bilan Kolmogorov mezonidan foydalangan holda (0,95 ishonch ehtimoli asosan) olingan eksperimental taqsimotlarning malum taqsimot qonunlariga (normal, eksponent, beta, gamma, Veybull, logaritmik normal va boshqalar) tegishli ekanligi haqidagi farazlarni tekshirish kerak.

Eksperimental taqsimotlar normal taqsimot qonuniga eng mos keladi, yani ular umumiy ifodaga ega:

$$f(P) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(P-\bar{P})^2}{2\sigma^2}}, \quad (7)$$

bu yerda P – yuklamaning o'rtacha qiymati;

σ – o'rtacha kvadrati og'ish.

Bunday holatda (№ 4 sonli tegirmon uchun) eksperimental taqsimot eksponent qonunga yaxshiroq mos keladi:

$$f(P) = \lambda e^{-\lambda P}, \quad (8)$$

bu yerda λ – jarayon sodir bo'lish intensivligini tavsiflovchi taqsimot parametri.

Rudaning fizik tarkibi, qayta ishlangan rudaning hajmi kabi omillarga elektr energiya iste'molining bog'liqligini apriori tahlili shuni ko'rsatdiki, o'rnatilgan ishonch ehtimoli bilan kerakli bog'liqliklarni ikkinchi darajali chiziqli bo'lmagan polinomlar bilan tavsiflash mumkin.

$$f = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_1^2 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_2^2, \quad (9)$$

bu yerda f – elektr energiya iste'moli funksiyasi;

x_1 – rudaning fizik tarkibi (qattqlik, solishtirma og'irligi va boshqalar);

x_2 – qayta ishlangan ruda hajmi (yoki qayta ishlangan ruda hajmining qayta ishlashga sarflangan suv hajmiga nisbati);

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ – regressiya tenglamasining koeffitsiyentlari.

Biroq, texnologik quurilmalar tomonidan elektr energiya iste'molining bunday tenglamasini talqin qilish juda murakkab, shuning uchun ushbu jarayonga tasir qiluvchi omillardan birini ma'lum qiymatlarni o'z ichiga oladigan oraliqlariga bo'lish tavsiya etiladi.

Yuqorida aytilganlarga asoslanib, dastlabki ma'lumotlarni jadval shaklida taqdim etish kerak va natijalar 1-jadvalda berilgan ularni belgilarning har bir belgilangan oralig'i uchun ikkinchi darajali chiziqli polinomlar kabi qayta ishlash kerak.

«Rudaning fizik tarkibi» omilining belgilangan qiymatida qayta ishlangan ruda hajmiga to'liq yoki solishtirma elektr energiya iste'molining bog'liqlik tenglamalari quyidagicha bo'ladi:

$$f = b_0 + b_1 \cdot x + b_2 \cdot x^2, \quad (10)$$

bu yerda: f – solishtirma yoki umumiy elektr energiya iste'moli;

x – qayta ishlangan ruda hajmi (yoki qayta ishlangan ruda hajmining qayta ishlashga sarflangan suv hajmiga nisbati).

Shunday qilib, yuqoridagi usuldan foydalanib, o'zgaruvchan ishlab chiqarishdagi texnik omillar uchun elektr energiya iste'moli jarayonini tavsiflash mumkin. Shu bilan birga, elektr energiya iste'moli jarayonining tavsifi, o'tgan davrdagi o'rtacha qiymat bo'yicha elektr energiya iste'molini hisoblab chiqilganda, dastlabki ma'lumotlardan foydalangan holda tavsiflanganidan ko'ra, haqiqiy jarayonga ko'proq mos keladi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Аллаев К.Р. *Электротехника Узбекистана и мира* // "Fan va texnologiyalar". – Toshken, 2009. – 478 b.
2. Каршибаев А.И. *Повышение эффективности электропотребления в условиях горных предприятий Узбекистана* // Монография. – Навои, 2015. – 160 с.
3. Каршибаев А.И. *Повышение эффективности электропотребления в условиях горных предприятий Узбекистана. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.* – Москва, 2011. – 124 с.
4. Каршибаев А.И., Кадиров Ё.Б., Жумаев З.И., Самадов А.Р., Абдуллаев Ш.Ш. *Ҳақиқий энергия истеъмолини аниқлаш ва ҳисобга олиш дастури* // "Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистана. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ" № DGU 16328 18.04.2022.
5. Karshibayev A.I., Jumayev Z.I., Abdullayev Sh.Sh. *Konchilik korxonalarida elektr energiyasidan foydalanish samaradorligini oshirishning zamonaviy usullarini ishlab chiqish* // Journal of Advances in Engineering Technology. Navoiy, 2022. – С. 39-42.
6. Каршибаев А.И. *Прогнозирование электропотребления технологических машин и механизмов карьеров (на примере навоийского горно-металлургического комбината)* // Диссертация. Навои, 2018. – С. 40-47.
7. Каршибаев А.И., Нарзуллаев Б.Ш., Сайидов М.К. *Research of processes of the mode of operation of the asynchronous motor by the method of mathematical and computer modeling* // Зарафшон воҳасини комплекс инновацион ривожлантириш ютуқлари, муаммолари ва истиқболлари мавзусидаги халқаро илмий-амалий анжумани материаллари. Навоий, 27-28 ноябр. 2019. – С. 667-670.
8. Жумаев З.И., Абдуллаев Ш.Ш., Эргашев Ё.Х. *Анализ методов регулирования векторов асинхронных двигателей промышленных предприятий изменением значения напряжения в статоре* // «Интернаука»: научный журнал. – № 13(236). Часть 3. – Москва: Изд. «Интернаука», 2022. – 10 с.
9. Tovboev A.N., Boynazarov G.G., Jumayev Z.I. *Analysis of Subharmonic Oscillations of the Third Order in Three-Phase Circuits with a Separate Ferromagnetic Element* // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology Vol. 6, Issue 12, December 2019, pp. 12229-12233.

QISHLOQ ELEKTR TARMOQLARINING ISHONCHLILIK KO'RSATKICHLARI TAHLILI



Taslimov A.D.,
I. Karimov nomidagi TDTU
«Elektr ta'minoti» kafedrasi professori, t.f.d.



Raximov F.M.,
NDK va TU «Energetika» kafedrasi
dotsenti, PhD

Ushbu maqolada Respublikamiz qishloq elektr tarmoqlari ishonchligini tadqiq qilish bugungi kunda energetika tizimining dolzarb masalalaridan biri ekanligi haqida yozilgan. Ushbu muommoni muvaffaqiyatli hal qilish uchun hozirgi kunda dinamik o'zgaruvchan yuklamali qishloq elektr tarmoqlaridagi mavjud kabel liniyalarining jumladan o'z-o'zini tutib turuvchi izolyatsiyalangan (SIP) o'tkazgichlarni ishonchlilik ko'rsatkichlarini tadqiq qilingan va tegishli tavsiyalar ishlab chiqilgan. Shuningdek yangi loyihalananayotgan qishloq elektr tarmoqlarining ishonchlilik ko'rsatkichlari zamonaviy yondashuvlar, ilm fan va texnikaning so'ngi yutuqlari o'zida mujassamlashtirgan kombinatsiyalashgan usul asosida amalga oshirilgan. Ushbu usulning boshqa usullardan afzalliklari ilmiy jihatdan asoslangan hamda qishloq elektr tarmoqlarining ishonchlilik ko'rsatkichlariga ta'sir qiluvchi omillar sinflashtirilgan.

Tayanch iboralar: ishonchlilik, kombinatsiyalashgan usul, o'rtacha tiklanish vaqti, uzilishlar chastotasi, profilaktika sinovlar chastotasi, liniyalarda uzilishlarning solishtirma ekvivalent davomiyligi.

В данной статье показано, что исследование надежности сельских электросетей нашей республики является на сегодняшний день одним из актуальных вопросов энергосистемы. Для успешного решения данной задачи исследованы показатели надежности существующих кабельных линий, в том числе самонесущие с изолированными проводниками (СИП) сельских электросетей с динамической переменной нагрузкой и разработаны соответствующие рекомендации. Также показателями надежности новых проектируемых сельских электросетей реализованы на основе комбинированного метода, включающего современные подходы и последние достижения науки и техники. Научно обоснованы преимущества этого метода перед другими методами, а также классифицированы факторы, влияющие на показатели надежности сельских электрических сетей.

Ключевые слова: надёжность, комбинированный метод, среднее время восстановления, время ремонта, частота отказов, частота профилактических испытаний, удельная эквивалентная продолжительность отказов в линиях.

So'ngi yillarda Respublikamiz qishloq xo'jaligi iste'molchilari elektr ta'minotining ishonchligini oshirish maqsadida kabel hamda o'z-o'zini tutib turuvchi izolyatsiyalangan o'tkazgichlardan foydalanish an'anaga aylanmoqda. O'z o'zidan savol tug'iladiki xo'sh bu kabel yoki o'z-o'zini tutib turuvchi izolyatsiyalangan o'tkazgichlardan foydalanilsa elektr ta'minoti ishonchligi qanday bo'ladi? Hozirgi kunda qishloq elektr tarmoqlarida ishonchlilik ko'rsatkichi sifatida uzilishlarning ekvivalent davomiyligi qo'llanilib kelmoqda [1, 2, 3], uning qiymati tarmoq elementlarining, asosan elektr uzatish liniyalarining, ishonchlilik ko'rsatkichlariga bog'liq. Takidlash lozimki, qurilish-yig'ish ishlari va ekspluatatsiyani sifatli amalga oshirish, ya'ni ko'rsatma va qoidalar talablarini bajarish kabel liniyalarining ishonchlilik ko'rsatkichlarini oshiradi. Bu esa qishloq joylardagi kabel liniya uzilishlari chastotasining hisobiy ko'rsatkichini aniqlashda ko'rsatma va iste'molchilar elektr qurilmalarini texnik ekspluatatsiya qilish qoidalari (IEQTEQ) talablariga asosan bajarilgan kabel tarmoqlarining ko'rsatkichlaridan foydalanishga asos bo'ladi. Kabel liniyaning o'rtacha tiklanish vaqti ta'mirlash vaqtiga bog'liq bo'ladi, bu esa o'z navbatida shikastlangan liniyaning tarmoq sxemasidagi holati (liniya zaxiralangan yoki zaxiralanmagan, iste'molchilar toifasi) bilan aniqlanadi [4, 5, 6].

Mazkur maqolada kabel liniya elementlarining ishonchligi aniqlanishi sababli o'rtacha tiklanish vaqti τ iste'molchilarning zaxiralash imkoniyatlarini (bu holatda liniyani ta'mirlash shikastlanishdan so'ng ma'lum vaqtdan keyin boshlanishi mumkin va tiklanish vaqti ta'mirlash vaqtdan ko'p bo'ladi) ko'rsatmasligi kerak, faqat shikastlanishni yo'q qilish va liniyani ishga tushirish ishlariga sarflangan vaqtlarni hisobga olishi kerak.

Alohida ma'lumot manbalarida profilaktika sinovlar chastotasi liniyaning uzunligiga nisbatan keltiriladi [7]. Bu qulay ko'rsatkich bo'lib, uzilishlarning ekvivalent solishtirma davomiyligini aniqlash usuliga ko'ra uning tarkiblarini elektr uzatish liniyasining uzunligiga nisbatan olish kerak bo'ladi. 1 km uzunlik birligiga to'g'ri keladigan profilaktika sinovlar chastotasi ko'rsatkichini olish uchun ushbu ifoda bo'yicha qayta hisoblash kerak:

$$\nu = f_{o'ch} \frac{1}{l_s} \quad (1)$$

bu yerda $f_{o'ch}$ – liniya uchastkasi uchun profilaktika sinovlar chastotasi, sinov/yil;

l_s – kabel liniyasining sinalayotgan uchastkasining o'rtacha uzunligi, km.

Hozirgi vaqtda qishloq elektr tarmoqlari iste'molchilari elektr ta'minotining ishonchlilik ko'rsatkichi sifatida uzilishlarning ekvivalent davomiyligidan foydalanib kelinmoqda. Taqsimlovchi elektr uzatish (havo va kabel) liniyalari uchun bu ko'rsatkich quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$T_h = \alpha_{sol} \cdot l_{um} = (\omega\tau + \gamma_r \nu \theta) \quad (2)$$

bu yerda α_{sol} – liniyalardagi uzilishlarning solishtirma ekvivalent davomiyligi;

l_{um} – liniya uchastkalarining umumiy uzunligi, km;

ω, ν - mos ravishda, uzilishlar va oldindan o'chirilishlarning nisbiy chastotasi, 1/yil.km;

τ, θ – liniyani bir tiklanish va xizmat ko'rsatishning o'rtacha vaqti (oldindan o'chirilishlardan sung tiklanishi), soat;

γ_r – rejaviy uzilishlarning oqibatini hisobga oluvchi koeffitsient, 0,33 ga teng.

(1) ifodaga kiritilgan ko'rsatkichlarning qiymatlari amaldagi tarmoqlarning statistik ma'lumotlarini qayta ishlash orqali topiladi. Biroq qishloq joylarda kabel liniyalarining kamligi tufayli ularning ishonchlilik ko'rsatkichlari bo'yicha zarur statistik ma'lumotlar mavjud emas.

Shu munosabat bilan qishloq joylarda kabel liniyalarining ishonchligini aniqlash uchun kombinatsiyalashgan usul taklif etildi. Ushbu usulning mohiyati shundan iboratki, qishloq joylarda kabel liniyalarining ishonchligi ko'rsatkichlari bilvosita boshqa shunga o'xshash ob'ektlarning ishonchligi ko'rsatkichlarini ma'lum xususiyatlari bo'yicha differensial tahlil qilish va ko'rsatkichlarni yangi sharoitlarda sintez qilish orqali aniqlanadi.

Qishloq joylaridagi kabel liniyalaridagi uzilishlar chastotasini belgilovchi omillarni aniqlash uchun dastlab ular sinflashtirilgan (1-rasm). Sinflashtirishga muvofiq, shahar va qishloq kabel tarmoqlarining uzilishlari elektr va mexaniklarga bo'linadi. Elektr uzilishlari asosan liniya elementlari izolyatsiyasining elektr mustahkamligini buzilishi tufayli sodir bo'ladi. Ular elektr maydon ta'sirida izolyatsiyaning nosoz joylarining asta-sekin rivojlanishi bilan ajralib turadi va oxir oqibat izolyatsiyani teshilishiga olib keladi. Mexanik shikastlanishlar guruhiga, ularning ta'siri natijasida kabel liniyalarining o'chirilishiga olib keluvchi mexanik shikastlanishlar kiradi. Ular asosan turli tashkilotlar va aholi tomonidan ishchi kuchlanishda yerosti kompleks ishlarni kabel yo'llarida olib borilishi tufayli yuzaga keladi. Elektr uzilishlar chastotasi (ω_{el}) kabel liniya yo'lining o'tkazish sharoitlariga bog'liq bo'lmaydi. Elektr uzilishlarning asosiy sabablariga eski mexanik shikastlanishlar, izolyatsiyaning eskirishi, ishlab chiqarishdagi nosozliklar, atmosferali o'ta kuchlanishlar kiradi. Kabel liniyalarining uzilishlar sabablarini tahlili shuni ko'rsatdiki, mexanik shikastlanishlar kabellarni yotqizish va kabel liniyasi yo'lining sharoitlariga sezilarli bog'liq.

Shunday qilib, qishloq joylardagi kabel liniyalarining uzilishlar chastotasini quyidagi ifodadan aniqlash tavsiya etiladi:

$$\omega = \omega_{el} + \omega_{mex} \quad (3)$$

bu yerda ω_{el} shahar kabel liniyalari statistikasi bo'yicha, ω_{mex} qiymati esa shahar va qishloq joylaridagi tarmoq liniyalarining statistik ma'lumotlari bo'yicha olinadi.

O'rtacha tiklanish vaqtini hisoblashda jiddiy qiyinchiliklar mavjud. Shu munosabat bilan, tadqiqotlarda τ qiymati qishloq tarmoqlarining xususiyatlarini hisobga olgan holda, shahar kabel liniyalari va qishloq elektr uzatish liniyalarini tiklash vaqtini tarkibiy qismlarini tahlil qilish va sintez qilish asosida aniqlandi.

Uzilish holatlarida kabel liniyasining o'rtacha tiklanish vaqti quyidagilardan tashkil topadi: shikastlanishlarni lokalizatsiya qilish uchun zarur bo'lgan vaqt τ_{lok} , shikastlanish joyini aniqlash vaqti τ_{shja} , shikastlanishni bartaraf qilish vaqti τ_{bar} va kabel liniyasini sinash va ulash vaqti $\tau_{si.va.ul}$ ya'ni:

$$\tau = \tau_{lok} + \tau_{shja} + \tau_{bar} + \tau_{si.va.ul} \quad (4)$$

Shikastlanishlarni lokalizatsiya qilish, liniyani sinovdan o'tkazish va liniyani tarmoqqa ulash vaqtlari liniyaning konfiguratsiyasi hamda ekspluatatsiya sharoitlari bilan belgilanadi va ular elektr uzatish liniyasining bajarilishi variantiga bog'liq emas deb taxmin qilish mumkin. Shuning uchun τ_{lok} va $\tau_{si.va.ul}$ qiymatlari qishloq havo liniyalarining statistika ma'lumotlariga asoslanib qabul qilingan. Kabel liniyalari uchun shikastlanish joyini aniqlash vaqti τ_{shja} va shikastlanishni bartaraf qilish vaqti τ_{bar} aniqlash ularning ekspluatatsiya sharoitiga va ular joylashgan hududga bog'liq. Demak τ ning qiymatini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin:

$$\tau = \frac{\omega_{el}}{\omega} \tau_{el} + \frac{\omega_{mex}}{\omega} \tau_{mex} \quad (5)$$

bu yerda τ_{el} – elektr uzilishlarda o'rtacha tiklanish vaqti;

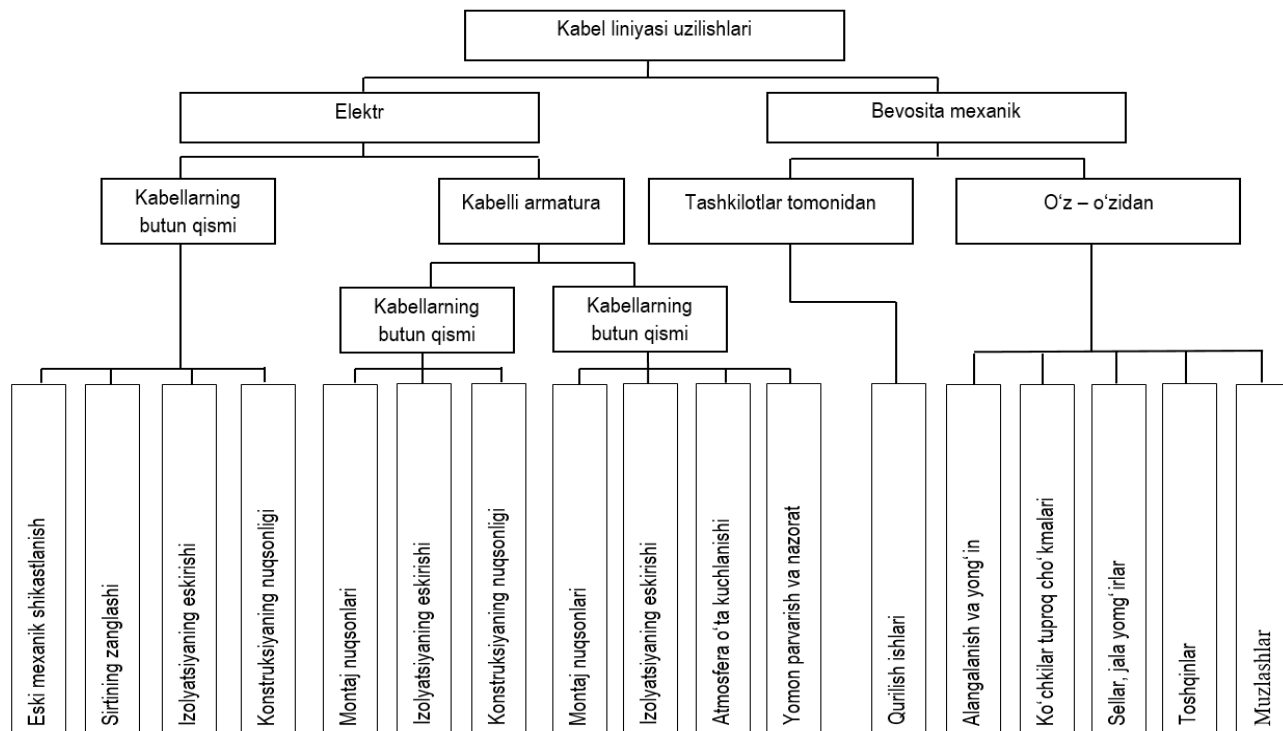
τ_{mex} – mexanik uzilishlarda o'rtacha tiklanish vaqti;

Bundan tashqari τ_{el} va τ_{mex} qiymatlari (4) ifodadan aniqlanadi ω_{el} va ω_{mex} qiymatlari esa qishloq joylari uchun olingan hisobiy ko'rsatkichlardan aniqlanadi.

Kabel liniyalari uchun o'rtacha xizmat qilish vaqti ϑ qiymatini aniqlash uchun quyidagi ifoda taklif etiladi:

$$\vartheta = k_k \cdot \vartheta_{ish.chiq} + (1 - k_k) \vartheta_m \quad (6)$$

bu yerda k_k – profilaktika sinovlari paytida uzilishlar sonini umumiy profilaktika sinovlari soniga nisbatini ko'rsatuvchi koeffitsient; $\vartheta_{ish.chiq}$ – profilaktik sinov paytida ishdan chiqish xolatidagi o'rtacha xizmat vaqti; ϑ_m – muvaffaqiyatli profilaktika sinovida o'rtacha xizmat ko'rsatish vaqti.



1-rasm. Kabel liniyasi uzilishlarini sinflashtirish

Profilaktika sinovining o'rtacha vaqti $\theta_{o'r}$ kabel liniyani sinovga operativ tayyorlash vaqti θ_{op} , kabel liniyani sinash vaqti θ_{sin} va liniyani ulash vaqtidan θ_{ulash} tashkil topadi, ya'ni

$$\mathcal{G}_{o'r} = \mathcal{G}_{op} + \mathcal{G}_{sin} + \mathcal{G}_{ulash} \quad (7)$$

Profilaktika sinovi davrida uzilish bo'lsa, unda o'rtacha vaqt θ_p kabel liniyani sinovga operativ tayyorlash vaqti θ_{op} , sinov va uzilish joyini aniqlash vaqti θ_{suja} , shikastlanishni yo'qotish vaqti θ_{shy} , qayta sinash vaqti $\theta_{qay.si}$ va liniya ulash vaqti θ_{ulash} , ya'ni

$$\mathcal{G}_p = \mathcal{G}_{op} + \mathcal{G}_{suja} + \mathcal{G}_{shy} + \mathcal{G}_{qay.si} + \mathcal{G}_{ulash} \quad (8)$$

Uzilishlar chastotasi (2) ifodaga muvofiq hisoblanadi. Uzilishlar chastotasining elektr shikastlanishlaridan bo'ladigan tarkibiy qismi amaldagi kabel tarmoqlarining uzilishlari bo'yicha statistik ma'lumotlar tahlili asosida aniqlanadi. Shahar kabel liniyalarida bo'ladigan uzilishlarning texnik sabablarini tahlili shuni ko'rsatdiki, ular qishloq hududlaridagi kabel liniyalarida ham sodir bo'ladi.

Qishloq kabel liniyalari uchun ularning turli elementlaridagi shikastlanishlari nisbatini qayta taqsimlash kerak bo'ladi. Buni quyidagi mulohazalar bilan izohlash mumkin [8, 9].

Kabelni yotqizishdagi nuqsonlar, eski mexanik shikastlanishlar va tuproqdan zanglanishi hisobiga kabelning shikastlanishi kamayadi va kabellarning qobig'i va himoya qoplamalarida yuzaga keladigan shikastlanishlar ham kamayadi. Himoya qoplamalar va kabel qobig'ining shikastlanishlarini kamaytirish omillari quyidagicha: qishloq kabel liniya trassasida odatda shlak, singan shisha, qurilish chiqindilari va shunga o'xshash omillar bo'lmasligi, shahar sharoitida kabel yotqizish chuqurligiga nisbatan katta bo'ladi va shuning uchun shikastlanish ehtimoli kamayadi, kabel liniyalarining trubalarda yotqiziladigan trassalarida burilishlar nisbatan kam bo'ladi.

Qishloq joylardagi kabel liniyalari ishonchligi ko'rsatkichlari tadqiq qilindi [10] hamda hisoblash natijalari 1-jadvalda keltirilgan. Bu yerda, taqqoslash uchun havo liniyalarining shunga o'xshash ko'rsatkichlari ham keltirilgan.

1-jadvaldagi ma'lumotlar tahlili shuni ko'rsatdiki, kabel liniyasining uzilish chastotasi havo liniyasining uzilishlari chastotasidan nisbatan o'rtacha past. Kabel liniyalarining o'rtacha tiklanish vaqti havo liniyalariga qaraganda qariyb 3 baravar ko'p. Kabel liniyalarini oldindan o'chirish chastotasi qo'shimcha xarajatlarga qaraganda bir oz yuqori va kabel liniyalariga xizmat ko'rsatishning o'rtacha vaqti biroz pastroq. Shuni ta'kidlash kerakki, avariya bilan bog'liq bo'lgan kabel liniyalari uzilishlarining aniq ekvivalent davomiyligining tarkibiy qismi havo liniyalari uchun bir xil bo'lib, havo liniyasi tarkibiy qismidan 2,5-3 baravar kam, rejalashtirilgan uzilishlar bilan bog'liq bo'lgan tarkib esa 1,5 baravar ko'p.

1-jadval

Ishonchlik ko'rsatkichlari	Elektr uzatish liniyalari	
	Havo	Kabel
Uzilishlar chastotasi θ , o'chish/km.yil	0,05...0,25 0,15	0,01...0,03 0,02
O'rtacha tiklanish vaqti t , soat/o'chish	3,5...7,5 5,5	12,9...19,5 16,2
Oldindan o'chirish chastotasi v , o'chish/km.yil	0,05...0,25 0,15	0,29...0,34 4,0
O'rtacha xizmat ko'rsatish vaqti θ , soat/o'chish	3,5...7,5 5,5	1,6...7,2 4,0
Nisbiy ekvivalent o'chirish davomiyligi α_n , soat/km.yil	0,2...0,5 1,1	0,31...1,39 0,75

Qishloq joylardagi havo liniyalari uzilishlarining solishtirma ekvivalent muddati kabel liniyalariga qaraganda 1,4 baravar ko'p. Bu kabel liniyalari uzilishlarining sezilarli darajada kamligi bilan bog'liq. Bunday holda, quyidagilarni e'tiborga olish kerak. Eksploatatsiya tajribasi shuni ko'rsatdiki, atmosfera ta'siriga duchor bo'lmagan kabel liniyalari uchun bir vaqtning o'zida ikkita liniyaning ishdan chiqish ehtimoli juda kichik. Shuning uchun kabel tarmoqlari bilan bajarilgan sxemaning ishonchligi havo tarmoqlariga nisbatan ancha yuqori bo'ladi.

Xususiyatlari va sharoitlari o'xshash boshqa ob'ektlarning ishonchlik ko'rsatkichlarini tahlil qilish va keyinchalik bu ko'rsatkichlarni sintez qilish asosida kombinatsiyalashgan usul taklif etildi.

Tadqiqotlar natijasida qishloq kabel liniyalarining ishonchligi havo liniyalaridagiga nisbatan ancha yuqori ekanligi aniqlandi. Qishloq kabel liniyalarining uzilishining o'rtacha hisoblangan solishtirma ekvivalent davomiyligi yiliga 0,75 soatni tashkil qiladi (0,3 dan 1,5 soatgacha oraliqda).

Qishloq elektr tarmoqlarida kabel liniyalaridan foydalanish iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashning ishonchligini oshirish imkonini beradi. Bunda ishonchlikni oshirish natijasida olinadigan samara ob-havoning shomol ta'siridan kelib chiqadigan nosozliklarni bartaraf etish orqali ta'minlanadi.

Qishloq joylarda kabel liniyalaridan foydalanish 35/10 kV va 10/0,4 kV kuchlanishli transformator podstansiyalarining ishonchligini oshiradi va bunda tashqi o'ta kuchlanish sababli transformator va podstansiyalarning boshqa jihozlarning shikastlanishlari soni kamayadi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Папков Б.В. Надёжность и эффективность современного электроснабжения: монография / Б.В. Папков, П.В. Илюшин, А.Л. Куликов. – Нижний Новгород: Научно-издательский центр «XXI век», 2021. – 160 с.
2. Волков Н.Г. Надёжность электроснабжения: учебное пособие // Н.Г. Волков, А.А. Сивков, А.С. Сайгаш; Томский политехнический университет. – 2-е изд., доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 160 с.
3. Сафонов В.И. Надёжность систем электроснабжения: Учебное пособие // В.И. Сафонов, П.В. Лонзингер. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – 90 с.
4. Майоров А.В. Оценка надёжности системы защиты и автоматики электрической сети 20 кВ мегаполиса при внедрении дифференциальных защит // Энергия единой сети. 2019. № 5. – С. 52-58.
5. Хорольский В.Я. Надёжность электроснабжения: учебное пособие // В.Я. Хорольский, М.А. Таранов. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2022. – 127 с.
6. Taslimov A.D., Yuldashev A.A., Raximov F.M. Kabel liniyalarini ishonchlik ko'rsatkichlarini statistik ma'lumotlar asosida hisoblash dasturi / EHM uchun dastur. DGU 08019, 2020.
7. Алферова Т.В. Надёжность электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса: учеб. пособие // Т.В. Алферова, О.Ю. Пухальская, А.А. Алферов; М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого. – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017. – 112 с.
8. Волков Н.Г. Надёжность электроснабжения: учеб. пособие / Н. Г. Волков. – Томск: Том. политех. ун-т, 2003. – 140 с.
9. Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства. учебник // Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
10. A.D. Taslimov, F.M. Raximov. Qishloq elektr tarmoqlarining energiya samaradorligi va ishonchligini oshirish usullari // Monografiya. – Navoiy: "Aziz kitobxon", 2021. – 142 b.

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ДИГМАЙСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА



Ходжибаев Д.Д.,
заведующий
кафедрой «Экология»
Горно-металлургического института
Таджикистана, к.т.н.



Разиков З.А.,
профессор
кафедры «Экология»
Горно-металлургического института
Таджикистана, д.т.н., академик междуна-
родной инженерной Академии



Мамадов И.А.,
руководитель
ОО «Молодежная Группа по защите
Окружающей Среды», соискатель Института
водных проблем, гидроэнергетики и экологии
(ИВПГЭиЭ) Национальной Академии Наук
Таджикистана

Maqolada atrof-muhit monitoringi, xususan, yer osti suvlari sifatini o'rganish natijalari keltirilgan. Tadqiqot ob'ekti radioaktiv chiqin-dixona atrofida joylashgan. Tahlillar Tojikiston kon-metallurgiya institutining analitik laboratoriyasida AAnalyst 800 atom yutilish spek-trometridan foydalangan holda o'tkazildi. Ushbu usul odatda tabiiy suvlarda elementlarning past miqdori uchun ishlatiladi. Fizik-kimyoviy parametrlar bo'yicha tahlillar uchun CyberScan PC 650 qurilmasi ishlatilgan.

Tayanch iboralar: monitoring, chiqindi suv ombori, og'ir metallar, suv sifati, yer osti suvlari.

В статье приведены результаты мониторинга окружающей среды, в частности исследования качества подземных вод. Объект исследования расположен вокруг территории радиоактивного хвостохранилища. Анализы проведены в аналитической лаборатории Горно-металлургического института Таджикистана, с использованием атомно-абсорбционного спектрометра AAnalyst 800. Этот метод обычно используется при низких содержаниях элементов в природных водах. Для анализов по физико-химическим параметрам использован прибор CyberScan PCD 650.

Ключевые слова: мониторинг, хвостохранилище, тяжелые металлы, качество воды, подземные воды.

Наличие пресных вод жизненно важное условие для населения, сельского хозяйства, промышленности, и экосистем, на их качество и количество существенно влияют изменения климата и антропогенная деятельность. Основным источником пресной воды являются подземные воды, защита от загрязнения которых является приоритетным направлением для обеспечения водной безопасности.

Подземные воды являются ключевым источником питьевого водоснабжения для миллионов людей по всему миру. Однако, промышленное развитие, сельскохозяйственная деятельность и бытовые стоки значительно увеличивают риск загрязнения этих важнейших ресурсов, в частности тяжелыми металлами и другими опасными веществами. В свете этого актуальность и важность мониторинга качества подземных вод становится очевидной.

Проблема защиты подземных вод от загрязнения является в настоящее время важной составной частью общей проблемы охраны окружающей среды обитания.

Пресные (слабоминерализованные) подземные воды, широко используемые для нужд водоснабжения, находятся в тесном взаимодействии с атмосферой и поверхностными водными источниками и вследствие этого подвержены неблагоприятному влиянию, так называемых, техногенных факторов. Наиболее существенными являются факторы, обуславливающие загрязнение подземных вод [1].

Сохранение водных ресурсов не может быть достигнуто путём предотвращения воздействия человека на водную среду. Борьба с загрязнением воды и защита водных ресурсов требуют большего, чем просто технология очистки отходов [2].

Опасность загрязнения подземных источников водоснабжения возникает в связи с фильтрацией в водоносные пласты сточных

вод и отходов промышленных производств, хозяйственно-бытовых стоков городов и населенных пунктов, стоков с сельскохозяйственных территорий и др. Не менее важным в данном случае, являются отходы промышленных производств, которые расположены в больших объёмах, и также зависит от состава отходов. Одним из примеров такой ситуации является хвостохранилище радиоактивных отходов в Согдийской области.

Добыча и переработка урановой руды началась в бывших советских республиках Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане и Узбекистане после Второй мировой войны и продолжалась более полвека. Обширная деятельность по добыче и переработке привела к образованию больших объёмов урановых хвостохранилищ и отложений пустой породы, часто расположенных в непосредственной близости от населённых пунктов. Они могут оказывать потенциальное радиологическое воздействие на окружающую среду и местное население [4].

Наибольшее количество твёрдых отходов, образующихся при разработке и переработке урановой руды в Таджикистане, накапливались в Дигмайском хвостохранилище, которое эксплуатировалось в период с 1963 по 1993 г. Строительство хвостохранилища осуществлялось путём перекрытия естественной депрессии первоначальной плотины длиной 1800 м с покрытием дна слоем битума (толщина 8 см). Хвостохранилище занимает площадь около 90 га. Отходы гидрометаллургии транспортировались по трубопроводам до хвостохранилища. Объём отходов превышает 22 млн т. В течение длительного хранения на поверхности хвостохранилища образовались эрозионные трещины глубиной до 4 м и шириной 0,3-0,8 м, представляющие геологическую опасность для человека и животных [4]. Кроме того,

Таблица 1

Данные по точкам отбора проб питьевой воды

№	Широта	Долгота	Дата	Населенный пункт	Источник пробы воды
1.	40,248126	69,642318	08.01.2015	Гозиён	СКВЖ №1 0Д
2.	40,250442	96,64208	08.01.2015	Гозиён	СКВЖ № 12Д
3.	40,252381	69,622028	08.01.2015	Фрунзе	СКВЖ, коммун. хозяйство
4.	40,24683	69,59739	08.01.2015	Галамайдон	СКВЖ № 4
5.	40,24683	69,59739	08.01.2015	Галамайдон	колодец, грунтовая вода
6.	40,248716	69,615816	08.01.2015	Бригада №15	колодец, грунтовая вода
7.	40,242034	69,614802	08.01.2015	Седаста	СКВЖ № 90
8.	40,2415	69,626356	08.01.2015	Гумбаз	СКВЖ №1 33
9.	40,241211	69,63504	08.01.2015	Гумбаз	СКВЖ №7 0
10.	40,20461	69,642728	08.01.2015	Котма	СКВЖ № 4

Таблица 2

Результаты экспресс и лабораторных анализов

№ пробы	pH	Электропроводимость, мСм/см	Раств. кислород, мг/л	TDS, з/л	Температура, °С	Zn (цинк), мкг/л	As (мышьяк), мкг/л	Cd (кадмий), мкг/л	U (уран) мг/л
1.	7,4	1,011	9,52	0,5	12,1	0,95	0,07	0,0046	0,0196
2.	7,37	1,560	9,16	0,746	10,5	0,82	0,35	0,0067	0,0261
3.	6,98	1,462	9,51	0,8406	14,7	1,248	0,57	0,007	0,0326
4.	6,86	3,061	8,73	1,593	13,2	9,42	0,93	0,0191	0,0261
5.	7,16	1,776	8,79	0,675	7,7	1,54	0,72	0,0067	0,0261
6.	6,97	2,245	9,21	0,727	5,5	1,853	0,873	0,0088	0,0392
7.	7,58	3,26	9,25	1,197	6,8	6,18	1,35	0,0198	0,0457
8.	7,57	1,507	10,03	0,605	8,9	6,93	0,25	0,0076	0,0287
9.	7,72	1,318	10	0,486	8,4	7,21	0,53	0,0127	0,0261
10.	7,36	1,659	11,92	0,843	12,9	1,27	0,75	0,0052	0,0352

появилась возможность просачивания загрязненных вод в подземные горизонты.

В связи с изложенным, и с целью оценки качества подземных вод территорий вокруг Дигмайского хвостохранилища, Общественной Организацией «Молодежная Группа по защите окружающей среды» совместно с Горно-металлургическим институтом Таджикистана, в 2015 г. было проведено исследование на предмет мониторинга их качества.

Исследованием в основном были охвачены вопросы содержания тяжёлых металлов и физико-химических параметров. Оно основывалось на сборе проб подземных вод из различных скважин. Анализ проводился в лабораторных условиях с использованием современного оборудования и технологий. Основное внимание было уделено определению содержания тяжелых металлов, таких как Zn, Cr, Cd и U поскольку они представляют особую опасность для здоровья человека. Кроме того, были измерены ключевые физико-химические параметры, включая pH, общие растворенные соли, содержание растворенного кислорода и электропроводность. Образцы проб воды были отобраны из 10 пунктов, основным источником которых являются воды из скважин и колодцы (грунтовые воды). Пробы воды фильтровали через мембранный фильтр с размерами пор до 0,45 мкм (Millipore) для определения растворённых форм металлов, и затем подкисляли азотной кислотой (FLUKA TraceSELECT™ Ultra) до pH ≤ 2. Отобранные пробы размещались в кулер с замороженными охладителями и транспортировались в лабораторию для проведения анализов. Точки отбора проб приведены в табл. 1.

Для измерения физико-химических параметров были использованы портативный Мультиметр SyberScan PCD 650. Данный прибор позволяет произвести измерения с точностью ±0,002 pH, дискретностью до 0,001 pH и имеет возможность измерения во всем диапазоне, от ультрачистой воды до 500 мСм [5].

В аналитической практике самым распространённым селективным методом определения элементов является атомно-абсорбционный анализ. Современные атомно-абсорбционные спектрометры с возможностью проводить анализы двумя методами, в сочетании пламенного и электротермического, позволяют определять присутствие элементов и их следы в образцах [6].

Результаты проведённых анализов приведены в табл. 2.

Полученные данные по таким ключевым параметрам, как pH (уровень кислотности/щёлочности), электропроводность (показатель содержания растворенных солей), минерализации (TDS), а также уровень растворённого кислорода, демонстрируют, что все изученные пробы подземных вод находятся в пределах установленных норм для питьевой воды.

Эти результаты свидетельствуют о хорошем качестве изоляции хвостохранилища и незначительного его воздействия на качество подземных вод.

Следует отметить, что уровень минерализации (TDS) в исследованных пробах воды варьируется от 0,48 до 1,59 мг/л. Этот показатель отражает содержание растворённых солей и влияет на качество воды.

Все пробы соответствовали нормам питьевой воды, однако наблюдались значительные различия в минерализации между ними. Предполагается, что различия обусловлены глубиной скважин, указывающей на доступ к разным водоносным горизонтам с уникальным химическим составом.

Полученные результаты анализа содержания тяжелых металлов (цинка (Zn), мышьяка (As) и кадмия (Cd)) в пробах подземных вод показывают, что их уровни находятся в пределах установленных норм.

Данные по содержанию урана, полученные в ходе исследований [3] 2006-2008 гг. в данной местности, были сравнены с результатами проведённого нами текущего исследования. Оба набора

данных демонстрируют приблизительно аналогичные уровни содержания урана в воде двух скважин, подтверждая стабильность показателей за прошедшие годы.

Проведённые исследования показывают необходимость регулярного и всестороннего мониторинга качества подземных вод в аналогичных территориях.

Необходимо отметить, что мониторинг качества воды не только выявляет текущее состояние водных ресурсов, но и даёт возможность предсказать потенциальные риски для здоровья человека и экосистемы в будущем и является основой для разработки мероприятий по защите водных ресурсов и обеспечения безопасности водоснабжения населения.

Библиографический список:

1. Бочеввер Ф. М. Защита подземных вод от загрязнения // Ф. М. Бочеввер, Н. Н. Лапшин, А. Е. Орадовская. – Москва: Недра, 1979. – 254 с.
2. Stumm W. Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters // W. Stumm, J.J. Morgan. – John Wiley & Sons, 2012. – 1003 p.
3. Environmental impact assessment of radionuclide and metal contamination at the former U sites Taboshar and Digmai, Tajikistan // L. Skipperud, G. Strumman, M. Yunusov [u др.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Т. 123. – С. 50-62.
4. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia / P. Stegnar, I. Shishkov, M. Burkitbayev [u др.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – Т. 123. – С. 3-13.
5. Разыков З.А. Мониторинг физико-химических показателей воды реки Сырдарья в 2013-2014 гг. (на территории Республики Таджикистан) // З.А. Разыков, Д.Д. Ходжибаев // XXI век. Техносферная безопасность. – 2017. – Т. 1. – № 5. – С. 38-43.
6. Разыков З.А. Определение содержания тяжелых элементов в воде методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии // З.А. Разыков, Д.Д. Ходжибаев // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – Т. 1. – Душанбе, 2018. – С. 102-107.

НФ-1200

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК



NMZ
Ўзбекистон Республикаси

Государственное предприятие АО НГМК
Производственное объединение
«Навоийский машиностроительный завод»
www.ngmk.uz
Адрес: г. Навои, ул. Инспекторов 5
Тел.: (+99879) 2276214; 227-64-23
Факс: (+99879) 223-48-78
E-mail: informz@ngmk.uz

ENVIRONMENTAL MONITORING AND CONTROL SYSTEM OF GREENHOUSE BASED ON INTERNET OF THINGS TECHNOLOGY



Jiang Ru,
TSTU named after I. Karimov;
Institute of Automation,
Qilu University of Technology
(Shandong Academy of Sciences) PhD



Zhang Dong,
Institute of Automation,
Qilu University of Technology
(Shandong Academy of Sciences), Researcher

Greenhouse is an important application scene of modern agriculture. In this paper, a set of greenhouse environmental monitoring, facility remote control and production management system is designed and implemented based on Internet of Things technology for the development needs of modern agriculture in greenhouse. The system selects STM32F407 control board as the main controller to realize real-time monitoring of greenhouse environmental parameters including temperature and humidity, soil nutrients, soil pH and other greenhouse environmental information, and can adjust greenhouse environmental parameters by controlling the irrigation system, roller shutters, fans, shading curtains and other facilities in the greenhouse. The main controller uploads the collected environmental data and the status data of the execution equipment to OneNet cloud platform in time. Users can obtain the environmental data and control the facilities in the greenhouse anytime and anywhere through the terminal monitoring software. The greenhouse environmental monitoring and control system designed in this paper improves the safety and automation of greenhouse. The system is easy to operate, can help farmers remotely know the situation of greenhouse and carry out unified management of greenhouse which will greatly improve efficiency.

Keywords: Internet of things, modern agriculture, environmental information monitoring, remote control, smart greenh.

В статье представлены результаты экологического мониторинга, в частности изучения качества подземных вод. Объектом исследования является радиоактивная свалка. Теплица является важной сферой применения современного сельского хозяйства. В этой статье на основе технологии Интернета вещей разработан и реализован комплекс систем мониторинга окружающей среды в теплице, дистанционного управления объектом и системы управления производством для нужд развития современного сельского хозяйства в теплицах. Система выбирает плату управления STM32F407 в качестве основного контроллера для осуществления мониторинга в реальном времени параметров окружающей среды в теплице, включая температуру и влажность, питательные вещества почвы, pH почвы и другую информацию об окружающей среде в теплице, а также может регулировать параметры окружающей среды в теплице, управляя системой орошения, рольставнями, вентиляторы, затеняющие шторы и другие помещения в теплице. Главный контроллер своевременно загружает собранные данные об окружающей среде и данные о состоянии исполнительного оборудования на облачную платформу OneNet. Пользователи могут получить данные об окружающей среде и контролировать оборудование в теплице в любое время и в любом месте с помощью программного обеспечения для мониторинга терминала. Система мониторинга и контроля окружающей среды в теплице, разработанная в этой статье, повышает безопасность и автоматизацию теплицы. Система проста в эксплуатации, может помочь фермерам удаленно узнать ситуацию в теплице и осуществлять единое управление теплицей, что значительно повысит эффективность.

Ключевые слова: Интернет вещей, современное сельское хозяйство, экологический информационный мониторинг, дистанционное управление, умная теплица.

With the increasing scale of the agricultural industry and the implementation of centralized land farming, more and more agricultural products are cultivated in greenhouses. People have limited access to farmland information, mainly through manual measurement, which is a time-consuming and labor-intensive process and is not conducive to improving production efficiency and expanding production scale [1]. The Internet of things is the inheritance and development of the current technological achievements in communication and computer, which can realize the communication of things by using the means of Internet communication [2-4]. As the current key development of emerging industries in various countries, internet of things technology is also a strategic fulcrum for the future development of information industry and an important bridge to the development of smart agriculture [5, 6], which can promote the transformation of traditional agriculture. Combining advanced Internet of things technology with big data and cloud computing

can realize agricultural intelligence, reduce costs [7], and effectively improve the management efficiency of greenhouse. In this paper, we designed a greenhouse environment monitoring and control system based on Internet of things technology to monitor and adjust the environmental data in greenhouse in real time, and realize remote detection and control of greenhouse by users anytime and anywhere through OneNet cloud platform.

1. Overall System Design.

The structural block diagram of this system is shown in Fig. 1.

The main functional subsystems of the system include.

1. Environment sensing subsystem. It mainly completes data collection of environmental information and real-time monitoring of the environment. This module contains a variety of sensors and wireless networks. The sensors include air temperature sensor, air humidity sensor, soil temperature sensor, soil humidity sensor, soil pH sensor

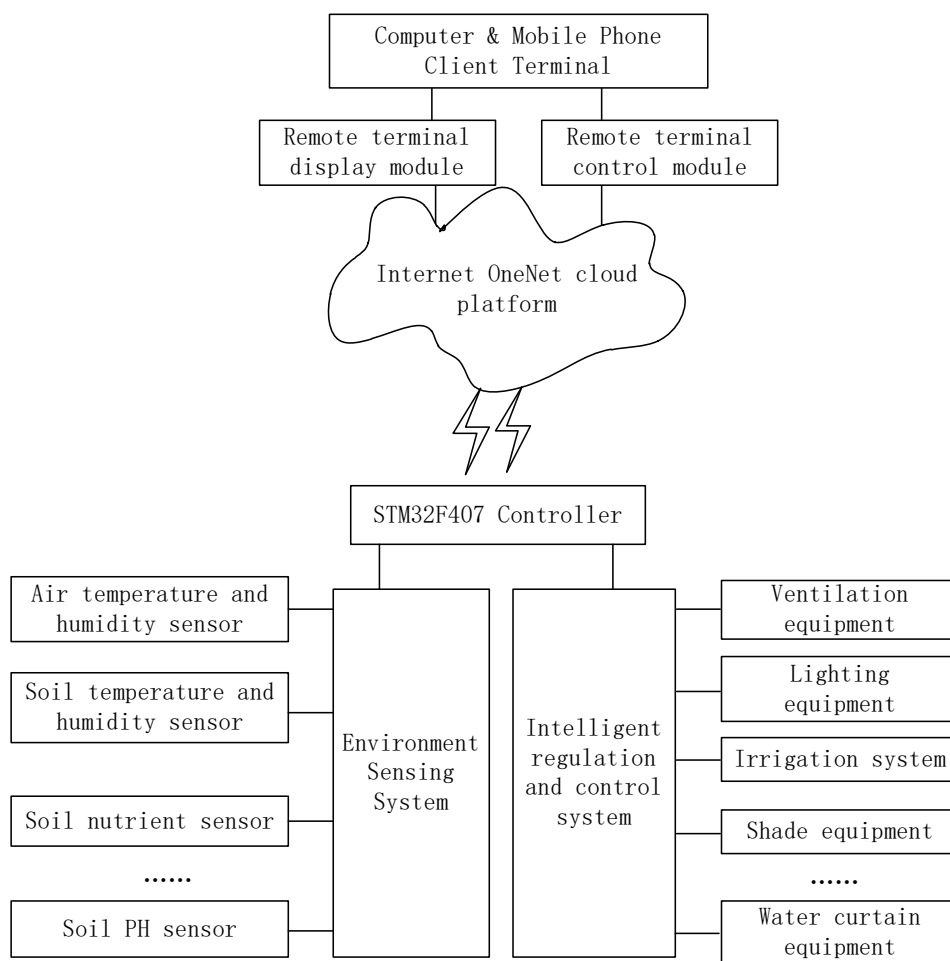


Fig. 1. System architecture block diagram

and soil nutrient (mainly soil nitrogen, phosphorus and potassium content) sensor. The wireless data transmission module adopts LORA wireless module, which is responsible for two-way communication with the main controller, sending sensor data and receiving control signals from the main controller.

2. Intelligent control subsystem. This subsystem includes controlled facilities in the greenhouse, including water curtains, fans, irrigation systems, shading curtains and lighting equipment. The system is able to adjust the working status of the controlled units through both automatic and manual modes.

3. Control and data transmission subsystem. This module selects STM32F407 as the controller to receive and process sensor data. And then, the controller cooperates with the ESP8266 wireless network module to upload the environmental data to the server of OneNet cloud platform and is also responsible for completing the control of controlled facilities in the shed.

4. Remote terminal subsystem. By connecting to the OneNet cloud platform server, the remote terminal subsystem can realize remote sharing and display of greenhouse environmental monitoring data in both the computer client and cell phone client. Users can also check the history records of monitoring data and the operation status of the facilities in the greenhouse, and adjust the facilities through manual control mode.

2. System hardware design scheme.

2.1 Controller Module.

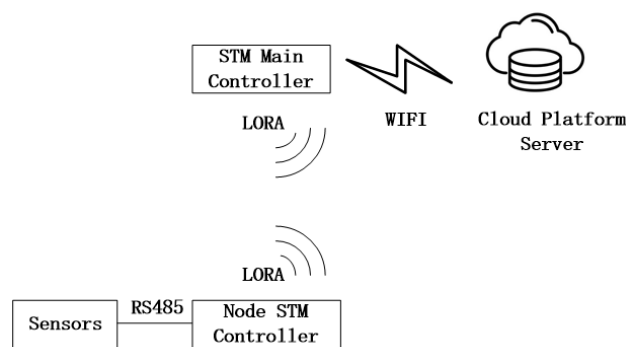


Fig. 2. Data transfer mode

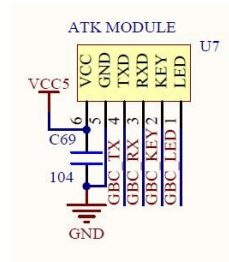


Fig. 3. ATK-LORA-01 module connection diagram

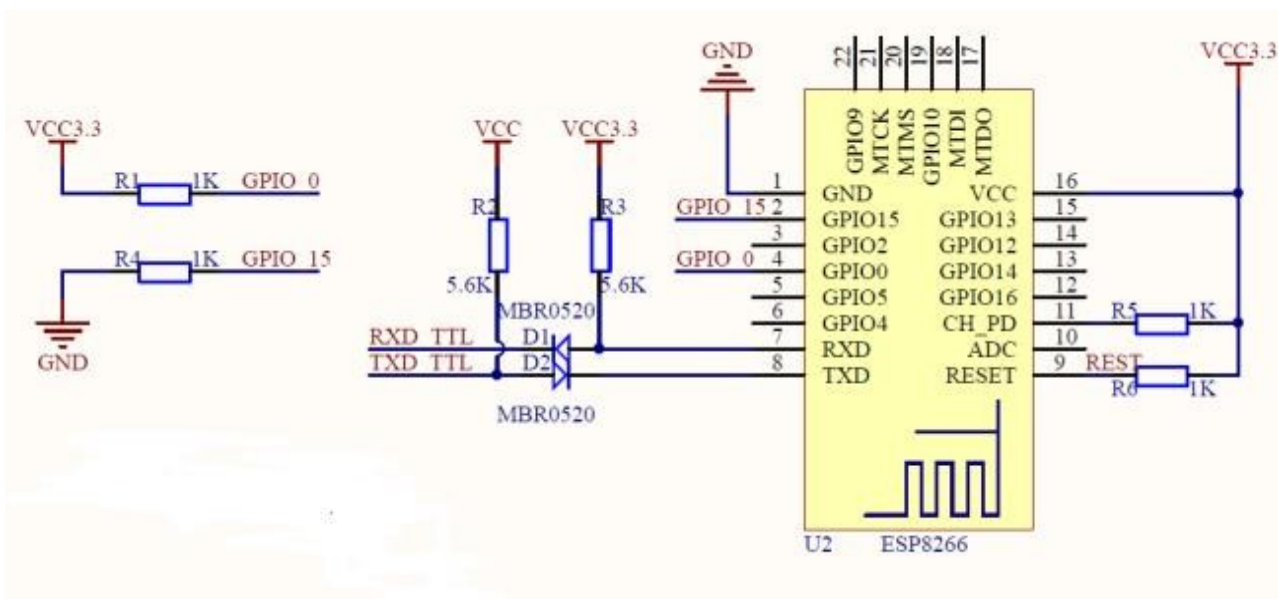


Fig. 4. ATK-ESP-01 module schematic diagram

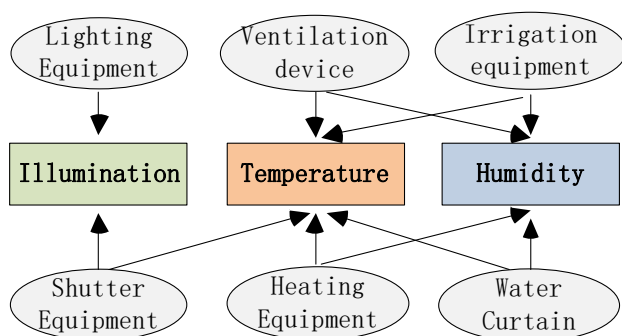


Fig. 5. Diagram of the relationship between equipment and environmental factors

The STM32F407 series chip is based on a high-performance ARM Cortex-M4 32-bit RISC core and can run a speed up to 168 MHz. The chip integrates high-speed embedded memory, provides three 12-bit ADCs, two DACs, a low-power RTC, twelve general-purpose 16-bit timers including two PWM timers for motor control and two general-purpose 32-bit timers. And it also has up to three I2C, three SPI, and two I2S full duplex, as well as Ethernet and camera interfaces. The system selects STM32F407ZGT6 as the main control chip and node control chip. Its hardware circuit schematic is shown in Fig. 2.

2.2 Data Transmission Module

The transmission modes of the system data transmission module include RS485 wired data transmission, LORA wireless data transmission and WIFI wireless network transmission. The relationship between each transmission mode is shown in Fig. 3.

RS485 wired data transmission using SP3485 chip. The chip supports RS-485/RS-422/MIL-STD 1553B and other communication protocols, integrated overvoltage and low voltage protection, support bus rate up to 30Mbps and built-in overcurrent and short circuit protection, with low power consumption, good anti-interference and high-speed transmission capabilities, etc. Wireless transmission module use the ATK-LORA-01 module. The ATK-LORA-01 is designed with a high efficiency ISM band RF SX1278 spread spectrum chip, the module operates at 410Mhz~441Mhz, with 1Mhz frequency as a step channel, 32 channels in total. It has advantages of small size, high sensitivity, low power consumption and power saving. The WIFI wireless network transmission adopts the ESP8266-based ATK-ESP-01 module, which has a built-in 10bit high-precision ADC, serial port rate up to 4Mbps, and supports UART/GPIO/ADC/PWM/IIC interface, and its schematic diagram is shown in Fig. 4.

2.3. Sensors and facilities.

A variety of sensors are used in the system environment sensing module. Each sensor communicates with the node controller through RS485 data transmission. In order to cope with the unbalanced detection parameters in each area of the greenhouse, the various sensors are divided into different groups and placed in different areas of the greenhouse. The system collects the measured values of multiple sensors in different areas and takes the average value to improve the measurement accuracy. The system controls the working status of the greenhouse facilities through solenoid valves. When the acquired environmen-

Table 1

Automatic control function test					
Input		Output			
Temperature	Humidity	Ventilation	Irrigation	Heating	Water Curtain
15	30	Off	On	High	On
15	60	Off	Off	High	On
15	90	Off	Off	High	Off
20	30	Off	On	Low	On
20	60	Off	Off	Low	On
20	90	Low	Off	Low	Off
25	30	Off	On	Off	On
25	60	Low	Off	Off	On
25	90	High	Off	Off	Off
30	30	Low	On	Off	On
30	60	High	Off	Off	On
30	90	High	Off	Off	Off
35	30	High	On	Off	On
35	60	High	Off	Off	On
35	90	High	Off	Off	Off

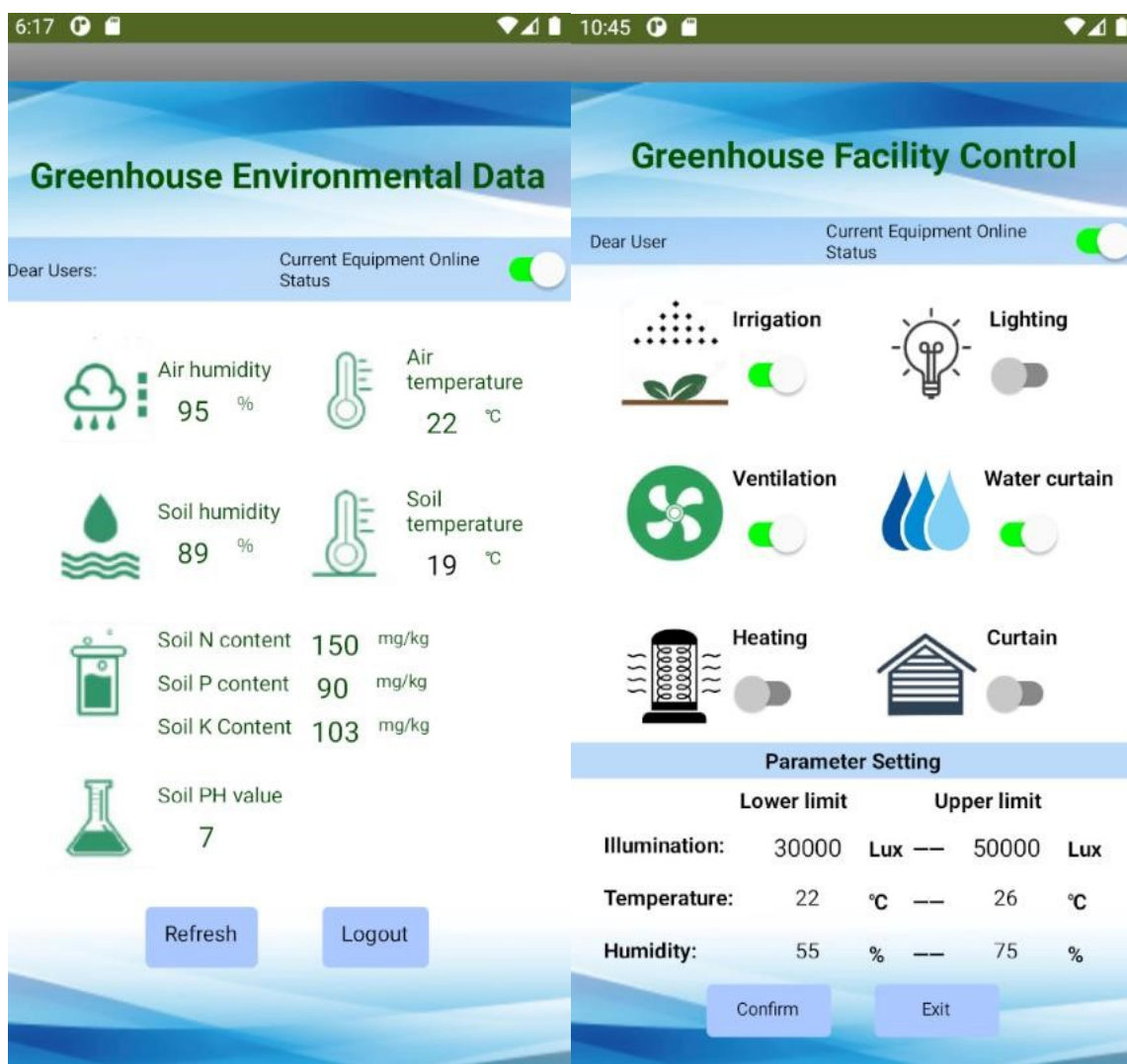


Fig. 6. Client terminal service platform

tal parameters exceed the set threshold value, the controller will activate the relay to control the solenoid valve for water supply, fan cooling and other operations.

3. System software design scheme

3.1. Realization of greenhouse facilities control.

The relationship between each control device and environmental factors in the greenhouse is not a simple one-to-one correspondence, and the control of any one of them will have certain effects on different environmental factors. The relationship between each control equipment and environmental factors is shown in Fig. 5.

The system uses a combination of threshold method and fuzzy control algorithm to complete the control of the greenhouse facilities. The threshold method is used for automatic control of greenhouse equipment that only affects a single environmental factor, such as lights. Users can set the upper and lower thresholds of the corresponding environmental factors on the user service platform. The fuzzy control method is used for automatic control of facilities such as fans and water curtains that have different degrees of influence on various environmental factors. Users can also modify the upper and lower thresholds of the corresponding environmental factors through the user service platform.

3.2. Realization of software and hardware information interaction.

In order to realize the remote information interaction between the

system software and hardware, this paper completes the construction of the OneNet private cloud platform and writes the service program with MQTT as the communication protocol. OneNet cloud platform is a PaaS Internet of Things open platform developed by China Mobile [6]. It can realize device access and provide comprehensive Internet of Things solutions, support fast access and big data services for all kinds of sensors and smart hardware, provide rich API interfaces, and can effectively reduce Internet of Things application development and deployment costs [7]. The system builds OneNet cloud platform product based on MQTT protocol and successfully tested the connection status of the cloud platform using the network debugging assistant.

4. System function testing.

4.1. User server platform function test.

After testing, the system host controller is able to successfully establish a connection with the OneNet cloud platform through the MQTT protocol and upload environmental data and device status data. The successful connection of the main controller to the OneNet cloud platform is shown in Fig. 6.

In order to realize the information interaction of software and hardware, the system has designed client programs both under Windows-based operating environment and Android-based system. The administrator can log in to the system by entering the correct account and pass-

word. Through the test, users can get the environmental data in real time through the user server, and can realize the command to control the status of the facilities inside the shed remotely. The test of the client terminal service platform is shown in Figure 8.

4.2. Automatic control function test.

In this paper, according to the specific conditions of the greenhouse facilities, the automatic control function of the system is tested in the laboratory environment. Among them, the light equipment and the rolling shutter equipment mainly have a large impact on the light intensity, which is set to be manually controlled by the user. The working status of the remaining controlled devices under different temperature and humidity is shown in Table 1. The results are as expected.

This paper designed a greenhouse environment monitoring and control system based on Internet of Things technology. The system uses STM32F407 control board as the main controller. The collection of environmental data in the greenhouse and the automatic control of various greenhouse facilities are realized.

The system built the OneNet cloud platform server to realize the data storage and sharing. The user terminal application is designed to realize remote and real-time intelligent monitoring and control of agricultural greenhouse. After the system is put into use, it can effectively improve the degree of agricultural informatization, realize the rational use of agricultural resources, and improve agricultural production efficiency and management level.

Bibliographic list:

1. Yan Zhangpeng, Peng Cheng. Research on the implementation plan of intelligent agriculture based on Internet of Things technology [J]. *Journal of Xi'an University of Posts and Telecommunications*, 2013, 18(04):105-108.
2. Sun Qibo, Liu J., Li Yuan Yuan, Fan Chun Xiao, Sun Juan Juan. Internet of things: a review of concepts, architectures and key technologies [J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2010, 33(03): 1-9.
3. Nilakantha P.C. A general architecture for a real-time monitoring system based on the internet of things[J]. *Internet of Things*, 2021, 14.
4. An Agricultural Irrigation Management System Based on the Internet of Things With MQTT Protocol[J]. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2021, 1084 (1).
5. Zhou M. Research on some key issues of IoT applications [D]. *Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2014.
6. Zhang Zhen. Research on big data processing system of agricultural environment for Internet of Things[D]. *Zhejiang Ocean University*, 2022. DOI:10.27747/d.cnki.gzjhy.2022.000247.
7. Sivagami A., Hareeshvare U., Maheshwar S., Venkatachalapathy V.S.K. Automated Irrigation System for Greenhouse Monitoring [J]. *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, 2018, 99(2), pp.183-191.
8. Shi Yuanzhen. Multi-node gas monitoring based on OneNET and ZigBee [J]. *Internet of Things Technology*, 2023, 13(05):20-21+24. DOI: 10.16667/j.issn. 2095-1302.2023.05.005.
9. Dai Z Chong. Design and implementation of distributed monitoring system for greenhouse greenhouses [D]. *Inner Mongolia University*, 2021. DOI:10.27224/d.cnki.gnmdu.2021.000794.

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



DM75

Станки серии DM75 для бурения взрывных скважин от «Epiroc» - демонстрируют высокую производительность при бурении пород любой категории