

O'zbekiston

ISSN 2181-7383

KONCHILIK XABARNOMASI

1

№ 100
100 йил

ILMIY-TEKNIK VA ISHLAB CHIQRISH JURNALI

Yanvar-Mart 2025

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ГОРНЫЙ ВЕСТНИК

УЗБЕКИСТАНА



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 chiqra boshlagan. Bir yilda to'rt marta nashr etiladi.

Ta'sischiilar:

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

Moliyaviy qo'llab quvvatlovchilar:

«Navoiy KMK» AJ

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* – Rakishiev 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), Hamroev I.O. (O'zbekiston); *boyitish va metallurgiya* – Dementyev 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), Ro'ziev N.R. (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), Rahmatov A.B. (O'zbekiston); *iqtisod* – Vorobyov A.E. (Rossiya), Djulibekov N.K. (O'zbekiston)

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:

NDKTU

210100, Navoiy viloyati, Navoiy, G'alaba ko'chasi, 76V
Tel.: +998 (79) 223-23-32, +998 (79) 223-49-66

Nashr etishga 27.03.2025 y. imzolandi

A3 formatda. Adadi 100 nusxa

© O'zbekiston konchilik xabarnomasi 2025

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'zGEORANGMETLITI»

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), Хамроев И.О. (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), Рузиев Н.Р. (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), Джулибеков Н.К. (Узбекистан)

Журнал зарегистрирован в Узбекском Агентстве по печати и информации. Регистрационное свидетельство за № 0033 от 13 декабря 2006 г. ISSN 2181-7383 per. № 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:

НГГТУ

210100, Навайская область, Навои, ул. Галаба, 76В
Тел.: +998 (79) 223-23-32, +998 (79) 223-49-66

Подписано в печать 27.03.2025 г.

Формат А3. Тираж 100 экз.

© Горный вестник Узбекистана 2025

ISSN 2181-7383



4 780010 201760 >

MUNDARIJA / ОГЛАВЛЕНИЕ

KONCHILIK ISHLARI / ГОРНЫЕ РАБОТЫ

Муратов Н.Д., Халиков О.А. Расчёт определения границ зон влияния подземных разработок месторождения горючих сланцев «Сангрунтау» на газопроводную магистраль..... 4

Мислибаев И.Т., Мутавалиев А.Т., Туйчибоев З.И. Нагорные месторождения Азии..... 10

Лагутин К.Н., Насиров У.Ф., Заирова Ф.Ю., Эргашев Н.Х. Применение цифровых моделей карьера в автоматизированной системе проектирования буровзрывных работ «BlastMaker»..... 14

Ахмедов С.Т., Махмудов А.М., Мусурманов Э.Ш. Исследование и разработка моделей вентиляционных сетей золотрудных шахт Узбекистана..... 24

Умаров Ф.Я., Исаев Е.А., Заирова Ф.Ю., Мирзалиева М.М. Повышение эффективности взрывных работ путём оптимизации параметров забойки в скважинном заряде..... 28

Нутфуллоев Г.С., Катанов И.Б., Заиров Ш.Ш., Ризаев А.А. Параметры разрушения массива скважинным зарядом с забойкой переменного агрегатного состояния..... 33

GEOLOGIYA-QIDIRUV ISHLARI / ГЕОЛОГОРАЗВЕДочНЫЕ РАБОТЫ

Исоков М.У., Исаев М.С. Особенности оценки ресурсного потенциала техногенных отходов горно-металлургического производства (на примере хвостохранилища № 1 ГМЗ-2 АО «НГМК»)..... 37

BOYITISH VA METALLURGIYA / БОГАЩЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЯ

Санакулов К., Курбанов М.А., Рузиев Б.Т., Утаев С.М. Попутное извлечение молибдена из продуктов переработки упорных черносланцевых руд Кызылкумов..... 43

Воробьев А.Е., Перегудов В.В., Индюков Ю.В., Воробьев К.А. Возможности извлечения тонкодисперсного золота из крупногалечных конгломератов Баянкола (участок Конусный, Южный Казахстан)..... 47

Халикулов У.М. Анализ факторов, влияющих на динамику технологических процессов при применении горячеприкатыванного железа..... 56

ILMIY-LABORATORIYA IZLANISHLARI / НАУЧНО-ЛАБОРАТОРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Санакулов К., Шарипов С.Ш., Мухиддинов Б.Ф. Применение нейтрализующих реагентов для кислых стоков технологии бактериального окисления..... 60

Жабборов Э.Ю., Бадалов Ф.А., Нормуродов А.А. Изучение вещественного состава лежалых техногенных отходов Марджанбулакского золотоизвлекательного цеха..... 70

Расулов И.Б., Улугов Г.Д., Ашуров Х.Х., Салимжонов Х.А. Исследование влияния скорости охлаждения на размер зерна высокомарганцовистой стали 120Г17ХРЛ..... 75

Bobonazarov J.R., Karabekyan S.X. Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishda quyuvchi quduqdan ishlab chiqarish qudug'igacha filtratsion oqim..... 79

Ковалёв И.В., Ковалёв Д.И. Перспективы интеграции БПЛА и интеллектуальных технологий для устойчивого развития горнодобывающей отрасли..... 82

Xurramov N.I., Rahimova G.S. Aznek koni fosforitlaridan kislotali parchalashdan olingan kislotali ekstrakt va ammoniatsiyalangan eritma reologiyasini o'rganish..... 88

TEKNOLOGIYA MASHINOSTROENIYA / MASHINASOZLIK TEKNOLOGIYASI

Хайтов Ж.Х., Мардонов Б.Т., Очилов У.Ю., Саибов М.Ф. Исследование точности и жесткости металлорежущих станков с ЧПУ..... 91

AVTOMATLASHTIRISH VA ELEKTROENERGETIKA / АВТОМАТИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Narzullayev B.Sh., Boboqulov J.S. Sinxron generatorming qo'zg'atish cho'lg'amlarida hosil bo'ladigan qisqa tutashuvlarni aniqlash..... 96

Qarshibayev A.I., Narzullayev B.Sh. Elektr motor ishonchligini oshirishning mavjud usullari tahlili..... 102

Egamberdiyev I.P., Hamroyev N.N., Ashurov X.X., Eshmuradov N.S. Harorat va uglerod konsentratsiyasidagi dinamik o'zgarishlar asosida fazalarning kinetikasi va termodinamik modellashtirilishi (thermocalc dasturi yordamida).... 105

Хайруллин Р.Р., Кадиров Ё.Б. Компьютерное зрение в горнодобывающей промышленности..... 111

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

Холбоев Г.О., Бакоев Х.Ю. Экологические аспекты решения водных проблем путём повторного использования очищенных сточных вод на АО «НГМК»..... 116

IQTISODIYOT / ЭКОНОМИКА

Джулибеков Н.К., Костаев У.У. Обзор основных событий в золотодобывающей отрасли в 2024 году..... 121

BOSH MUHARRIR E'TIROZLARI / ЗАМЕЧАНИЯ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

REKLAMA / РЕКЛАМА

На обложке: Normet, Komatsu

Scientific, technical and industrial journal
Scientific, technical and industrial journal

The journal has been published since July 1997
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), Dzhulibekov N.K. (Navoi Mining and Metallurgical Combinat, Uzbekistan), Zairov Sh.Sh. (Almalyk branch the National University of Science and Technology "MISIS", Uzbekistan), Nurmurodov T.I. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Muhiddinov B.F. (Navoi State Mining and Technology University, Uzbekistan), Misliboev 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: Navoi State Mining and Technological University 210100, Navoi region, Galaba street, 76V

Tel.: +998 (79) 223-23-32, +998 (79) 223-49-66

CONTENTS

MINING WORKS

Lagutin K.N., Nasirov U.F., Zairova F.Yu., Ergashev N.H. Application of digital models of quarries in the automated design system for blasting works «BlastMaker»..... 14

Umarov F.Ya., Isaev E.A., Zairova F.Yu., Mirzalieva M.M. Increasing the effectiveness of blasting operations through optimization of bottom-hole parameters in well charges..... 28

Nutfulloiev G.S., Katanov I.B., Zairov Sh.Sh., Rizaev A.A. Parameters of mass destruction with a well charge with a variable aggregate state bottomhole..... 33

GEOLOGICAL EXPLORATION WORKS

Isaev M.S., Isokov M.U. Features of assessing the resource potential of man-made waste from mining and metallurgical production (based on the example of tailing domain No. 1 GMZ-2 of JSC «NMMC»)..... 37

ENRICHMENT AND METALLURGY

Sanakulov K., Kurbanov M.A., Ruziev B.T., Utaev S.M. By-process extraction of molybdenum from processing products of resistive black shale ores Of Kizilkum..... 43

Vorobyov A.E., Peregodov V.V., Indyukov Yu.V., Vorobyov K.A. The possibilities of extracting fine gold from large-pebble Bayankol conglomerates (Konusny uch-stock, South Kazakhstan)..... 47

SCIENTIFIC AND LABORATORY SURVEYS

Sanakulov K., Sharipov S.Sh., Mukhiddinov B.F. Application of neutralizing reagents for acidic wastewater in bacterial oxidation technology..... 60

AUTOMATION AND ELECTRIC POWER ENGINEERING

Khayrullin R.R., Kadirov Yo.B. Computer Vision in the Mining Industry... 111

LABOR PROTECTION, INDUSTRIAL SAFETY, AND ENVIRONMENTAL SCIENCE (ESG)

Kholboev G.O., Bakoev K.Yu. Environmental aspects of solving water issues through the reuse of treated wastewater AT JSC «NGMC»)..... 116

ECONOMY

Dzhulibekov N.K., Kostaev U.U. Review of key events in the gold mining industry in 2024..... 121

РАСЧЁТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОН ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТОК МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ «САНГРУНТАУ» НА ГАЗОПРОВОДНУЮ МАГИСТРАЛЬ



Муратов Н.Д.,
руководитель
Управления по добыче горючего сланца и угля
Дирекции Г и ГП ENTER Engineering Pte. Ltd,
д.т.н. (DSc)



Халиков О.А.,
базовый докторант
ГУ «ИМП»

Hozirgi vaqtda respublikaning Navoiy va Surxondaryo viloyatlarida yonuvchi slanetslarini qazib olish bo'yicha loyihalar ustida ish olib borilmoqda. Ushbu loyihalarni ishlab chiqish doirasida «Sangruntau» yonuvchi slanets konini yer osti usulida qazib olish nazarda tutilgan. Ushbu konning bir qismi magistral gaz quvurlarining muhofaza zonasini bilan kesishadi. Loyihada magistral gaz quvurlarining muhofaza zonalarini doirasida yer osti kon ishlarini amalga oshirishga yo'l qo'yilishiga alohida e'tibor qaratilmoqda. Maqolada, diametri 1072 mm bo'lgan quvur liniyalarining deformatsiyasidan ortiqcha bosim bilan 25 kg/sm² gacha bo'lgan quvurlar ostida yuzaga kelishi mumkin bo'lgan tog' jinslarining siljishlarining xaxirasini hisobga olgan holda, hisob-kitoblar, yer ostidan qazib olingan qatlamdan yer uyzasigacha bo'lgan eng yaqin masofada egrilik radiusining kritik qiymatini aniqlanganda o'rtacha 242 m tashkil qilishi emperik formulalar yordamida hisoblangan. Bu shuni anglatadiki, 60 m chuqurlikdan boshlab, gaz quvurlari guruhining chegara markazidan kengligi 242 m masofada lentasimon tselik (teginilmaydigan qatlam) qoldirish kerakligi keltirib o'tilgan.

Kalit so'zlar: quvurni himoya qilish zonasi, siljish muldasi, deformatsiya, egrilik radiusi, lenta orqa tomoni, xavfli ta'sir zonasi, tuproqning cho'kish, xavfsiz chuqurlik, qatlarning tarqalish burchaklari, lava, tozalash bloki.

V nastoyashее время в Наманганской и Сурхандарьинской областях республики ведутся работы по разработке проектов по добыче горючих сланцев. В рамках этих проектов предусмотрено подземное добывание горючих сланцев на месторождении «Сангунтау». Одна часть этого месторождения пересекается с охранной зоной магистральных газопроводов. Особое внимание уделяется вопросу возможности проведения подземных работ в пределах охранных зон магистральных газопроводов. В статье, при расчетах, учитывая возможные смещения горных пород с избыточным давлением до 25 кг/см², возникающих под трубопроводами диаметром 1072 мм, с учетом запаса смещений горных пород, рассчитан радиус кривизны критического значения в наиболее близком расстоянии от подземной выработки до поверхности земли, которое в среднем составляет 242 м, рассчитанное с помощью эмпирических формул. Это означает, что начиная с глубины 60 м, необходимо оставить полосу земли шириной 242 м от центра ограничительной линии группы газопроводов, которая должна быть неприкосновенной (не подвергаться воздействию).

Ключевые слова: охранный зона трубопровода, мульда сдвигения, деформация, радиус кривизны, ленточный целик, зона опасного влияния, оседание грунта, безопасная глубина, углы простирания пласта, лава, очистной блок.

На основании Указа Президента Республики Узбекистан ПК-436 от 2 декабря 2022 года «О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход Республики Узбекистан к «зеленой» экономике до 2030 года», реализация задач, определенных в стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 гг., в рамках стратегии перехода к «зеленой» экономике Республики Узбекистан, и в целях повышения эффективности реализуемых мер по обеспечению «зеленого» и инклюзивного экономического роста, использования возобновляемых источников энергии и дальнейшего расширения ресурсосбережения во всех секторах экономики, устойчивого и эффективного использования возобновляемых природных ресурсов, были даны поручения по увеличению производственных мощностей источников энергии на 15 ГВт и наращиванию их объема более чем до 30% от общего объема производства электроэнергии [1].

Настоящий расчет выполнен в условиях выемки горючего сланца под застроенными территориями газопроводов Туркменистан – Узбекистан – Китай в трёх линиях и Газли – Чимкент – одна линия с целью охраны их от влияния подземных горных разработок.

Расчёт объёмов оставляемых ленточных целиков в пределах охранной зоны магистрального газопровода для их безопасной эксплуатации при проведении подземных горных работ.

При проектировании следует руководствоваться «Положением о порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых», СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах» ГОСТ 17.5.3.04-86 (СТ СЭВ 5302-85) «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» (данный ГОСТ используются странами содружества (СНГ)) [2, 3].

Основные понятия, используемые в расчётах и общепринятые исходные данные:

Мульда сдвигения – зона сдвигения на поверхности от влияния отдельной очистной выработки. Радиус кривизны мульды сдвигения – величина, обратная кривизне мульды сдвигения, выраженная в метрах, $R_{кр} = 1/K_p$.

Деформации – отдельные точки в мульде сдвигения сдвигаются в рассматриваемый момент времени на разные величины, в результате чего возникают вертикальные (наклоны, кривизна,

скручивание) и горизонтальные (растяжения, сжатия, сдвиги) деформации, а также провалы и сосредоточенные деформации – трещины и уступы в вертикальной и сдвиги в горизонтальной плоскостях.

Зоны влияния подземных разработок – величины и характер деформаций, скорости роста деформаций и продолжительность процесса сдвижения горных пород и земной поверхности зависят от следующих основных факторов:

- а) мощности, угла падения и глубины разрабатываемых пластов;
- б) размеров очистных выработок, последовательности прохождения и взаимного положения границ очистных выработок в одном пласте и свите пластов;
- в) структурных особенностей массива горных пород (строения вмещающих пород, наличия разрывных и пликтивных нарушений, изменчивости залегания пород и физико-механических свойств пород;
- г) способа управления горным давлением;
- д) скорости подвигания забоя и скорости развития работ вкрест простирания.

е) в расчётах приведены таблицы, формулы и разъяснительные чертежи взятые из «Правил охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» ПБ 07-269-98 введены в действие с 1 октября 1998 г.

1. Для определения границ зоны влияния подземных разработок по данным наблюдений приняты следующие значения деформаций земной поверхности при расстояниях между реперами 15-20 м:

– наклоны $i = 0,5 \times 10^{-3}$; растяжение $e = 0,5 \times 10^{-3}$.

Границы зоны влияния подземных разработок определяются по граничным углам. Граничными углами называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на верти-

кальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения горизонтальными линиями и линиями, последовательно проведенными, мезозойских и кайнозойских отложениях и наносах, соединяющими границу очистной выработки с границей зоны влияния подземных разработок на земной поверхности.

Различают граничные углы:

а) в наносах (четвертичные и третичные горизонтально залегающие породы, не вмещающие разрабатываемые пласты) β_0 , которые принимаются одинаковыми во всех направлениях и учитываются при мощности наносов более 5 м;

б) в мезозой-кайнозойских отложениях на месторождениях палеозойского возраста – $d_{0m}; b_{0m}; g_{0m}$;

в) в коренных породах, к которым относятся породы того же возраста, что и разрабатываемые угольные пласты – d_0, b_0, g_0, b_{01} ; углами d_0 и d_{0m} определяются границы зоны влияния подземных разработок по простиранию пласта; углами $b_0; b_{0m}; g_0$ и g_{0m} – вкрест простирания пласта соответственно стороны падения и восстания; углами b_{01} определяется граница зоны влияния в лежачем боку пласта при углах падения α больше предельных значений α_n .

Различают граничные углы при выемке одиночных пластов и свит. При выемке свит пластов в зависимости от взаимного расположения границ выработок в разных пластах граничные углы могут быть как меньше, так и больше их значений от влияния отдельной выработки в одном пласте.

Для расчёта выделения зоны опасного влияния разработок Схематический геологический разрез по линии группы газопроводов Узбекистан – Китай (рис. 1).

2. Выделение зон опасного влияния. Для определения границ зоны опасного влияния приняты следующие значения деформаций земной поверхности: наклон $i = 4 \times 10^{-3}$; кривизна $K = 0,2 \times 10^{-3} 1/m$; растяжение $e = 2 \times 10^{-3}$ (при среднем интервале 15-20 м).

СХЕМАТИЧЕСКИЙ-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ ГРУППЫ ГАЗОПРОВОДОВ ТУРКМЕНИСТАН-УЗБЕКИСТАН-КИТАЙ (А-В)

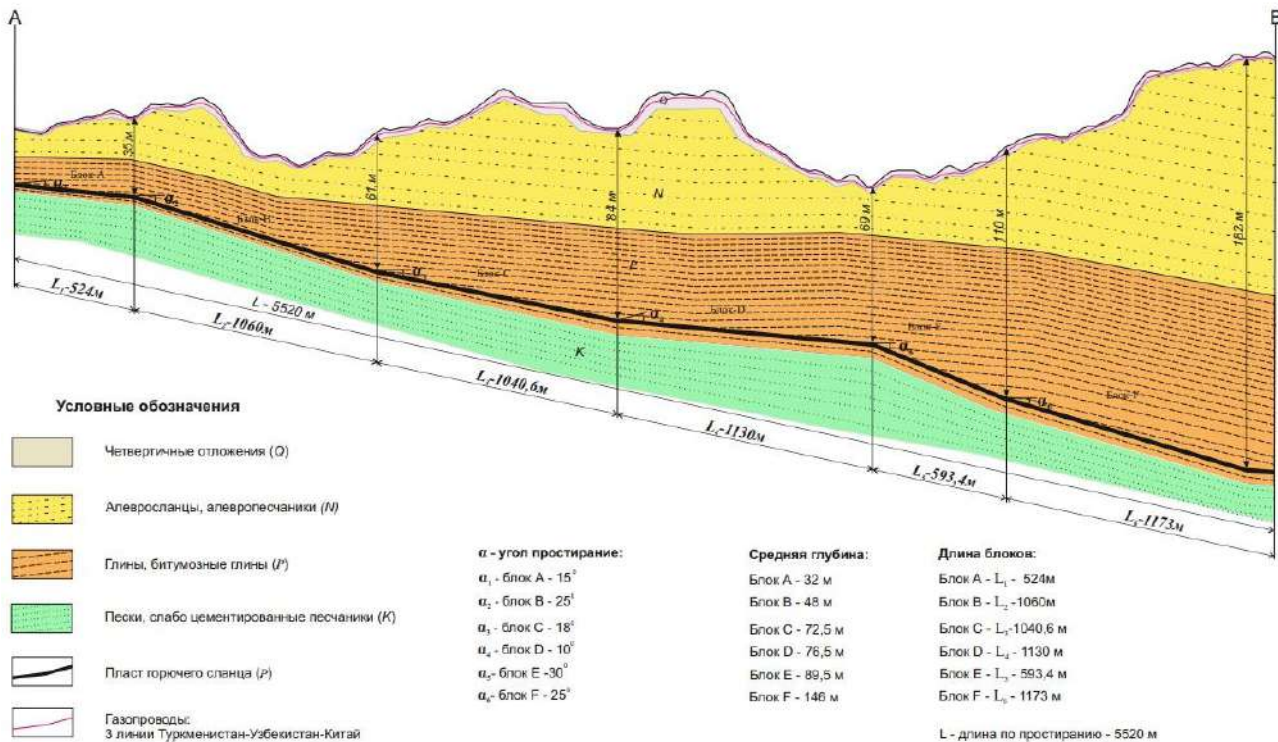


Рис. 1. Схематический геологический разрез по линии группы газопроводов Узбекистан – Китай

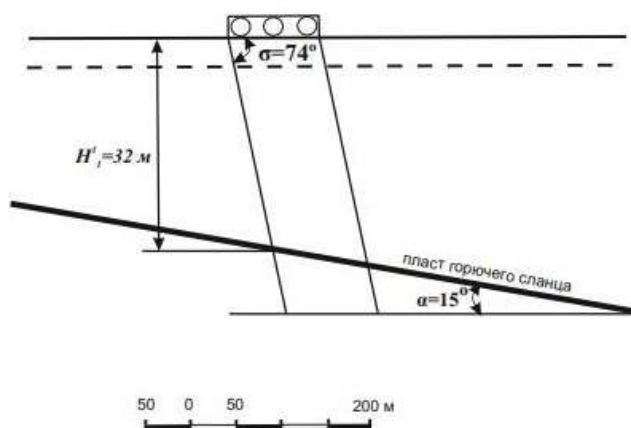


Рис. 2. Схема к прогнозу вероятных сдвижений и деформаций при залегании пласта под углом $\alpha \leq 15^\circ$

Учитывая возможные зоны влияния подземных разработок по простиранию пласта при углах падения α , вся территория под группы газопроводов разделены на 6 блоков.

Общая длина трассы газопроводов проходящий на территории месторождения «Сангунтау» составляет 5520 м. Производим расчёт зоны опасного влияния в блоке А.

3. Данные для расчёта Блока А,
 - средняя глубина залегания пласта ГС – 32 м,
 - угол падения – $\alpha_1 = 15^\circ$
 - длина участка прокладки газопроводов в 3 линиях – 524 м.

Границы зоны опасного влияния определяются углами сдвижения. Углами сдвижения называются внешние относительно выработанного пространства углы, образованные на вертикальных разрезах по главным сечениям мульды сдвижения при полной подработке горизонтальными линиями и линиями, последовательно мезозой-кайнозойских отложениях и наносах, соединяющими границу выработки с границей зоны опасного влияния на земной поверхности.

4. Прогноз вероятных сдвижений и деформаций при перспективном планировании горных работ [3-5].

В зоне влияния отработки пласта расположена линия 3-газопроводов (стальные, диаметром 1074 мм). Горючие сланцы имеют промышленное значение. В соответствии с рекомендациями п. 3.4 Прил. 1 (Правил...) для расчёта вероятных деформаций, необходимых для выбора защиты трубопроводов, прогноз деформаций производится по одному единственному влияющему пласту ГС мощностью $m = 2,1$ м и глубиной залегания пласта на Блоке 1-32 м, в точке пересечения с плоскостью, проведённой под углом $s = 85^\circ - 0,8\alpha = 74^\circ$ через охраняемый объект (трубопроводы).

Положение этих пластов показано на рис. 1. Угол падения пластов 15° . Вынимаемая мощность пластов (m) ГС – 2,1 м;

Календарные планы отработки пластов отсутствуют.

Исследовательская часть. Южная часть месторождения горючих сланцев «Сангунтау». Так как, размер расположенных 3-х линий трубопроводов в разрезе вкрест простирания пласта составляет около 70 м, то для прогноза вероятных сдвижений и деформаций в основании трубопроводов достаточно ограничиться двумя точками I и II.

Для расчёта деформаций в точке I на разрезе проводится из этой точки линия под углом $s = 85^\circ - 0,8\alpha = 74^\circ$ и глубины залегания по блоку А – 32 м. По формулам (1-9) прил. 1, правила ... вычисляются величины вероятных сдвижений и деформаций в точке I и в дальнейшем в точке II.

- 1) оседания

$$\eta_E = 0,9 \cos \alpha m = 0,9 \cdot 2,1 \cdot \cos 15^\circ = 0,9 \cdot 0,96 \cdot 2,1 = 1,814 \text{ м} \quad (8)$$
- 2) горизонтальные сдвижения вкрест простирания пласта (X_E),

$$X_b = \pm(0,3 + tg \alpha) \cos \alpha (m + C) = \pm (0,3 + tg 15^\circ) \cos 15^\circ (2,1 + 0) = (0,3 + 0,268) \cdot 0,96 \cdot 2,1 = 1,612 \quad (9)$$

где m – вынимаемая мощность с учётом технологических возможностей комбайна (пласт, с максимальным отношением m/H ;

H – глубина залегания пласта в точке пересечения с плоскостью, проведённой под углом $s = 85^\circ - 0,8\alpha$, через охраняемый объект (рис. 2);

C – коэффициент влияния пласта, зависящий от расстояний между проекциями границ выработанного пространства. Это значение меньше $\leq 1,0$ из-за единственного пласта горючего сланца, принимаем значение «0».

- 3) горизонтальные сдвижения по простиранию (X_E),

$$\xi_E = \pm 0,3 \cos \alpha \sqrt{m_1^2} = \pm 0,3 \cos 15^\circ \sqrt{2,1} = 0,3 \cdot 0,96 \cdot 2,1 = 0,60 \quad (10)$$

- 4) наклоны вкрест простирания пласта (i_E).

Примечание. Промежуточные значения коэффициентов определяются интерполяцией.

В тех случаях, когда значение D_i неизвестно, и при

$$\frac{D_i}{H_1} \geq 1$$

следует принимать $C_1 = 0,9$

$$i_E = \pm k_{E_i} \cos^2 \alpha \left(C_1 \frac{m_1}{H_1} \right) = 1,8 \cos^2 15^\circ \cdot 0,9 \left(\frac{2,1}{32} \right) = 0,099 \text{ мм} \quad (11)$$

где H_1 – глубина залегания с линией максимального влияния, проведённой на разрезе вкрест простирания из рассматриваемой точки площадки под углом $s = 85^\circ - 0,8\alpha$ к горизонту в сторону восстановления пласта (рис. 2) (пласт, имеющий максимальное отношение, m_1/H_1 ;

k_{E_i} – коэффициент, определяемый по табл. 1 (из Правил...), горючие сланцы по данным физико-химических свойств и гранулометрическим составом более подходят к характеристикам угля Восточного Донбасса. Поэтому величину принимаем 1,8

- 5) наклоны по простиранию (i_E) (табл. 1) из Правил...;

$$i_E = \pm k_{E_i} \cos^2 \alpha \sqrt{\left(\frac{m_1}{H_1} \right)^2} = 1,8 \cdot \left(\frac{1 + \cos 30^\circ}{2} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{2,1}{32} \right)^2} = 0,110 \text{ м} \quad (12)$$

Таблица 1

Значения коэффициента k_{E_i}

| Бассейн, месторождение | k_{E_i} |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Восточный Донбасс, Кузбасс, Челябинский, Интинское, Булашаское, месторождения Приморского края | 1,8 |

- 6) горизонтальные деформации вкрест простирания пласта (ϵ_E)

$$\epsilon_E = \pm k_{E_\epsilon} (\cos^2 \alpha + \sin 2\alpha) \cdot \left[\frac{m_1}{H_1} \right] = 0,9 \cdot \left(\frac{1 + \cos 30^\circ}{2} \right) + \sin 2 \cdot 15^\circ \cdot \left(\frac{2,1}{32} \right) = 0,085 \text{ м} \quad (13)$$

где k_{E_ϵ} коэффициент, определяемый по табл. 2 из Правил...;

Таблица 2

Значения коэффициента k_{E_ϵ}

| Бассейн, месторождение | k_{E_ϵ} |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Восточный Донбасс, Кузбасс, Челябинский, месторождения Приморского края | 0,9 |

- 7) горизонтальные деформации по простиранию (i_E) по табл. 3 из Правил...;

$$i_E = \pm k_{E_i} \cos^2 \alpha \sqrt{\left(\frac{m_1}{H_1} \right)^2} = 0,9 \cdot \left(\frac{1 + \cos 30^\circ}{2} \right) \cdot \sqrt{\left(\frac{2,1}{32} \right)^2} = 0,055 \text{ м} \quad (14)$$

8) радиус кривизны вкрест простирания пласта (R_E) по табл. 3 из Правил...;

$$R_E = \pm \frac{k_{E_3}}{\cos \alpha \left(k_{H_1} \frac{m_1}{H_1^2} \right)^2} = \frac{0,2}{\cos 15^\circ \left(1,0 \cdot \frac{2,1}{32^2} \right)} = 100,96 \text{ м.} \quad (15)$$

где k_{EI} – коэффициент, определяемый по табл. 3 из Правил...;

Таблица 3
Значения коэффициента k_{EI}

| Бассейн, месторождение | k_{EI} |
|---------------------------------------------------------|----------|
| Восточный Донбасс, Кузбасс, Подмосковский, Воркутинское | 0,2 |

k_{H1} – коэффициенты, определяемые по табл. 4 из Правил... в зависимости от глубины разработки соответственно первого, второго и третьего наиболее влияющих пластов;

Таблица 4
Значения коэффициента k_{EI}

| $H, \text{ м}$ | До 300 | 400 | 600 | 800 | 1000 и более |
|----------------|--------|-----|-----|-----|--------------|
| k_{H1} | 1,0 | 1,5 | 2,8 | 3,9 | 4,3 |

9) радиус кривизны по простиранию:

$$R_E = \pm \frac{k_{E_3}}{\cos \alpha \left(k_{H_1} \frac{m_1}{H_1^2} \right)} = \frac{0,2}{\cos 15^\circ \left(1,0 \cdot \frac{2,1}{32^2} \right)} = 100,96 \text{ м.} \quad (16)$$

Обоснование полученных результатов. Выше приведён расчёт для Блока А. Для расчёта деформаций для других В, С, Д, Е, F блоков в точках I и II на разрезе из этих точек проводится линия под углом $\alpha=85^\circ-0,8\alpha=74^\circ$.

Для них принимаются нижеследующие исходные данные: по блоку В глубина – 48 м, $\alpha=25^\circ$, длина – 1060 м; по блоку С глубина –

72,5 м, $\alpha=18^\circ$, длина – 1040,6 м; по блоку Д глубина – 76,5 м, $\alpha=10^\circ$, длина – 1130 м; по блоку Е глубина – 89,5 м, $\alpha=30^\circ$, длина – 593,4 м; по блоку F глубина – 146 м, $\alpha=25^\circ$, длина – 1173 м.

В нижеприведенной табл. 5 показаны их расчётные величины.

Ниже приводится расчёт безопасной глубины ведения работ. Безопасной глубиной разработки называется такая, ниже которой горные работы не вызывают в сооружениях деформаций более допустимых. Безопасная глубина откладывается от объекта по вертикали.

Ниже горизонта безопасной глубины горные работы могут проводиться без применения специальных горных и конструктивных мер охраны сооружений.

В тех случаях, когда расчётные деформации превышают допустимые значения для объектов, необходимость ремонтных и наладочных работ и другие специальные меры защиты объектов определяются проектом с технико-экономическим обоснованием подработки и согласовываются в установленном порядке. Безопасная глубина H_6 при разработке одиночных пластов определяется по формулам:

– от влияния подвижек пород:

$$H_6 = \frac{0,9m \sin^2 \alpha}{D_0}$$

где m – вынимаемая мощность пласта, после отработки породы не остается в выработанном пространстве.

$[D_0]$ – допустимые значения горизонтальных деформаций (показателей деформаций) или наклонов для объекта, величину берем из табл. 6 составляет 0,008 или 8×10^{-3}

Методика расчёта позволяет определять сдвиги и деформации земной поверхности при следующих условиях [4-7]:

а) кратность подработки H/m более 20 (H – средняя глубина разработки; m – вынимаемая, или эффективная мощность пласта) за пределами зоны провалов и крупных трещин;

б) угол падения пласта в «Сангунтау» – от 0 до 30° ;

в) управление кровлей – полное и частичное само обрушение.

Значения коэффициента k_{EI}

Таблица 5

| Допустимые показатели деформации земной поверхности для наружных трубопроводов | Показатели по нормативным документам ГОСТ 17.5.3.04-86 (СТ СЭВ 5302-85) | Расчётные показатели | Допуск «+», принят меры «-» | Вид предохранительного и защитного сооружения |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Оседание (h_E) | 0 | 1,8-1,7 | «-» | 1. Оставление ленточного целика по направлению трубопроводов протяженностью 5520 метров (под тремя линиями газопроводов Узбекистан – Китай) 2. При подземной разработке месторождения предусматривается проходка наклонных стволов (6°) сечением в свиту 25 м ² с возведением бетонной крепи протяженностью 200 м перпендикулярно к направлению трубопровода |
| Горизонтальные сдвиги вкрест простирания пласта (α_E), | 0,008 или 8×10^{-3} | 1,6-2,05 | «-» | |
| Горизонтальные сдвиги по простиранию (ξ_E), | 0,0025 или $2,5 \times 10^{-3}$ | 0,6 – 0,54 | «-» | |
| Наклоны вкрест простирания пласта (i_E) | | 0,099-0,022 | «-» | |
| Наклоны по простиранию (i_E) | | 0,110-0,021 | «-» | |
| Горизонтальные деформации вкрест простирания пласта (e_E) | | 0,085-0,020 | «-» | |
| Горизонтальные деформации по простиранию (i_E) | | 0,011-0,055 | «-» | |
| Радиус кривизны вкрест простирания пласта (R_E) | 0 | 100,96 | «-» | |
| Радиус кривизны по простиранию (R_E) | 0 | 100,96 | «-» | |

Таблица 6

Расчет определения границ зон влияния подземных разработок месторождения горючих сланцев «Сангунтау» под газопроводной магистралью

| Оседания $\eta_E=0,9 \text{ cкс см}$ | Параметры и формулы | | | | | | Радиус кривизны по простиранию (R_E) $R_E = \pm \frac{k_E}{\cos \alpha} \left(k_H \frac{m_1}{H_1^2} \right)$ |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Горизонтальные сдвигания в крест простирания пласта (d), $X_s = \pm(0,3 + \lg \sigma) \cos \alpha (m + C)$ | Горизонтальные сдвигания по простиранию (ξ_E), $\xi_E = \pm 0,3 \cos \alpha \sqrt{\frac{m_1}{H_1}}$ | Наклоны вкрест простирания пласта (i_E), $i_E = \pm k_E \cos^2 \alpha \left(C + \frac{m_1}{H_1} \right)$ | Наклоны по простиранию (i_E), $i_E = \pm k_E \cos^2 \alpha \sqrt{\frac{m_1}{H_1}}$ | Горизонтальные деформации вкрест простирания пласта (ε_E), $\varepsilon_E = \pm k_E (\cos^2 \alpha + \sin 2\alpha) \left[\frac{m_1}{H_1} \right]$ | Горизонтальные деформации по простиранию (i_E), $i_E = \pm k_E \cos^2 \alpha \sqrt{\frac{m_1}{H_1}}$ | |
| 1,814 | 1,612 | 0,6 | 0,099 | 0,110 | 0,085 | 0,055 | 100,96 |
| Блок А, глубина средняя – H=32 м, длина L ₁ =524 м, α = 15° | | | | | | | |
| 1,701 | 2,052 | 0,57 | 0,066 | 0,065 | 0,062 | 0,032 | 242,11 |
| Блок В, глубина средняя – H=48 м, длина L ₂ =1060 м, α = 25° | | | | | | | |
| 1,796 | 1,767 | 0,60 | 0,044 | 0,047 | 0,039 | 0,024 | 519,12 |
| Блок С, глубина средняя – H=72 м, длина L ₃ =1040 м, α = 18° | | | | | | | |
| 1,852 | 1,381 | 0,62 | 0,042 | 0,048 | 0,033 | 0,024 | 558,58 |
| Блок D, глубина средняя – H=76 м, длина L ₄ =524 м, α = 10° | | | | | | | |
| 1,625 | 2,244 | 0,54 | 0,036 | 0,032 | 0,034 | 0,016 | 871,08 |
| Блок E, глубина средняя – H=89 м, длина L ₅ =524 м, α = 30° | | | | | | | |
| 1,701 | 2,05 | 0,57 | 0,022 | 0,021 | 0,020 | 0,011 | 2239,96 |
| Блок F, глубина средняя – H=146 м, длина L ₆ =524 м, α = 25° | | | | | | | |

Применение: для расчета Блока А были использованы формулы 1-9 Прил. 1 «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» вычисляются величины вероятных сдвижений и деформаций в точке I. См. рис. 2. Схема к прогнозу вероятных сдвижений и деформаций при залегании пласта под углом α ≤ 15°, аналогичные расчеты сделаны для блоков В, С, D, E, F, которые отражены в таблице.

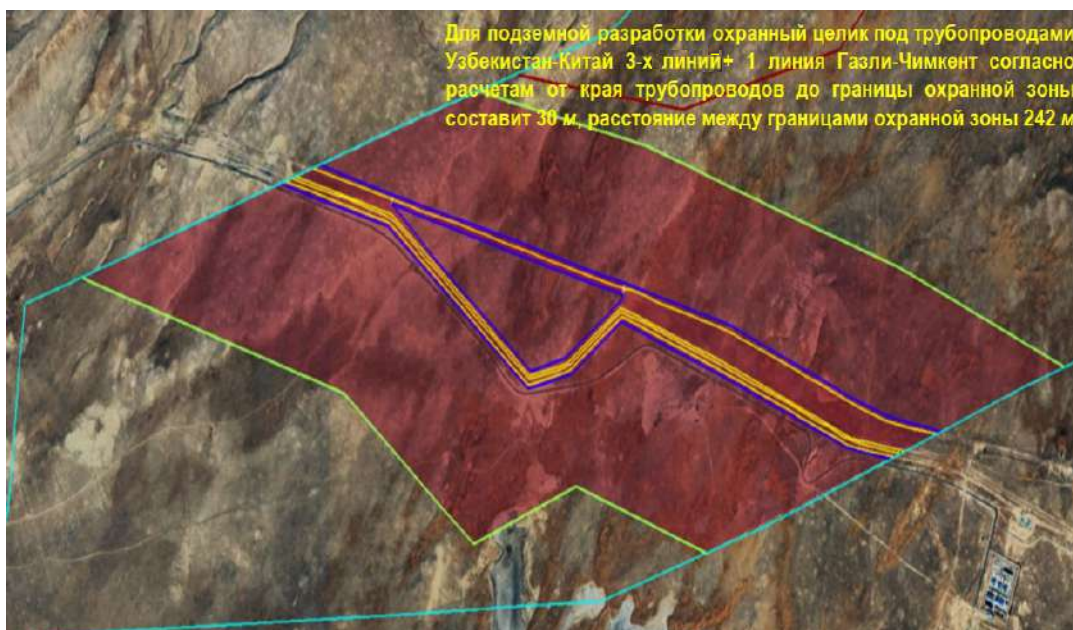


Рис. 3. Схема охранной зоны магистральных газопроводов Узбекистан – Китай и Газли – Чимкент

$$H_0 = \frac{0,9 \cdot 2,1 \cdot \sin^2 30^\circ}{8 \cdot 10^{-3}} = 59,06 \text{ м}$$

Выводы:

Аналогично рассчитывались вероятные величины сдвижений и деформаций в точке II. Для выбора мер защиты использовались наибольшие значения деформаций, полученные для обеих точек с учетом коэффициентов перегрузки.

В законе РУз «Об охране недр» оговорено о недопустимости потерь и разубоживании ниже нормативных показателей. В пределах охранной зоны 4-х магистральных газопроводов залегают 1,978 млн м³ или 3,126 млн. т промышленных запасов горючего сланца. Этот объем запасов рассматривается как оптимальная потеря.

«Согласно расчетам, видом предохранительного и защитного сооружения является оставление ленточной целика по ходу трубопроводов протяженностью 5520 м под собственными линиями газопроводов, что составляет 2,3% от общего объема месторождения «Сангрунтау». При подземной разработке месторождения предусматривается проходка наклонных стволов (60) сечением в свету

25 м² с возведением бетонной крепи протяженностью 200 м перпендикулярно к направлению трубопровода в пределах охранной зоны.

Безопасная глубина для ведения подземных горных работ по расчетам составляет 59,06 м.

Целью зашиты от деформаций линий трубопроводов диаметром 1072 мм работающих с избыточным давлением до 25 кг/см² с учетом запаса возможных сдвигов пород на поверхности под трубопроводами, расчетами определено критическое значение радиуса кривизны на самом близком расстоянии от отработываемого пласта до поверхности, которое составляет 100,9 м (см. на расчеты).

Это означает, что начиная с глубины 60 м необходимо оставление ленточных целиков шириной более 100 м от центра группы газопроводов. Так как, отработка горючих сланцев до глубины 60 м предусматривается открытым способом, а подземная добыча начинается с глубины 60 и более метров, 242 м шириной и протяженностью 5520 м, ленточный целик будет надежно предохранять магистраль газопровода Узбекистан – Китай.

Библиографический список:

1. ПП-57 от 16 февраля 2023 г. «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году».
2. «Положение о порядке выдачи разрешений на застройку площадей залегания полезных ископаемых». СНиП 2.01.09-91 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах».
3. КМК 2.05.06-97 Магистральные трубопроводы. Госархитекстрой РУз. – Ташкент, 1998. – 154 с.
4. «Инструкции о порядке согласования подработки железных дорог на угольных и сланцевых месторождениях России», утвержденной 18.02.1994 г.
5. ГОСТ 17.5.3.04-86 (СТ СЭВ 5302-85) «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель».
6. «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» согласованы с Комитетом Роскомнедра, Министерством путей сообщения РФ, Роскомвод, Рослесхозом, Комитетом по земельным ресурсам и землеустройству РФ.
7. «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» ПБ 07-269-98. Введены в действие с 1 октября 1998 г.

НАГОРНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЗИИ



Мислибаев И.Т.,
декан
горного факультета НГГТУ,
д.т.н., профессор



Мутавалиев А.Т.,
заведующий кафедрой
«Горное дело» Горно-металлургического
института Таджикистана,
к.т.н., доцент



Туйчибоев З.И.,
ассистент кафедры
«Техника и технология добычи,
переработки руд редких и
радиоактивных металлов» НГГТУ

Maqolada relyefning toifalari va shakllariga e'tibor qaratilgan, Osiyoda, ayniqsa, Markaziy Osiyoda foydali qazilmalarning turlari va joylashishi. Tog'li konlarning qiyin konchilik, geologik va iqlim sharoitlari. Tog'li konlarni o'zlashtirish xususiyatlari va istiqbollari. Ma'lumki, eng qiyin texnologik vaziyat ochiq usulda qazib olish jarayonida yuzaga keladi, agarda karyer maydoni butunlay tik qiyalikda joylashgan do'lsa. Topografik va tog'-geologik sharoitlarning noqulay kombinatsiyasi bo'lgan konlarni ochiq usulda qazib olishda, loyihalashda ham, ishlab chiqarish amaliyotida ham haligacha hal etilmagan osiluvchi qoplama jinslari hajmi muammosi mavjud. Ishlab chiqarish va loyihalash tashkilotlarida tog' jinslari hajmini belgilangan sharoitlarda tartibga solishning ilmiy asoslangan usullari mavjud emas.

Kalit so'zlar: relyef, tog', tog' tizmasi, tog' bag'ri, baland tog', tepalik, plato, qiyalik, jarlik, jar, vodiy, dara, cho'qqilar, foydali qazilmalar, tog' konlari, ruda tanasi, karyer.

V статье основное внимание уделяется категориям и формам рельефа, особенно в Центральной Азии, а именно разнообразию полезных ископаемых расположенных на территории Азии. Сложные горно-геологические и климатические условия нагорных месторождений. Особенности и перспективы разработки месторождений нагорного типа. Как известно, наиболее сложная технологическая ситуация возникает при открытой разработке месторождений, где карьерные поля целиком располагаются на крутом склоне. При открытой разработке месторождений с неблагоприятным сочетанием топографических и горно-геологических условий существует проблема «нависающих» объемов вскрыши, не решенная до сих пор ни в проектной, ни в производственной практике. Производство и проектные организации не располагают научно обоснованными способами регулирования объемов горной массы в указанных условиях.

Ключевые слова: рельеф, гора, горный хребет, горный хряж, нагорье, холм, плоскогорье, впадина, овраг, яр, долина, ущелье, вершины, полезные ископаемые, нагорные месторождения, рудное тело, карьер.

Высота неровностей на суше оценивается абсолютной и относительной величинами. Абсолютная высота – высота местности (или отдельных её элементов) над уровнем моря.

Выделяют три категории рельефа: равнинный (колебание высот поверхности до 10 м), холмистый (колебание высот 10-100 м) и горный (колебание высот более 100 м). По крутизне различают склоны: очень пологий (0-1°), среднепологий (1-2°), пологопокатый (2-6°), покатый (6-8°), крутопокатый (8-10°), умеренно крутой (10-15°), среднекрутой (15-30°), крутой (30-45°), очень крутой (45-60°), отвесной (более 60°) [1]. Первые пять видов (до 10°) относят к пологим склонам.

Рельеф имеет положительные (выпуклые по отношению к плоскости горизонта) и отрицательные (вогнутые) формы. Положительными формами рельефа являются:

гора – обособленная возвышенность относительной высотой 200 м и более и крутыми склонами;

горный хребет – вытянутая возвышенность с относительной высотой 200 м и более, с крутыми склонами, скалистыми обрывами на гребнях и склонах;

горный хряж – невысокий горный хребет с пологими склонами и с плоской или слабо выпуклой вершинной поверхностью;

нагорье – сплошная система горных хребтов и вершин, значительно возвышающихся над уровнем моря;

холм – обособленная куполообразная или коническая возвышенность с пологими склонами;

курган – искусственный холм;

сопка – небольшая гора, холм, а также небольшой вулкан;

плоскогорье – приподнятая обширная нагорная равнина с плоскими вершинными поверхностями, с хорошо выраженными склонами;

плато – приподнятая равнина, ограниченная хорошо выраженными нередко обрывистыми склонами;

гряда – узкая вытянутая возвышенность с крутизной склонов более 20°, с плоскими или округлыми вершинами;

увал – вытянутая возвышенность значительной длины с пологими явными или выпуклыми вершинными поверхностями.

Отрицательные формы рельефа:

впадина – понижение небольшой глубины с пологими склонами;

котловина – понижение, имеющее значительную глубину и крутые склоны;

овраг – вытянутое углубление с крутыми и местами отвесными обычно обнаженными склонами, конфигурация, глубина и длина оврагов самые различные;

яр – глубокий заросший овраг;

лог – широкий и длинный овраг;

промоина – углубление небольшой глубины, ширины и длины, обычно с крутыми обнаженными склонами и резко выраженной бровкой, в верхнем конце промоина замыкается;

ложбина стока – вытянутое углубление с пологими склонами, покрытыми растительностью, и неясно выраженной бровкой, ложбина имеет небольшую глубину (несколько метров) и малую протяженность (до 200-500 м);

балка – вытянутое углубление с пологими задернованными или покрытыми растительностью склонами, открытое в сторону общего

уклона местности, бровка склона не всегда выражена отчетливо, длина может достигать нескольких километров, балка является конечной стадией развития оврага;

долина – вытянутое незамкнутое понижение с уклоном в одну сторону, часто с обнаженными склонами различной крутизны, нередко осложненными террасами, оползнями и промоинами, лощина – неизменная долина с пологими склонами;

каньон – глубокая речная долина с очень крутыми склонами и узким дном, обычно полностью занятый руслом реки;

ущелье – узкая и глубокая с обрывистыми склонами долины, расселина в горах [1].

Высочайшие вершины мира находятся в Азии, в центральной её части. Здесь выделяются горные системы: Тянь-Шань, Памир, Гималаи, Гиндукуш, Каракорум, Тибет, Куньлунь, Алтай (рис. 1). Наряду с СНГ они захватывают большую часть территории Афганистана, Пакистана, Монголии, Китая, Непала, Бутана, севера Индии и Мьянмы. Кроме отмеченных, в Азии есть и другие возвышенности, менее значительные. Высокими (свыше 4000-5000 м) горами

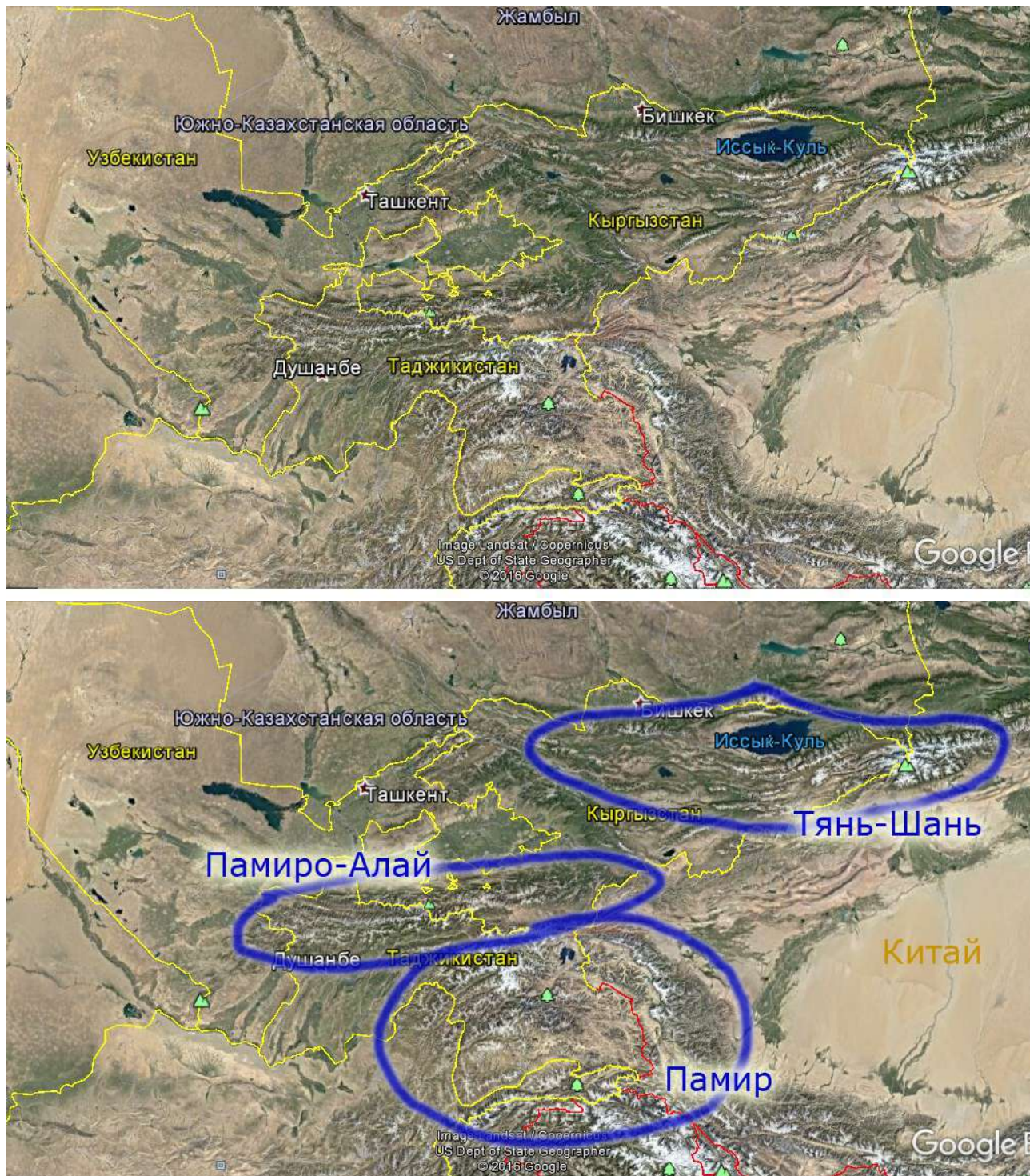


Рис. 1. Горные районы Центральной Азии

покрыта территория Ирана и Турции. Отдельные горные хребты и вершины высотой до 3000-4000 м имеются во многих странах континентальной (Йемен, Саудовская Аравия, Оман, Мьянма, Вьетнам, Лаос, КНДР) и островной (Индонезия, Филиппины, Малайзия, Япония, Шри-Ланка) частях Азии. Некоторые страны расположены в зоне среднегорья (1000-2000 м): Ливан, Сирия, Израиль, Иордания, Кипр, Южная Корея. Разнообразным рельефом характеризуется территория Индии, на севере страны возвышаются вершины Гималаи, полуостров Индостан почти целиком представлен плоскогорьем, окаймленными горами Западные и Восточные Гааты (высота 1600-2700 м), бассейны рек Ганг и Инд образуют обширные равнины. Преимущественно равнинный характер имеет территории Саудовской Аравии, Кувейта, Ирака, Камбоджи, Таиланда. Пониженный рельеф присущ только Бангладеш и небольшим государствам Персидского залива (ОАЭ, Катар, Бахрейн).

Разнообразные полезные ископаемые добываются в горах Центральной Азии, медные, полиметаллические и золотосодержащие руды, редкоземельные элементы, уголь, сера, мрамор, гранит и др.

Ускоренно развивается горная промышленность в Киргизии. Наиболее развитой ее отраслью является угольная. В республике открытым способом разрабатывают несколько нагорных угольных месторождений: Кызыл-Кийское, Нарынское, Агулак и др. Ведётся отработка карьера Кара-Киче, находящегося в отдаленной местности, на высоте 2800-3000 м. Месторождение расположено на крутом склоне, в узкой долине горной реки. Основной угольный пласт мощностью 60-80 м с углом падения 60-70° выходит под наносы [2].

Крупные нагорные месторождения имеются в Узбекистане, в его южных районах, прилегающих к отрогам Чаткальского, Туркестанского и Зеравшанского хребтов. Здесь расположены Кальмакырское и Сары-Чекинское меднорудные месторождения, Ангренское угольное, ряд полиметаллических и золоторудных месторождений Кызылкумского региона Барханный, Дайковий, Пистали и многочисленные месторождения мрамора, гранита и других строительных горных пород.

Большие перспективы расширения открытой угледобычи имеет Таджикистан. На севере республики разрабатывается одно из крупнейших месторождений антрацита Назар-Айлок. Оно расположено на вершине горного плато на высоте 3700 м. Запасы полезного ископаемого около 200 млн т. Антрацит отличается исключительно высоким качеством, содержание золы не превышает 5%. Богатства недр Таджикистана еще ждут своего освоения.

В Азии находятся высочайшие вершины мира, обширные горные системы слагают центральную часть континента. К последним относятся Тянь-Шань, Памир, Гималаи, Гиндукуш, Каракорум, Тибет, Куньлунь, Алтай, Саяны. Они захватывают территорию многих стран Афганистан, Пакистан, Монголия, Китай, Непал, Бутан, север Индии и Мьянмы (Бирмы). Почти все месторождения полез-

ных ископаемых Афганистана расположены в гористой местности на высоте 1500-3000 м. Ниже даётся краткая характеристика месторождений, разрабатываемых или намеченных к разработке открытым способом [3, 4].

В число крупнейших месторождений Азии входит меднорудное месторождение Аймак. В месторождение входят несколько крутопадающих (40-85°) залежей. Главная залежь представляет собой пластообразное рудное тело размерами в плане 1850x1200 м и средней мощностью 30-80 м (максимальная — до 210 м), три другие залежи имеют меньшие размеры и мощность (рис. 2). Кроме того в карьерном плато насчитывается 28 рудных линз с размерами по простиранию до 350 м и мощностью до 60 м. Общие запасы руды составляют около 150 млн. т с содержанием меди 1-3%.

В Афганистане известен и ряд других менее значительных месторождений — объектов открытой разработки, железорудное Хеш, известняковое Джебель-Сарадж, бутового камня Хайр-Хана, баритовое Сангелян, магнезитовое Мамахель и пр. [3].

В Пакистане имеется крупное месторождение медных руд Саиндак, расположенное в западном выступе между Ираном (18 км до границы) и Афганистаном (40 км). Вблизи месторождения проходит железная дорога Карачи – Кветта – Захедан (город в Иране).

Район месторождения — пустынное плато с высотой около 1000 м над уровнем моря, окруженное горными хребтами высотой до 2300 м. Температура летом, как правило, превышает +35°С, дожди редки, растительность бедная. Территорию населяют редкие кочевые племена.

Интенсивно осваиваются нагорные месторождения полезных ископаемых в Монголии. Самое значительное среди них месторождение медно-молибденовых руд Эрдэнэт, расположенное в восточной части пустыни Гоби. В отрогах Монгольского Алтая и хребта Хангай (запад и северо-запад страны) на высоте 2000-2500 м и разрабатываются угольные месторождения Хошот, Хартарвагатай, Могойнол и др. В Непале подлежит освоению месторождение андезита Харидхунга, расположенное в отрогах Гималаев на высоте 2600 м [5]. Много нагорных месторождений открыты в Китае, часть из них разрабатываются железорудные Вэй Тоушань, Инь Таоюань, полиметаллических руд Гуан Чжалин, угольное Та Фын. Последнее расположено на юге Нинся-Хуэйского автономного района (северный Китай).

Разнообразна природа Индии на севере страны возвышаются вершины Гималай, полуостров Индостан почти целиком сложен плоскогорьем, окруженным горами Западные и Восточные Гааты (высота 1600-2700 м); бассейны рек Ганг и Инд образуют обширные равнины. В Индии пока известно мало нагорных месторождений, но районы, где они расположены, характеризуются при небольшой абсолютной высоте сильно пересеченным рельефом. Представляют интерес некоторые технические решения, принятые в этих условиях.

В юго-восточной части Ирана разрабатывается крупное месторождение медных руд Сар – Чешме, расположенное на горном плато с абсолютной высотой до 3000 м. Рудное тело крутопадающий штокверк. Подтвержденные запасы сульфидной руды составляют 430 млн т со средним содержанием меди 1,13% (бортовое содержание 0,4%). Помимо меди в руде содержатся молибден (0,03%), железо, свинец, цинк, золото и серебро. Предусмотрено извлечение молибдена и драгоценных металлов. Запасы оценены не на полную глубину рудного тела и продолжают уточняться. Средний коэффициент вскрытия в контурах карьера 0,56 м/м.

К другим нагорным месторождениям страны относятся меднорудные Санган и Дамай – Джала, полиметаллические Сиахкук, Кушк, Озбак – Кух и пр. [7].

Отдельные горные хребты и возвышенности высотой до 3000-4000 м имеются во многих странах как континентальной, так и островной частей Азии (Йемен, Саудовская Аравия, Оман, Мьянма, Вьетнам, Лаос, Северная Корея, Япония, Филиппины, Малайзия,

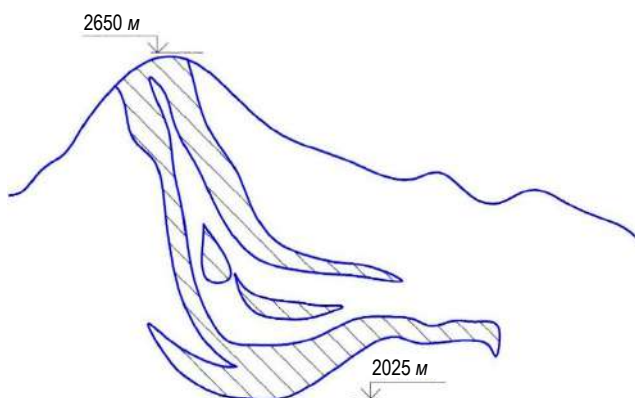


Рис. 2. Разрез по месторождению Аймак

Индонезия, Шри-Ланка). Некоторые страны расположены в зоне среднегорья (1000-2000 м): Ливан, Сирия, Израиль, Иордания, Кипр, Южная Корея. Остальные государства характеризуются равнинным типом рельефа.

Развитой горной промышленностью обладает Алжир. Месторождения полезных ископаемых расположены здесь, в основном, в трех районах. На севере, в горах и предгорьях Атласа (высота 1000-2300 м) находятся месторождения железных и полиметаллических руд, фосфатов, барита, строительных горных пород и др. Второй район – это горные плато западной части Сахары, где открыты крупные месторождения железных руд мирового масштаба (Гара-Джеби-лет, Мешери-Абдельазиз). И наконец, на юге страны, в горном массиве Ахаггар (высота 2000-3000 м) имеются месторождения цветных и драгоценных металлов, радиоактивных руд, алмазов и других полезных ископаемых [5, 6].

Как известно, наиболее сложная технологическая ситуация возникает при открытой разработке месторождений, где карьерные поля целиком располагаются на крутом склоне. Между тем все большее число таких месторождений намечается разрабатывать открытым способом. Поэтому представляется полезным проанализировать опыт проектирования и производства на уже действующих предприятиях, разрабатывающих месторождения рассматриваемого типа.

В производственной практике делались попытки уменьшения объемов «нависающей вскрыши» путём взрыва на выброс эти попытки носили локальный характер и выявили весьма узкую область применения этого способа регулирования объёмов. Её ограничивают как технические возможности способа, так и существенные его недостатки: сейсмический и селеопасный эффект, потери руды в мелких рудных телах, попадающих во взрывааемый массив, резкое снижение производительности бурового и выемочно-погрузочного оборудования при ведении работ по уборке оставшегося навала крупновзорванных вскрывших пород и при последующей разработке сильно нарушенного взрывом массива [7-9].

Подводя итог сказанному, можно констатировать, что при открытой разработке месторождений с неблагоприятным сочетанием топографических и горно-геологических условий существует проблема «нависающих» объёмов вскрыши, не решенная до сих пор ни в проектной, ни в производственной практике. Производство и проектные организации не располагают научно обоснованными способами регулирования объёмов горной массы в указанных условиях.

Многообещающие перспективы открываются при переходе на поэтапную отработку карьерного поля, однако принятые на произ-

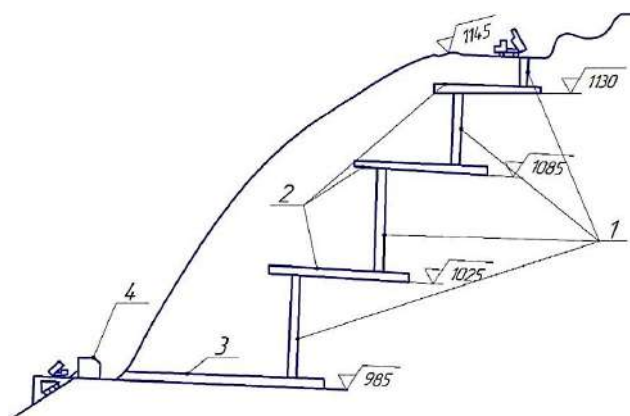


Рис. 3. Схема транспортирования руды с высотой участка: 1 – рудоспуски; 2 – штреки; 3 – откаточный штольни; 4 – скиповая установка

водстве решения носили преимущественно эмпирический характер и не раскрыли всех возможностей направления, связанного с изменением геометрии рабочей зоны карьера. Требуется более детальное исследование этого направления применительно к изучаемому типу месторождений, т.к. имеющиеся пока рекомендации не гарантируют интенсивную стабильную добычу полезного ископаемого.

Анализ изложенного выше материала позволил выявить следующие основные тенденции в области открытой разработки нагорных месторождений Азии:

В качестве элемента ресурсосберегающей технологии широкое применение находит гравитационный транспорт. Полезное использование сил гравитации достигается при перепуске горной массы по крутонаклонным выработкам, склону горы и крутому борту карьера, а также при взрыве на сброс. На стационарных транспортных установках, работающих под уклон, практикуется рекуперация энергии в сеть.

Отдаленность нагорных карьеров от баз обслуживания на равнине вынуждает применять особые меры по поддержанию жизнедеятельности предприятия (создание собственных установок по выработке электроэнергии и применение оборудования с автономными источниками питания, широкое использование воздушного транспорта в период строительства предприятия, создание дополнительного резерва запчастей, материалов и топлива, устройство буферных складов сырья и готовой продукции, применение модульного принципа монтажа оборудования и сооружений, использование вахтенного метода организации труда и т.д.).

Библиографический список:

1. Справочник по инженерной геологии. – М.: Недра, 2012. – С. 22-24.
2. Ильин С.А. Технология открытой разработки нагорных месторождений. Часть 1. Учебное пособие. – М.: МГИ, 1991. – 58 с.
3. Ялтанец И.М., Касими М.Р. Некоторые вопросы открытых горных работ в Республике Афганистан // В сб. «Разработка и внедрение новых технологий освоение ресурсов твердых полезных ископаемых открытым способом». – М.: МГИ, 1996. – С. 60-69.
4. Кулигин В.И., Камбез Г.Д. Разработка высокими уступами месторождений нагорного типа в Республике Афганистан // В сб. «Техника и технология открытых горных работ при комплексном освоении минеральных ресурсов». – М.: МГИ, 2009. – С. 97-104.
5. Mine and Quarry. 2009. – No. 3, pp. 9-10.
6. Ильин С.А., Степанов В.А., Мерabet Д. Транспортировка полезных ископаемых на карьерах Алжира // Горный журнал. – Москва, 1992. – № 5. – С. 55-59.
7. Адушкин В.В., Перник Л.М. О массовых взрывах на сброс для вскрытия Тырнаузского месторождения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск, 2006. – № 4. – С. 36-39.
8. Дукчаев М.М., Васильев Г.А. Вскрытие нагорных месторождений с помощью массовых взрывов «на сброс» // Известия вузов. Горный журнал. – 1999. – № 7. – С. 53-62.
9. Махин П.А., Седловский Н.Ф., Мухин Н.Е. Новый метод вскрытия месторождений нагорного типа взрывами на выброс Минерально-сырьевая база цветных и редких металлов Северного Кавказа. – Новочеркасск, 2013. – С. 92-94.
10. Мислибаев И.Т., Самадова Г.М. Разработка графоаналитической модели поперечного профиля месторождения на косогоре // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2022. – № 4 (91). – С. 39-43.
11. Samadova G.M., Tuychiboev Z.I. Theory of Cascade Mining of Open PIT Fields // International Journal on Integrated Education. Vol. 6, Issue 1. Jan - 2023, pp. 135-139.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ КАРЬЕРА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ «BLASTMAKER»



Лагутин К.Н.,
региональный инженер
наземного оборудования ИП ООО
«Epiroc Mining and Construction Technique»



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



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



Эргашев Н.Х.,
заместитель начальника
ПТО рудника «Ауминзо-Амантой»
Северного РУ АО «НГМК»

Maqolada «BlastMaker» burg'ilash-portlatish ishlarini avtomatlashtirilgan loyihalash uchun mo'ljallangan dasturiy majmua tahlil qilingan. Tizim tuzilishi, jumladan, konning raqamli modeli, kariyer sathining modeli, burg'ilash-portlatish parametrlarini hisoblash algoritmlari va detonatsiya jarayonlarini modellashtirish modullari tasvirlangan. Portlatish skvajinalar tarmog'ini optimallashtirish, portlash to'loqining tarqalishini modellashtirish va portlashdan keyingi tog' jinslarining granulometrik tarkibini bashorat qilish uchun qo'llaniladigan matematik bog'liqliklar keltirilgan.

Tizimning funksional imkoniyatlari, jumladan, burg'ilash sxemalarini avtomatlashtirilgan loyihalash, portlatish skvajinalarining kommutatsiyasi va qisqa-kechiktirilgan portlatish parametrlarini tanlash imkoniyatlari yoritilgan.

«Navoiy kon-metallurgiya kombinati» AJ konlarida dasturiy majmuaning qo'llanilishi misollari ko'rib chiqilib, ommaviy portlatishlarning 2D va 3D modellashtirish natijalari taqdim etilgan. Hisob-kitoblarning aniqligini oshirish, portlovchi moddalar sarfini optimallashtirish va texnogen ta'sirni minimallashtirishda avtomatlashtirilgan usullardan foydalanish muhimligi ta'kidlangan.

Kalit so'zlar: «BlastMaker» dasturiy kompleksi; avtomatlashtirilgan loyihalash; burg'ilash-portlatish ishlari; raqamli model maydoni; matematik modellashtirish; portlash parametrlarini optimallashtirish; tog' jinslarini buzish modellari; imitatsion modellashtirish; toshni portlash parametrlarini oldindan aytish; portlashning energetik samaradorligi; tog' jinslarini parchalash; portlash moddalaridan foydalanish miqdorini optimallashtirish.

В статье рассматривается программный комплекс буровзрывных работ «BlastMaker», предназначенный для автоматизированного проектирования массовых взрывов в карьерах. Описана структура системы, включающая цифровую модель месторождения, поверхность карьера, расчётные алгоритмы буровзрывных параметров и модули моделирования детонационных процессов.

Представлены математические зависимости, используемые для оптимизации сетки скважин, моделирования распространения взрывной волны и прогнозирования granulometricheskogo состава породы после взрыва. Освещены функциональные возможности системы, такие как автоматизированное проектирование схем бурения, коммутации скважин и подбор параметров короткозамедленного взрывания.

Рассмотрены примеры применения комплекса на карьерах АО «Навоийский горно-металлургический комбинат», продемонстрированы результаты 2D- и 3D-моделирования массовых взрывов. Подчеркивается значимость использования автоматизированных методов для повышения точности расчетов, оптимизации расхода взрывчатых веществ и минимизации техногенного воздействия.

Ключевые слова: программный комплекс «BlastMaker»; автоматизированное проектирование; буровзрывные работы; цифровая модель месторождения; математическое моделирование; оптимизация параметров взрыва; модели разрушения горных пород; имитационное моделирование; прогнозирование параметров развала породы; энергетическая эффективность взрыва; разрушение горных пород; оптимизация расхода взрывчатых веществ.

Программный комплекс буровзрывных работ «BlastMaker» представляет собой интегрированную систему автоматизированного проектирования буровзрывных работ, объединяющую цифровую модель месторождения, математическое моделирование взаимодействия заряда с породным массивом и инструменты подготовки проектной документации [1-5].

Комплексный подход, реализованный в данной системе, обеспечивает оптимизацию параметров массовых взрывов, минимизацию неравномерности кусковатости и повышение технологической эффективности процессов горного производства.

Структурно «BlastMaker» состоит из набора специализированных модулей, функционирующих как в единой среде комплекса, так и в автономном режиме, с обменом информации через единую базу данных.

Основные модули включают [1-5]:

1. Цифровую модель месторождения M , представляющую собой трёхмерный массив данных:

$$M = \{(x_i, y_i, z_i, \rho_i, q_i) \mid i = 1, 2, \dots, N\}, \quad (1)$$

где x_i, y_i, z_i – пространственные координаты узла сетки;

ρ_i – плотность породы;

q_i – коэффициент крепости пород по шкале М.М. Протодакнова.

2. Цифровую модель поверхности карьера S , позволяющую проводить пространственный анализ рельефа:

$$S(x, y) = f(x, y) + \epsilon, \quad (2)$$

где $f(x, y)$ – аппроксимация рельефа, построенная методом триангуляции Делоне;

ϵ – погрешность цифровой модели.

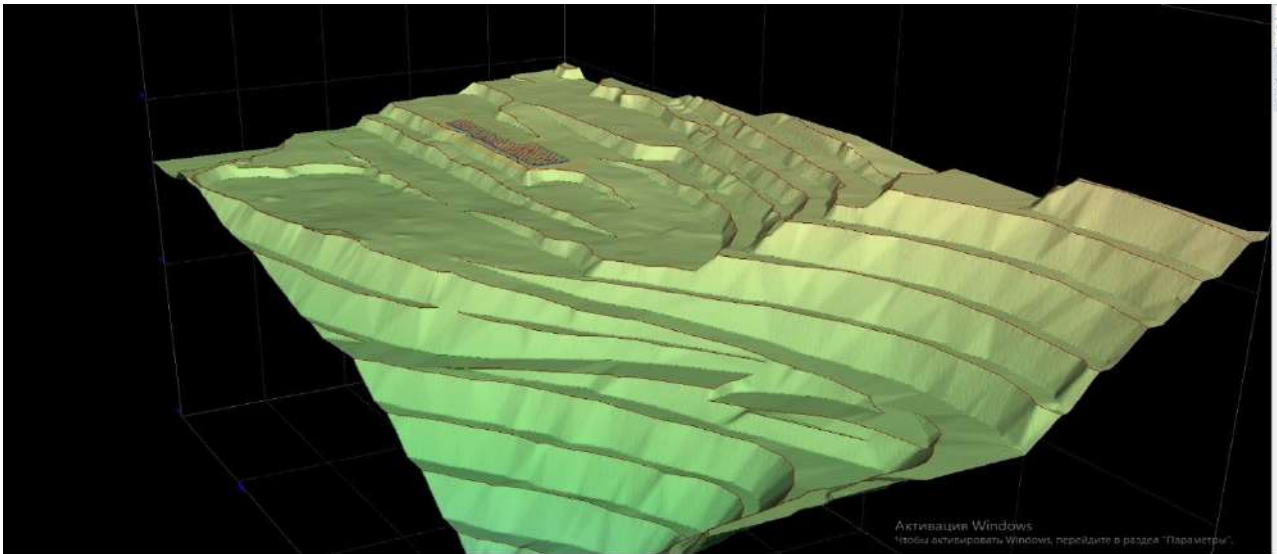


Рис. 1. Построение модели участка карьера

3. Модуль проектирования буровзрывных работ, реализующий расчёт параметров скважинной сетки по следующим зависимостям:

$$L = k_1 \cdot d^{0.5} \cdot \rho^{-0.25}; \quad (3)$$

$$B = k_2 \cdot d^{0.8} \cdot \rho^{-0.3}; \quad (4)$$

где L – глубина скважины;

B – расстояние между скважинами;

d – диаметр скважины;

ρ – плотность породы;

k_1, k_2 – эмпирические коэффициенты.

4. Модуль имитационного моделирования, предназначенный для прогнозирования параметров развала породы после взрыва. Имитационная модель основана на решении уравнения движения частиц породы под действием детонационной волны:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = F_{вз} - F_{сопр}, \quad (5)$$

где m – масса частицы породы;

r – радиус движения частицы породы;

$F_{вз}$ – сила, возникающая при детонации заряда;

$F_{сопр}$ – сила сопротивления породного массива.

4. Модуль импорта-экспорта данных, обеспечивающий взаимодействие с геоинформационными системами (ГИС) и другими программными комплексами.

5. Генератор выходных документов, автоматизирующий подготовку технической документации, включая паспорта БВР, карты зарядов и расчётные ведомости.

Процесс детонации взрывного заряда в породном массиве описывается уравнением состояния продуктов взрыва в форме Мигдала – Грюнайзена [2]:

$$P = K \left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma, \quad (6)$$

где P – давление детонационных газов;

ρ – плотность продуктов взрыва;

ρ_0 – начальная плотность заряда;

K – коэффициент пропорциональности;

γ – показатель адиабаты.

Распространение взрывной волны в среде моделируется уравнением Клейпирона [2]:

$$\frac{dP}{dt^2} + c^2 \frac{d\rho}{dt} = 0, \quad (7)$$

где c – скорость звука в породе.

Эффективность разрушения породы определяется условием выхода напряжений за пределы прочности [1]:

$$\sigma_{max} \geq \sigma_{кр}, \quad (8)$$

где σ_{max} – максимальное напряжение, возникающее при взрыве;

$\sigma_{кр}$ – предел прочности породы на сжатие.

Критерием эффективности массового взрыва является минимизация среднего размера кусков породы после разрушения, который определяется по эмпирической формуле Розина – Раммлера [2]:

$$P(d) = e^{-\left(\frac{d}{d_m}\right)^n}, \quad (9)$$

где $P(d)$ – вероятность того, что частица имеет размер менее d ;

d_m – средний размер кусков;

n – показатель распределения.

Оптимизация параметров взрыва включает [1]:

– подбор сетки скважин, обеспечивающей минимальное отклонение распределения кусков от целевого размера;

– определение оптимального заряда скважины с учётом коэффициента энергетической эффективности:

$$\eta = \frac{E_{повез}}{E_{взр}}, \quad (10)$$

где $E_{повез}$ – энергия, пошедшая на разрушение породы;

$E_{взр}$ – общая энергия взрыва.

Разработанный программный комплекс БВР «BlastMaker» представляет собой мощный инструмент автоматизированного проектирования буровзрывных работ, обеспечивающий многокритериальную оптимизацию параметров взрыва. Включение математических моделей геометрии месторождения, механики разрушения и динамики детонационных волн позволяет повысить точность проектных расчётов и минимизировать техногенное воздействие на окружающую среду.

Цифровая модель поверхности карьера обеспечивает визуализацию геометрии карьерного пространства в различных масштабах и проекциях, что позволяет проводить детальный горно-геометрический анализ.

Данный подход основан на использовании двух взаимосвязанных моделей: структурной (атрибутивно-топологической) модели, применяемой для ввода, корректировки и редактирования исходных данных, и модели карьера, предназначенной для решения задач пространственного анализа.

| Блок | Скважины | Скважинные заряды | Иницирующие ВВ | Внутрискв. замедлители | Контурные скважины | Суммарный расход ВВ | Расход средств КЗВ | Фракционный состав |
|-------|--------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| № п/п | Параметр | Значение | Единица измерения | | | | | |
| 1 | Имя горизонта | 330 | | | | | | |
| 2 | Имя блока | 33 | | | | | | |
| 3 | Дата создания | 14/02/24 13:34 | | | | | | |
| 4 | Уровень подошвы блока | 330.0 | м | | | | | |
| 5 | Максимальная отметка блока | 346.1 | м | | | | | |
| 6 | Количество скважин | 184 | шт | | | | | |
| 7 | Используемые сетки скважниц | | | | | | | |
| 8 | 0 x 0 м | 184 | шт | | | | | |
| 9 | Средняя длина скважин | 16.7 | м | | | | | |
| 10 | Суммарная длина скважин | 3 077.2 | м | | | | | |
| 11 | Время обдвигания | 512.5 | час | | | | | |
| 12 | Суммарный вес скважинных зарядов | 110 192.4 | кг | | | | | |
| 13 | Суммарный вес иницирующей ВВ | --- | кг | | | | | |
| 14 | Общий вес ВВ | 110 192.4 | кг | | | | | |
| 15 | Объем блока | | | | | | | |
| 16 | По проектному контуру и подошве | 85 620.6 | куб.м | | | | | |
| 17 | По маркшейдерской съемке | --- | куб.м | | | | | |
| 18 | По взорванным скважинам и подошве | --- | куб.м | | | | | |
| 19 | Эксплоатация общая | --- | куб.м | | | | | |
| 20 | Эксплоатация фактическая | --- | куб.м | | | | | |
| 21 | Удельный расход ВВ: | | | | | | | |
| 22 | По проектному контуру и подошве | 1.29 | кг / куб.м | | | | | |
| 23 | По маркшейдерской съемке | --- | кг / куб.м | | | | | |
| 24 | По взорванным скважинам и подошве | --- | кг / куб.м | | | | | |
| 25 | Выход горной массы на метр скважины: | | | | | | | |
| 26 | По проектному контуру и подошве | 27.8 | куб.м / п.м | | | | | |
| 27 | По маркшейдерской съемке | --- | куб.м / п.м | | | | | |
| 28 | По взорванным скважинам и подошве | --- | куб.м / п.м | | | | | |
| 29 | Стоимость бурения | 307 719.0 | \$ | | | | | |
| 30 | Стоимость ВВ | 352 615.8 | \$ | | | | | |
| 31 | Стоимость средств иницирования и кондукции | 117 031.7 | \$ | | | | | |
| 32 | Стоимость куб.м взорванной массы | | | | | | | |
| 33 | По проектному контуру и подошве | 9 089 | \$ | | | | | |
| 34 | По маркшейдерской съемке | --- | \$ | | | | | |
| 35 | По взорванным скважинам и подошве | --- | \$ | | | | | |

Рис. 2. Расчет параметров массового взрыва

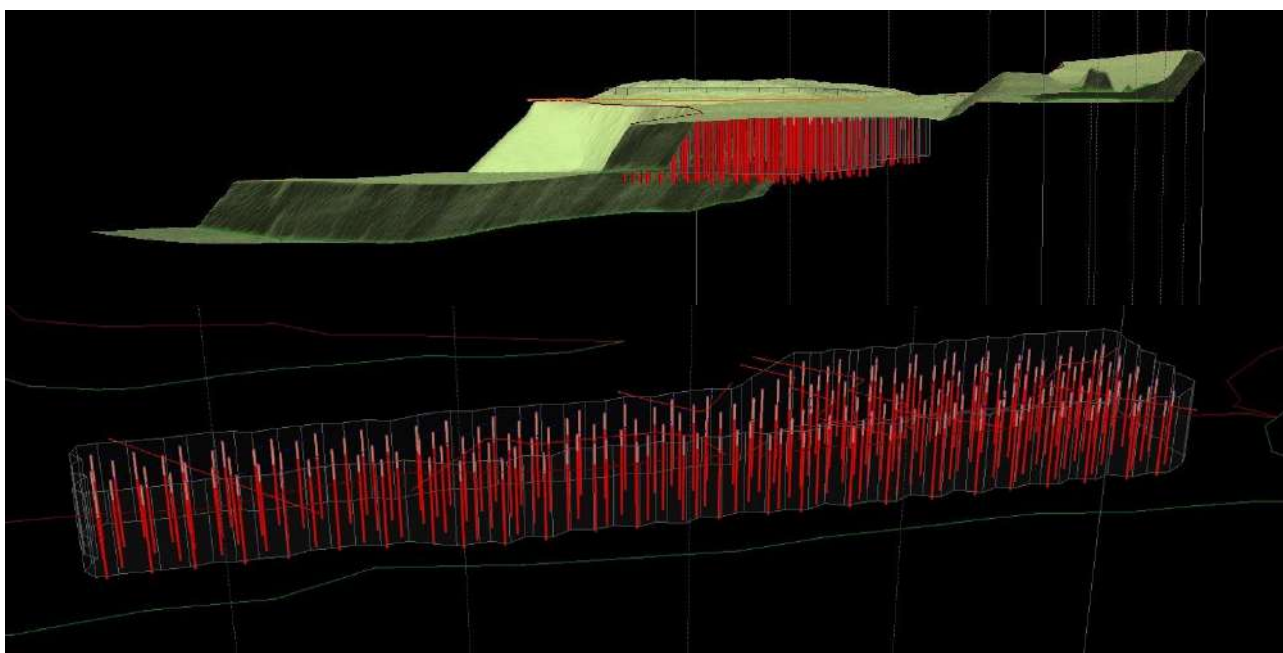


Рис. 3. Расстановка скважин на взрываемом блоке

Структурная модель включает топологическую информацию о рельефе, границах горных выработок и изменении высотных отметок в процессе эксплуатации.

Горно-геометрический анализ осуществляется с использованием цифровой модели поверхности, позволяющей выполнять пространственные расчёты, определять параметры откосов, профилей и объёмов выемки.

На рис. 1 представлена схема построения цифровой модели участка карьера, отображающая её основные элементы и методологию формирования. Модуль проектирования БВР реализует комплекс алгоритмов, направленных на оптимизацию параметров взрывных работ с учётом геомеханических характеристик породного массива, что позволяет повысить эффективность разрушения горной массы и минимизировать техногенные последствия.

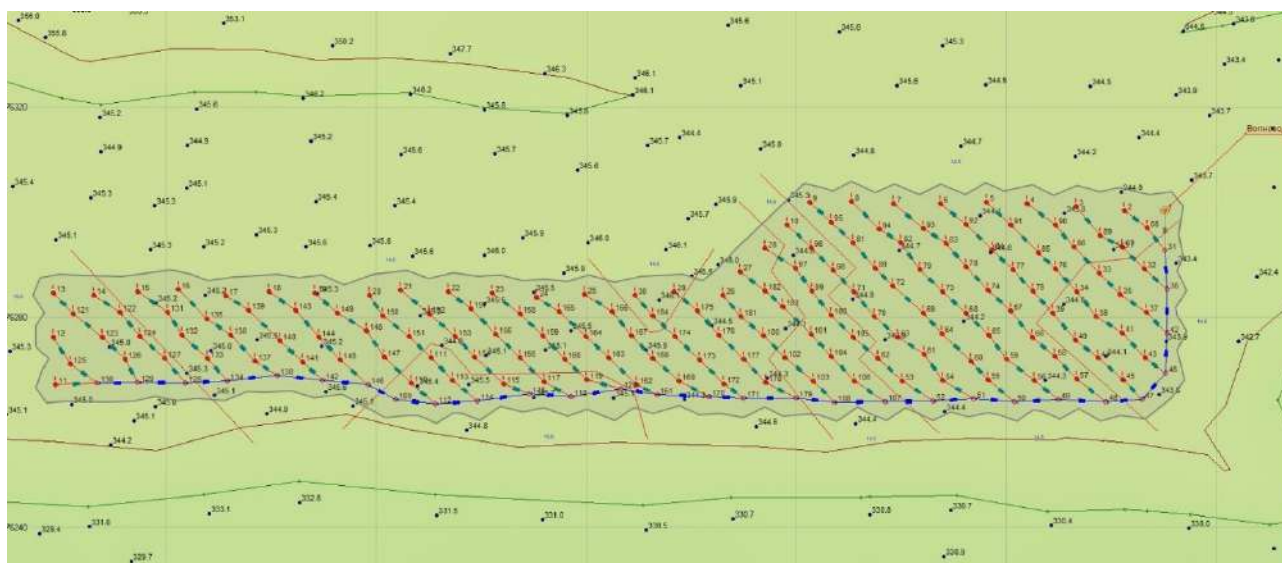


Рис. 4. Коммутация скважин и выбор интервалов замедления

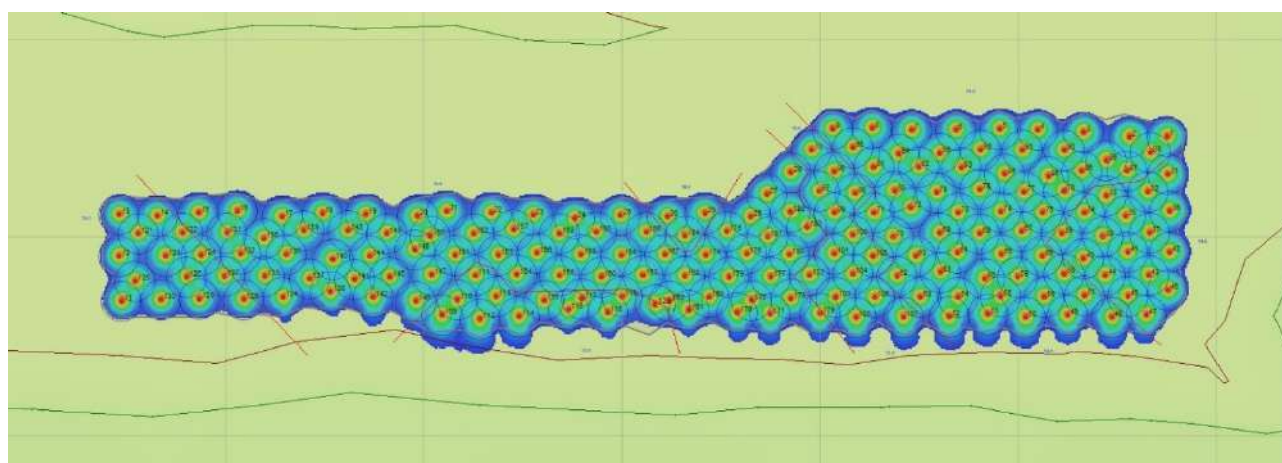


Рис. 5. Анализ распределения энергии взрыва

Функциональная структура модуля включает в себя следующие подсистемы [6]:

- расчёт параметров массового взрыва – определение удельных расходов ВВ для различных типов горных пород, обеспечивающих целевое дробление массива до требуемых размеров отдельных кусков;
- оптимизация расстановки скважин на взрываемом блоке – построение рациональной схемы бурения, соответствующей механическим свойствам пород и геометрии блока;
- коммутация скважин и выбор интервалов замедления – разработка детонационной схемы, обеспечивающей контролируемое распределение энергии взрыва и предотвращение переуплотнения породы;
- анализ распределения энергии взрыва – моделирование и оценка характеристик детонационного процесса с целью прогнозирования эффективности разрушения массива.

Процесс проектирования массового взрыва осуществляется на основе геолого-технологической информации, предоставляемой соответствующими службами карьера. Основными параметрами, определяющими расчётные характеристики взрыва, являются

удельные расходы взрывчатых веществ для различных литотипов, обеспечивающие эффективное дробление горной массы.

Основные расчётные процедуры включают [6]:

- определение зон неоднородностей в пределах взрываемого блока и расчёт удельного расхода эталонного ВВ для каждой зоны:

$$q_i = \frac{m_{ВВ}}{V_i}, \quad (11)$$

где q_i – удельный расход ВВ для i -й зоны;

$m_{ВВ}$ – масса заряда;

V_i – объём разрушенной породы;

– выбор оптимальной конструкции зарядов с учётом физико-механических свойств горных пород и условий взрывного дробления;

– расчёт необходимого количества скважин для разрушения блока с заданными параметрами гранулометрического состава:

$$N = \frac{V_{бл}}{V_{скв}}, \quad (12)$$

где N – количество скважин;

$V_{\text{бл}}$ – объём взрываемого блока;
 $V_{\text{скв}}$ – разрушенный объём на одну скважину;
 – определение технико-экономических показателей взрыва, включая расход ВВ, производительность бурения и экономическую эффективность применения различных схем БВР.

На *рис. 2* приведён пример расчёта параметров массового взрыва, на *рис. 3* представлена схема расстановки скважин на взрываемом блоке, на *рис. 4* показана коммутация скважин и выбор интервалов замедления, а на *рис. 5* показан анализ распределения энергии взрыва.

Одним из ключевых аспектов проектирования буровзрывных работ (БВР) является оптимальная расстановка скважин на взрываемом блоке, которая влияет на эффективность дробления породы и

устойчивость горного массива. В системе автоматизированного проектирования БВР (САПР БВР) применяется метод расстановки по палетке, основанный на использовании регулярной треугольной или прямоугольной сетки.

Шаг палетки S_p определяется расчетной линией сопротивления по подошве W_b , согласно соотношению:

$$S_p = k \cdot W_b, \quad (13)$$

где k – эмпирический коэффициент, зависящий от типа породы и параметров ВВ.

В случае сложных геологических условий и геометрически сложных блоков возможна комбинированная схема бурения, при которой используются несколько палеток с различными параметрами сетки.

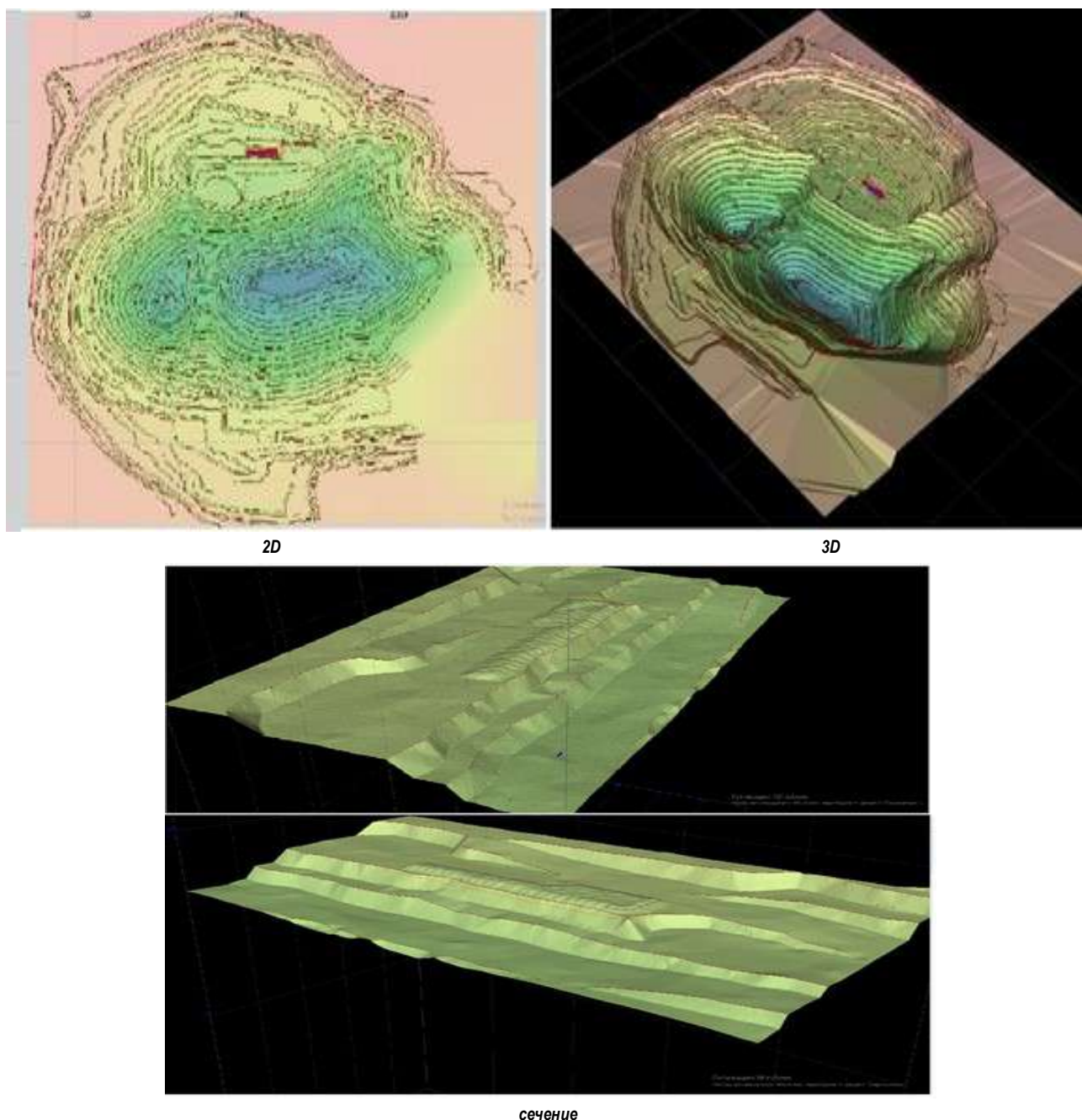


Рис. 6. Развал блока № 33

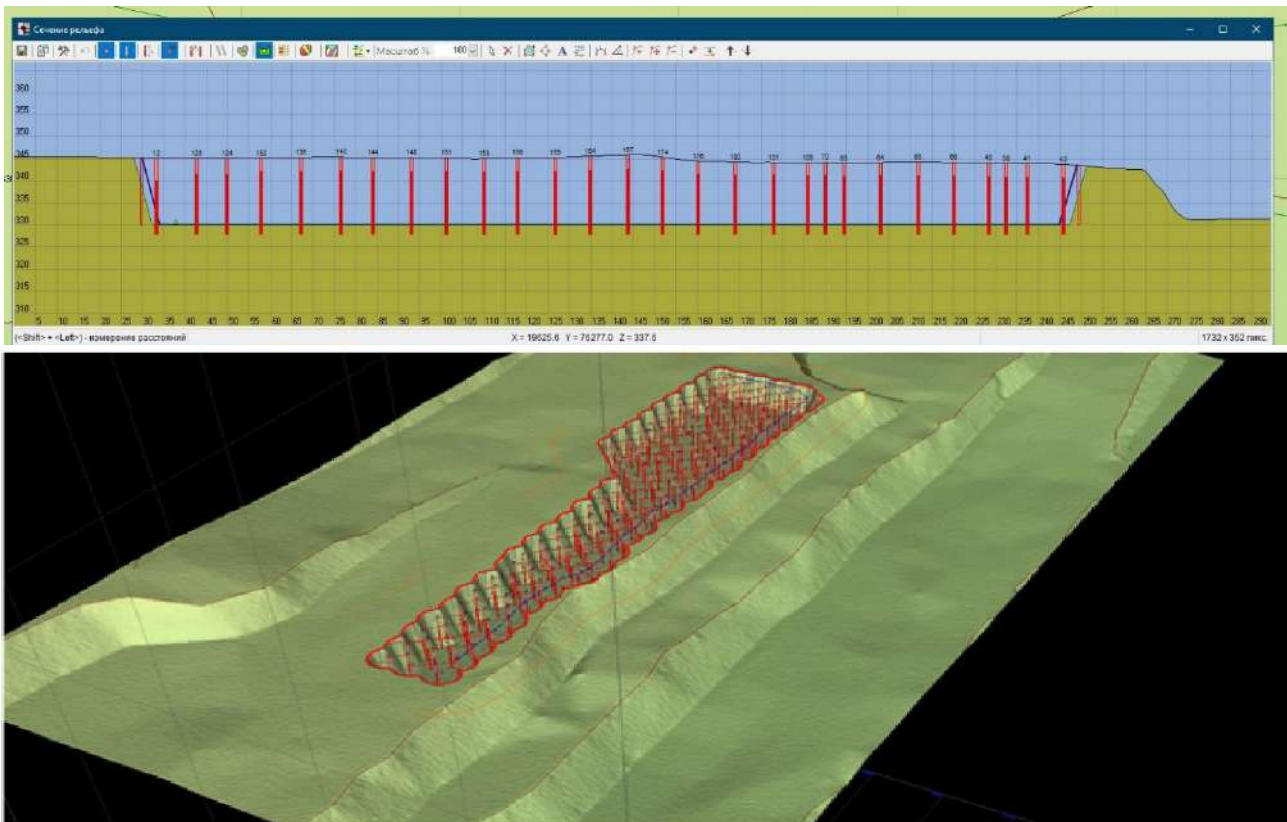


Рис. 7. Подошва блока № 33 (сечение)

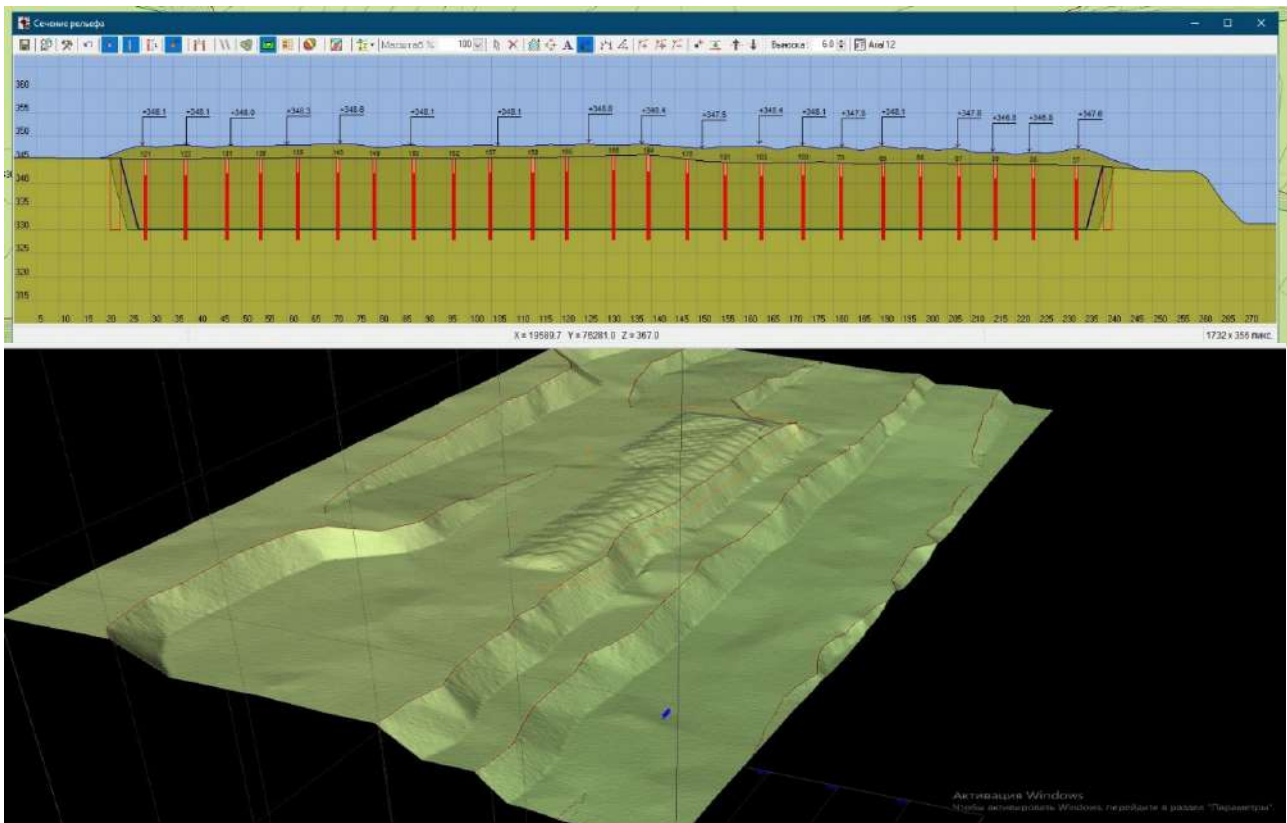


Рис. 8. Развал блока № 33 (сечение)

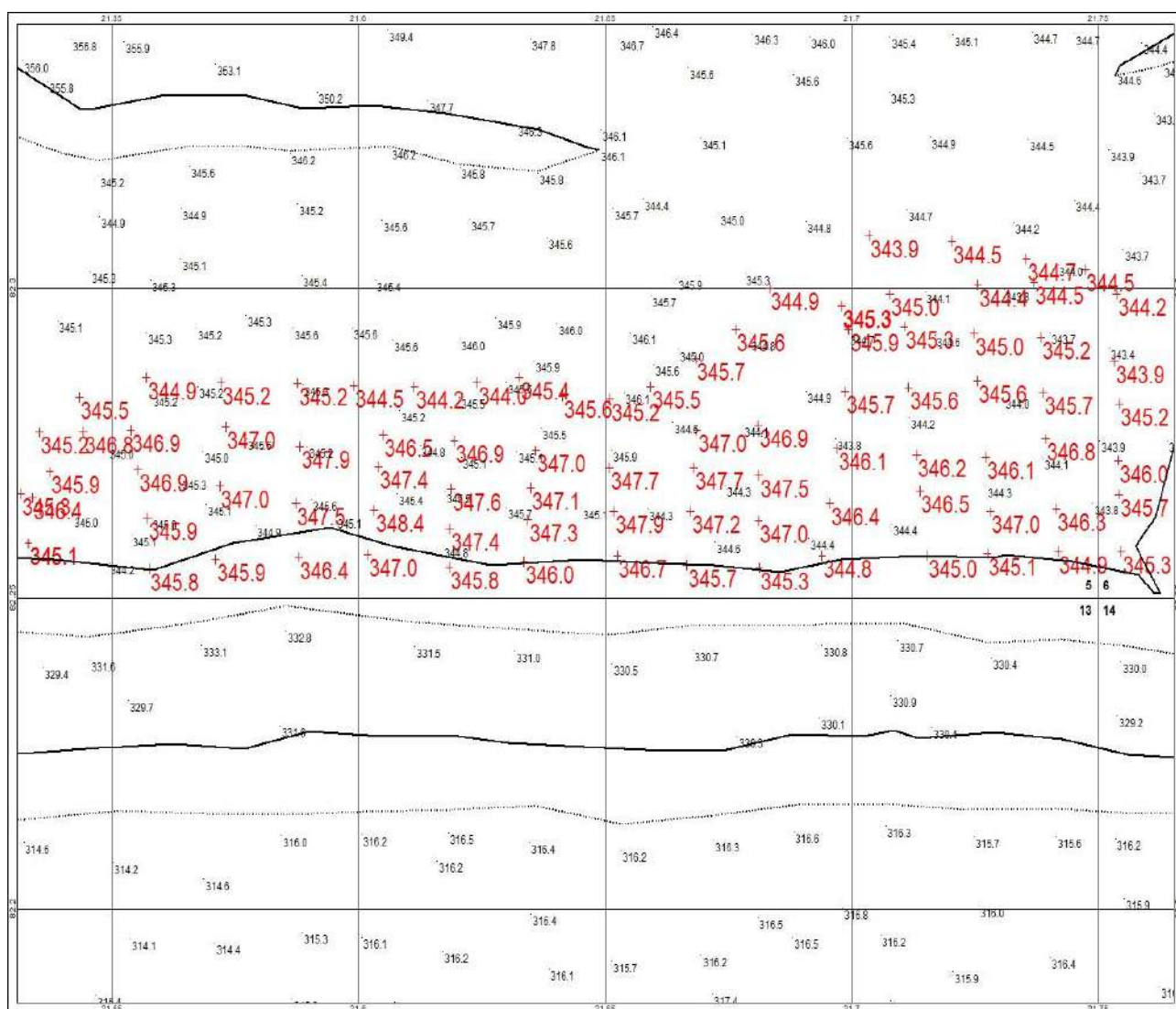
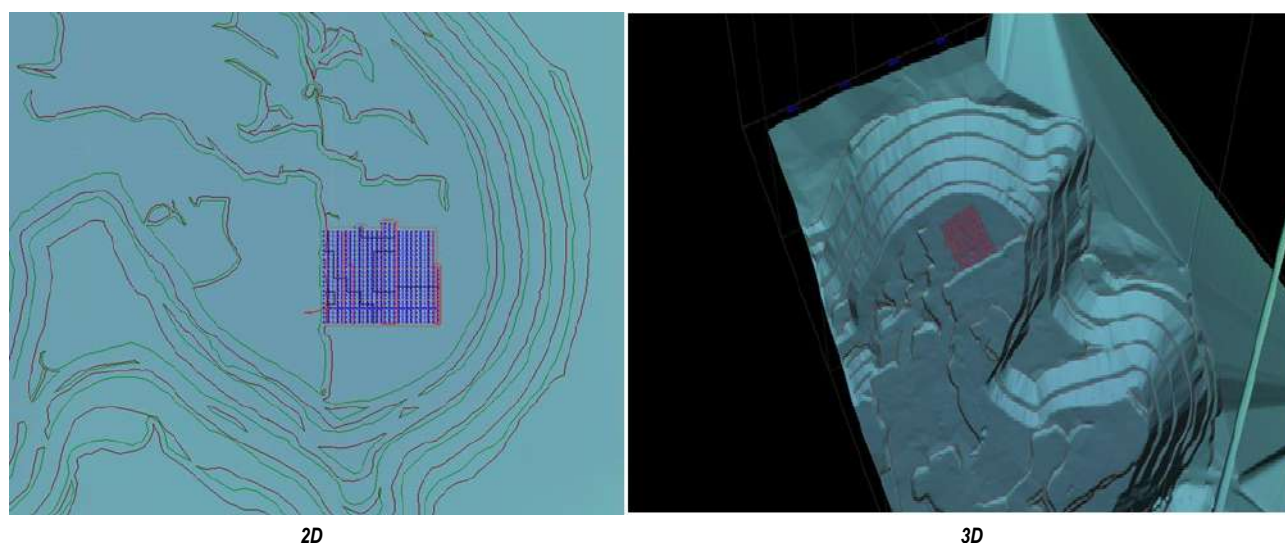


Рис. 9. Фактические отметки шапки взрыва после очередного массового взрыва



2D

3D

Рис. 10. Развал блока № 42

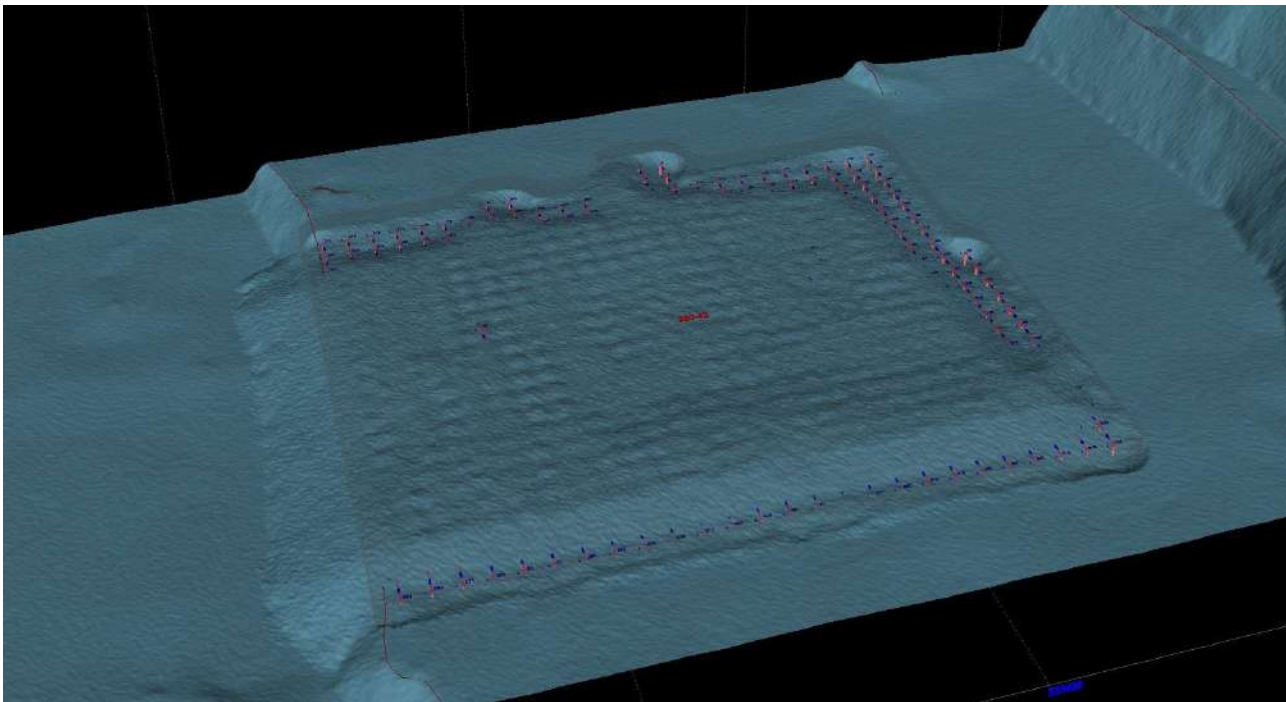


Рис. 11. Развал блока №42 (сечение)

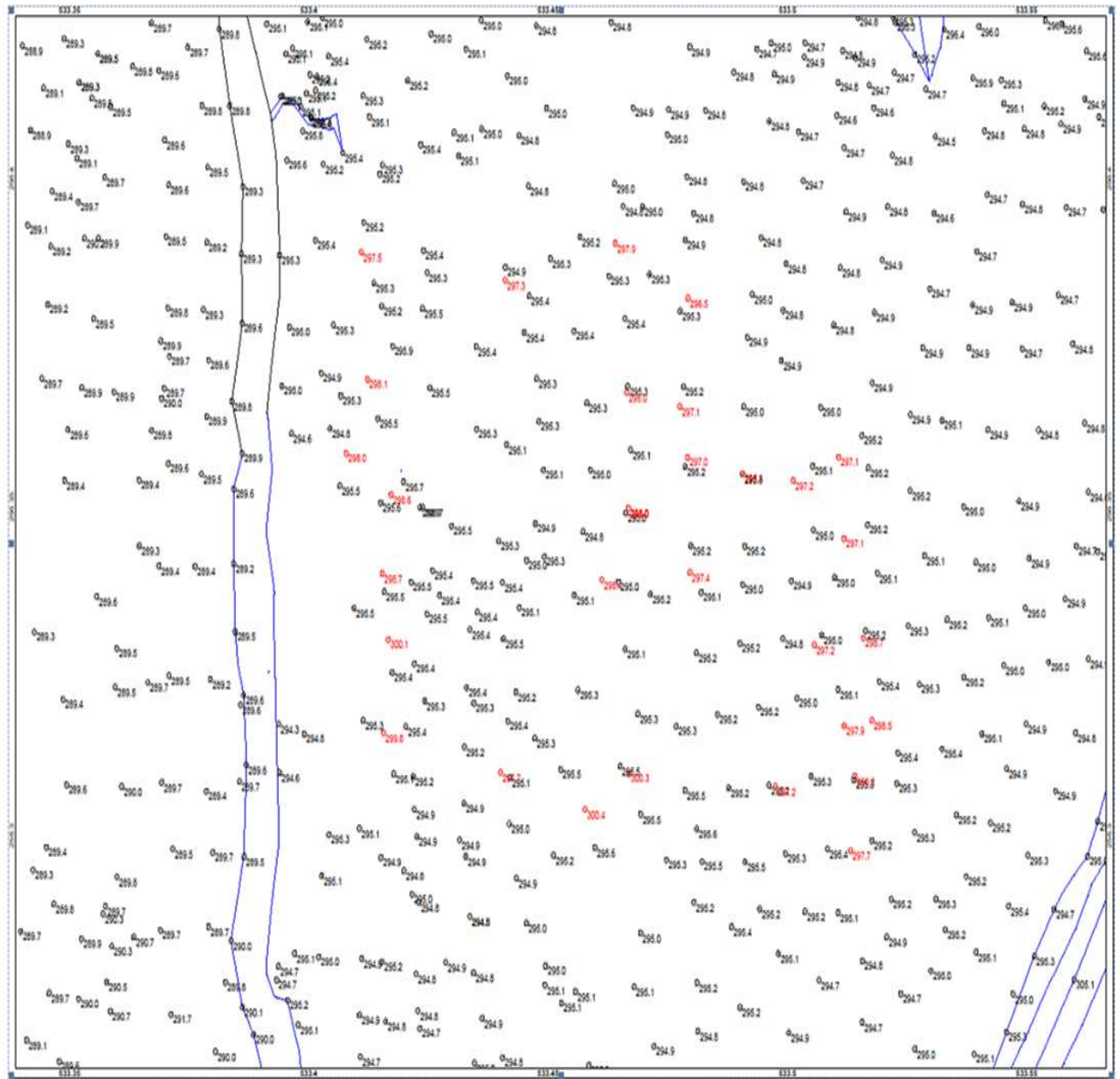


Рис. 12. Фактические отметки шапки взрыва после очередного массового взрыва

Для автоматизированной расстановки скважин применяется итерационный метод, обеспечивающий оптимальное размещение заданного количества скважин с учётом зон неоднородностей.

На каждом этапе итерационного процесса происходит перераспределение скважин по блоку в соответствии с их характеристическим радиусом R_s , который определяется в зависимости от локальной крепости породы f_p :

$$R_s = f(W_b, f_p). \quad (14)$$

Таким образом, более плотные породы требуют увеличения количества скважин и уменьшения их радиусов действия.

Процесс коммутации скважин осуществляется на основе типовых схем и заданного вектора направления взрывааемых рядов. Автоматическая коммутация выполняется по заданному вектору

направления коммутируемых рядов V_c , вдоль которого выстраиваются линии коммутации. Возможные погрешности автоматической коммутации устраняются интерактивной корректировкой инженером, который вручную добавляет или удаляет связи между скважинами для оптимального соответствия параметрам взрыва.

На степень дробления горной массы оказывает влияние не только выбор схемы коммутации, но и подбор интервала короткозамедленного взрывания (КЗВ), который определяется параметрами детонации и механическими характеристиками массива.

Оптимальный интервал задержки Δt рассчитывается по формуле

$$\Delta t = k_d \frac{H}{V_p}, \quad (15)$$

где k_d – коэффициент замедления, зависящий от типа ВВ;

H – высота уступа;

V_p – скорость распространения взрывной волны в породе.

Система автоматизированного проектирования БВР предоставляет инженеру возможность моделирования различных комбинаций интервалов КЗВ и схем коммутации, а также визуализацию результатов в виде аналитических диаграмм и графиков. Это позволяет оперативно оценить влияние различных параметров взрыва на качество дробления и выбрать наиболее рациональное проектное решение.

На рис. 6-12 приведены результаты проектирования массового взрыва по программе Blastmaker для карьеров АО «Навоийский

горно-металлургический комбинат». Испытания проводились на основании временного предоставления официальным представителем ИП ООО «Epiroc Mining and Construction Technique» программного комплекса буровзрывных работ «BlastMaker» в 2024 г.

Таким образом, использование автоматизированных методов расстановки и коммутации скважин позволяет существенно повысить точность проектирования буровзрывных работ, минимизировать погрешности в расчетах и оптимизировать расход взрывчатых веществ. Реализация адаптивных алгоритмов с учётом геологических неоднородностей массива способствует повышению эффективности массовых взрывов и улучшению технико-экономических показателей добычи.

Библиографический список:

1. Муратов М.В. Теория и практика буровзрывных работ // М.В. Муратов, Ю.А. Баженов. – М.: Недра, 2003. – 368 с.
2. Шкляр Л.В. Автоматизированные системы проектирования в горном деле // Л. В. Шкляр. – М.: Горная книга, 2010. – 256 с.
3. Котельников Г.Н. Основы взрывного разрушения горных пород // Г.Н. Котельников. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 312 с.
4. Kuznetsov M.S. The mean diameter of fragments formed by blasting rock / M.S. Kuznetsov // Journal of Mining Science. – 1973. – Vol. 9, No. 2. – P. 144–148.
5. Persson P.A., Holmberg R., Lee J. Rock Blasting and Explosives Engineering / P. A. Persson, R. Holmberg, J. Lee. – Boca Raton: CRC Press, 1994. – 560 p.
6. Белощапкин В.В., Вишневецкий В.В. Проектирование и моделирование буровзрывных работ на открытых горных разработках. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2015. – 248 с.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 14-23

APPLICATION OF DIGITAL MODELS OF QUARRIES IN THE AUTOMATED DESIGN SYSTEM FOR BLASTING WORKS «BLASTMAKER»

¹Lagutin K.N., Regional Engineer of Surface Equipment, Epiroc Mining and Construction Technique LLC.

²Nasirov U.F., Deputy Director for Scientific Work and Innovation, Doctor of Technical Sciences, Professor.

³Zairova F.Yu., Engineer of the Department of Innovative Development, PhD.

³Ergashev N.H., Deputy Head of the Technical Department of the Auminzo-Amantoy Mine, Central Ore Administration.

¹IP LLC (Individual Entrepreneur Limited Liability Company) «Epiroc Mining and Construction Technique». Ташкен, Узбекистан.

²Almalyk Branch of the National University of Science and Technology «MISIS». Almalyk, Uzbekistan.

³JSC «Navoi Mining and Metallurgical Combine». Navoi, Uzbekistan.

The article discusses the software complex for blasting operations "BlastMaker," designed for automated design of mass blasting in quarries. The system's structure is described, including a digital model of the deposit, quarry surface, calculation algorithms for blasting parameters, and modules for simulating detonation processes.

Mathematical dependencies used for optimizing the borehole grid, simulating the propagation of the shock wave, and predicting the granulometric composition of the rock after the blast are presented.

The system's functional capabilities, such as automated design of drilling schemes, borehole commutation, and selection of short-delay blasting parameters, are highlighted.

Examples of the system's application in the quarries of the Joint-Stock Company "Navoi Mining and Metallurgical Combine" are considered, and 2D and 3D modeling results of mass blasting are demonstrated.

The importance of using automated methods for improving the accuracy of calculations, optimizing the use of explosives, and minimizing environmental impact is emphasized.

Keywords: software complex "BlastMaker"; automated design; blasting operations; digital deposit model; mathematical modeling; blast parameter optimization; rock destruction models; simulation modeling; prediction of rock breakage parameters; blast energy efficiency; rock destruction; optimization of explosive material use.

Bibliographic list:

1. Muratov M.V. Theory and Practice of Blasting Operations / M.V. Muratov, Yu.A. Bazhenov. – Moscow: Nedra, 2003. – 368 p.
2. Shklyar L.V. Automated Design Systems in Mining / L.V. Shklyar. – Moscow: Gorodnaya Kniga, 2010. – 256 p.
3. Kotelnikov G.N. Fundamentals of Explosive Rock Destruction / G.N. Kotelnikov. – Moscow: MGU Publishing, 2005. – 312 p.
4. Kuznetsov M.S. The Mean Diameter of Fragments Formed by Blasting Rock / M.S. Kuznetsov // Journal of Mining Science. – 1973. – Vol. 9, No. 2. – P. 144–148.
5. Persson P.A., Holmberg R., Lee J. Rock Blasting and Explosives Engineering / P.A. Persson, R. Holmberg, J. Lee. – Boca Raton: CRC Press, 1994. – 560 p.
6. Beloshapkin V.V., Vishnevsky V.V. Design and Modeling of Blasting Operations in Open-Pit Mining. – Yekaterinburg: Ural Branch of RAN Publishing, 2015. – 248 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СЕТЕЙ ЗОЛОТОРУДНЫХ ШАХТ УЗБЕКИСТАНА



Ахмедов С.Т.,
ассистент кафедры
«Горная электромеханика»
Горного факультета НГГТУ



Махмудов А.М.,
профессор кафедры
«Горная электромеханика»
Горного факультета НГГТУ, к.т.н.



Мусурманов Э.Ш.,
доцент кафедры
«Горная электромеханика»
Горного факультета НГГТУ, PhD

Yer osti konlarini shamollatish kon ishlarini olib borishda dolzarb vazifalardan biri hisoblanadi. Tadqiqotda kon shamollatish tarmog'ida havo oqimini yaratish orqali konni shamollatish jarayoni, konning aerodinamik sxemasi va shamollatish tizimining belgilangan ko'rsatkichlari asosida ko'p bosqichli tarmoqlangan shamollatish tarmog'ining hisoblash va matematik modelini ishlab chiqish usullari ko'rib chiqiladi.

Kalit so'zlar: shaxta, shamollatish, havo, oqim, kon lahimi, model, to'siqlar, tugun, shohcha, marshrut, kontur, aerodinamik sxema, qarshilik, minimallashtirish, ventilyator, quvvat.

Вентиляция подземных шахт является одной из актуальных задач при горных работах. В исследованиях рассмотрены процесс проветривания шахты путем создания воздушного потока в сети горных выработок, аэродинамическая схема шахты и методы разработки расчётной и математической модели многоступенчатой разветвленной вентиляционной сети при заданных параметров вентиляционной системы.

Ключевые слова: шахта, проветривания, воздух, поток, выработка, модель, перемычки, узел, ветвь, маршрут, контур, аэродинамическая схема, сопротивления, минимизация, вентилятор, мощность.

В большинстве золоторудных шахтах Узбекистана процесс проветривания осуществляется путем создания воздушного потока в сети горных выработок, которое в зависимости от поставленных задач по обеспечению производственной мощности предприятия непрерывно увеличивается по всем трём направлениям развития «вентиляционная система – вентиляционная сеть – поток воздуха».

Принятое направление воздушных потоков в сети определяет схему проветривания шахты и отдельных её участков [1].

В шахтную вентиляционную сеть входят горные выработки и сооружения, по которым движется воздух, а также выработки, вентиляционное сооружение и вентиляционное пространство, через которое просачивается воздух в таком количестве, которое оказывает влияние на проветривание шахты.

Направление воздушных потоков осуществляется с помощью вентиляционных сооружений (вентиляторы, перемычки, двери, трубопроводы и др.) [2].

Ниже приведены схемы вентиляции шахты, на примере рудника Каракутан (рис. 1).

В большинстве шахтах вентиляционные схемы нами рассматриваются как замкнутый связной граф. В теории графов приняты следующие понятия (рис. 2) [2, 3]:

- узел – место соединения трех или нескольких выработок (точки 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10);
- ветвь – отдельная выработка или (или несколько последовательно соединенных выработок), соединяющая два узла;
- маршрут – путь в сети, включающий неповторяющиеся ветви;
- контур – замкнутый путь в сети, включающий неповторяющиеся ветви;
- элементарная ячейка – часть сети, которая не пересекается с ветвями.

В исследованиях определено, что в зависимости от способа связи горных выработок вентиляционные сети золоторудных шахт Кызылкумского региона отнесены к категории разветвленные состоящие из многоступенчатых и многочисленных к контуров со сложными и диагональными сетями j , образующиеся из последовательно и параллельно соединенных ветвей i .

При движении воздуха в шахтных многоступенчатых разветвленных вентиляционных сетях действуют следующие законы [4, 5]:

- закон сопротивления в ветвях
- закон сопротивления массы воздушных потоков в узлах;
- закон сохранения механической энергии воздушных потоков в контурах.

Вследствие изменения температуры, давления и влажности в шахте воздуха изменяется и плотность воздуха. Переменная плотность шахтного воздуха оказывает влияние на дебит воздушных потоков, аэродинамическое сопротивление ветвей и депрессию вентиляторов, которые выражаются через стандартную плотность воздуха $\rho_c = \rho_{dem}$.

На основании выше приведенных можно вывести первый и второй законы вентиляционных сетей, описывающие движение в вентиляционных сетях с переменной плотностью воздуха [6-8]

$$\sum_{j \in i} Q_{Gj} = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{j \in i} Q_{Gj} \varepsilon_j \frac{\rho_c}{\rho_j} R_{Gj} - Q_G^2 = \sum_{j \in i} \varepsilon_j \frac{\rho_j}{\rho} h_{BGj} + g \sum_{j \in i} \rho_j \Delta z_j \quad (2)$$

где j – номер узла;

i – номер ветви;

Q_c, R_c, h_c – дебит, аэродинамическое сопротивление, депрессия, соответствующая стандартной плотности воздуха.

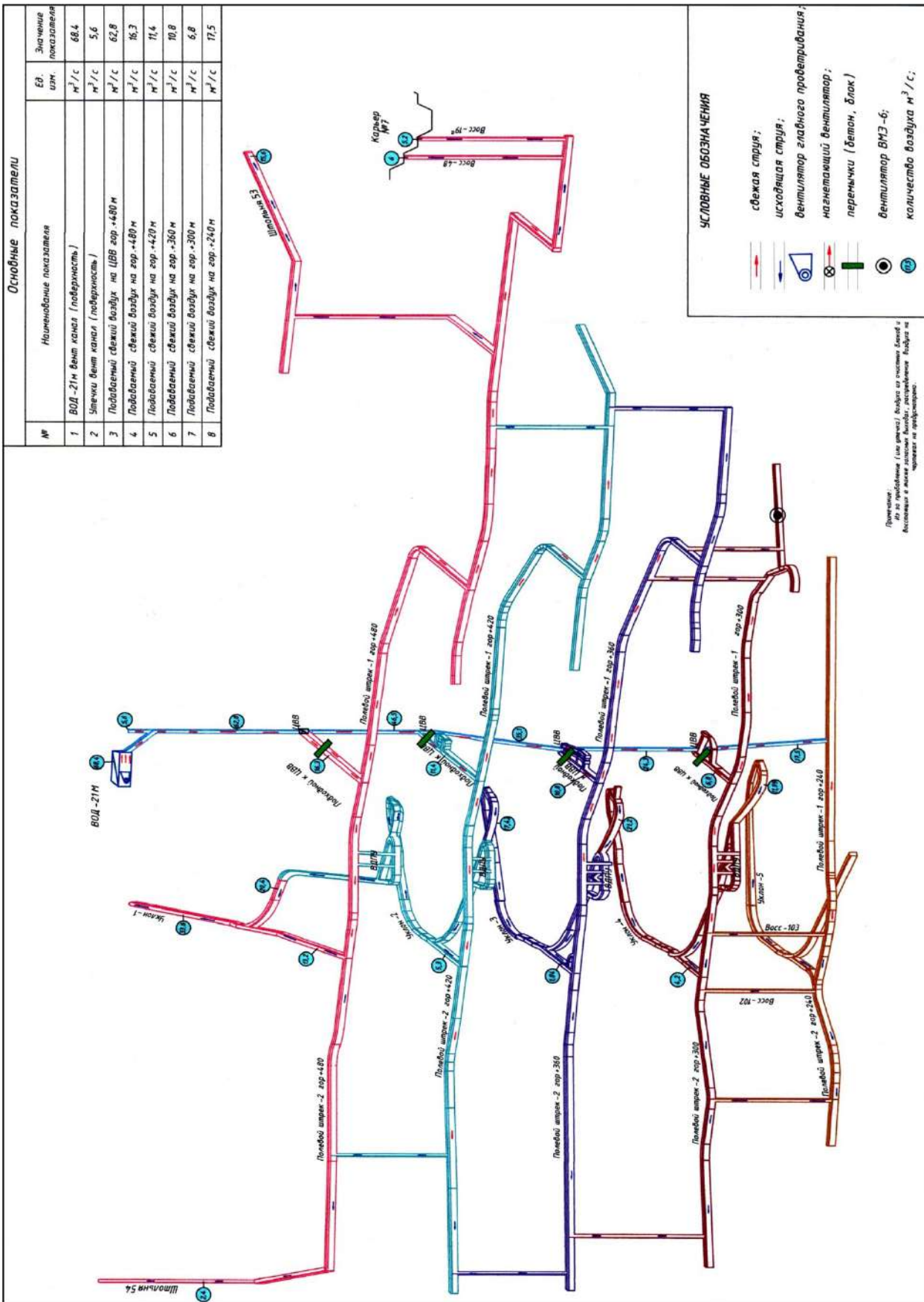


Рис. 1. Схема вентиляция рудника Каракуман

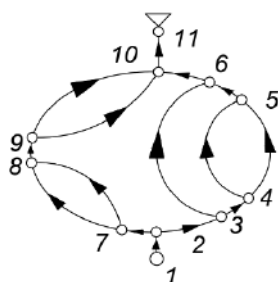


Рис. 2. Аэродинамическая схема разветвленной вентиляционной сети

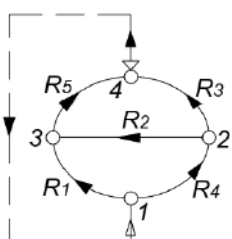


Рис. 3. Расчётная аэродинамическая схема простой диагональной вентиляционной сети

Q – объёмный дебит воздушного потока, m^3/c ;
 $Hв$ – депрессия вентилятора, Pa ;
 R – аэродинамическое сопротивление ветви, $H \cdot c^2/m^8$;
 h_e – депрессия естественной тяги в контуре, Pa ;
 ε – коэффициент направления воздушного потока;
 z – геодезическая высота ветви.

Расчёт шахтной вентиляционной сети сводится к определению распределения воздуха в сети, рабочего режима вентиляторов, общего аэродинамического сопротивления сети, аэродинамического сопротивления регуляторов в сети естественной тяги. Для этого на основании первого закона составляется независимое узловое уравнение для произвольно выбранных узлов, а в соответствии со вторым законом k независимых контурных уравнений, соответствующих тому же числу произвольно выбранных независимых контуров в сети.

Таким образом, составляется m независимых уравнений, которое взаимно связывают такое число дебитов вентиляционных потоков, аэродинамических сопротивлений сетей, средних плотностей воздуха в ветвях и q вентиляторных напорных характеристик. Общее число параметров равно $3m+q$ [6-8].

Формулы для определения расхода воздуха в сетях и общего сопротивления сети:

$$Q_j = \frac{Q_M}{\sum_{j \in M} \sqrt{\frac{R_M}{R_j}}} \quad (3)$$

$$R_b = \frac{R_M}{\left(\sum_{j \in M} \sqrt{\frac{R_M}{R_j}} \right)^2} \quad (4)$$

Для определения общего сопротивления сложной параллельной сети каждое простое параллельное соединяется условной ветвью с сопротивлением, определенным для простой параллельной сети. Затем определяют сопротивление вновь образованных последовательных соединений.

Расчет повторяют до приведения сложной параллельной сети в одно последовательное соединение.

Определение общего расхода воздуха в сложной параллельной сети осуществляется в обратном порядке [6, 8]. Движение воздуха в диагональных сетях может быть описано узловыми и контурными уравнениями.

Рассмотрим решение задачи для модели аэродинамической схемы простой диагональной вентиляционной сети с четырьмя узлами $m=4$ и пятью ветвями $n=5$ (рис. 3)

Решение системы уравнений осуществляется с помощью приближенных или итеративных вычислений. Движение воздуха в наиболее простой диагональной сети тремя узловыми и тремя контурными уравнениями приведён ниже:

$$Q_{ob} - Q_1 - Q_4 = 0 \quad (5)$$

$$Q_4 - Q_2 - Q_3 = 0 \quad (6)$$

$$Q_5 - Q_1 + Q_2 = 0 \quad (7)$$

$$R_1 Q_{21} + R_5 Q_{25} = h \quad (8)$$

$$R_2 Q_{22} + R_5 Q_{25} - R_3 Q_{23} = 0 \quad (9)$$

$$R_2 Q_{22} + R_4 Q_{24} - R_1 Q_{21} = 0 \quad (10)$$

Для приближенного решения нелинейных алгебраических уравнений, описывающих движение и распределение воздуха в шахтных многоступенчатых разветвленных вентиляционных сетях, применяют метод прямого итеративного вычисления воздухораспределения (метод Андрияшева-Красса), метод линеаризации контурных уравнений (метод Ньютона) и принцип минимизации мощности вентиляционных потоков.

Решение осуществляется при заданных вентиляционной сети, аэродинамическом сопротивлении ветвей и напорной характеристике вентиляторов [3-4].

Оптимизация системы вентиляции шахты достигается разработкой расчётной и математической модели многоступенчатой разветвленной вентиляционной сети при заданных параметрах вентиляционной сети, аэродинамического сопротивления ветвей и напорной характеристике вентиляторов и решением задачи с применением метода линеаризации контурных уравнений (метод Ньютона) и принципа минимизации мощности вентиляционных потоков.

Библиографический список:

1. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.I. The choice of the main fan installation. Current Problems of Enhancing Efficiency and Safety of Underground Mining and Oil Field Equipment: II International Scientific and Practical Conference Proceedings. Perm: PNIPU. 2015. Vol. 1, pp. 190-199.
2. Левиский Ж.Г., Нургалиева А.Д. Управление расходами воздуха в вентиляционной сети с активным регулятором // Вестник КузГТУ. – Кемерово, КузГТУ, 2011. – № 4. – С. 23-27.
3. Каледина Н.О., Кобилкин С.С. Объёмное моделирование как метод исследования и управления аэрогазодинамическими процессами на горных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка-2013». – М.: ООО «Горная книга», 2013. – С. 149-156.
4. Казаков Б.П., Колесов Э.В., Накарязов Е.В., Исаевич А.Г. Обзор моделей и методов расчета аэрогазодинамических процессов в вентиляционных сетях шахт и рудников // Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ). – М.: ООО «Горная книга», 2021. – № 6. – С. 5-33. doi:10.25018/023614 932021605.

5. Махмудов А., Мусурманов Э.Ш., Ахмедов С.Т. Повышение эффективности вентиляционных оборудований управлением движения потока воздуха // *Universium: технические науки: электронный научный журнал*, 2023. 9(114). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16013> 2023. – С. 16-21. DOI – 10.32743/UniTech.2023.114.9.16013.

6. Musurmanov E.Sh. Murakkab kon-texnologik sharoitli konlarda uchastkalarni shamollatishni optimallashtirish // «Ilm-fan va innovatsion rivojlanish» ilmiy jurnali. 2023 yil. – 3-son. 24-31 b.

7. Mislibayev I.T., Musurmanov E.Sh. G'ujumsoy koni stvolida havo oqimini boshqarish samaradorligini oshirishda havo pardasini qo'llash // «Ilm-fan va innovatsion rivojlanish» ilmiy jurnali, 2023 yil. – 5-son. 23-32 b.

8. Musurmanov E.Sh. Experimental study of aerodynamic indicators at permeable excavations in modelling of ventilation networks. (In Uzbek). *Science and Innovative Development*, 7 (6) 2024, pp. 8-17.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF VENTILATION NETWORK MODELS FOR GOLD MINES IN UZBEKISTAN

Ahmedov S.T., Assistant of the Department of "Mining Electromechanics", Mining Faculty.

Mahmudov A., Professor of the Department of "Mining Electromechanics", Mining Faculty, Ph.D.

Musurmanov E.Sh., Associate Professor of the Department of "Mining Electromechanics", Mining Faculty, Ph.D.

Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan.

Underground mine ventilation is one of the pressing issues in mining operations. The research examines the process of ventilation in a mine by creating an airflow in the network of underground workings, the aerodynamic scheme of the mine, and methods for developing a computational and mathematical model of a multi-stage branched ventilation network based on the specified parameters of the ventilation system.

Keywords: mine, ventilation, air, flow, workings, model, partitions, node, branch, route, contour, aerodynamic scheme, resistance, minimization, fan, power.

Bibliographic list:

1. Alymenko N.I., Kamenskikh A.A., Nikolaev A.V., Petrov A.I. The choice of the main fan installation. *Current Problems of Enhancing Efficiency and Safety of Underground Mining and Oil Field Equipment: II International Scientific and Practical Conference Proceedings*. Perm: PNIPU. 2015. Vol. 1, pp. 190-199.

2. Levisky Z.G., Nurgalieva A.D. Airflow management in a ventilation network with an active regulator // *Bulletin of KuzGTU*. – Kemerovo: KuzGTU, 2011. – No. 4. – Pp. 23-27.

3. Kaledina N.O., Kobylykin S.S. Volumetric modeling as a method for studying and managing aerogasdynamic processes at mining enterprises // *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (GIAB)*. Proceedings of the International Scientific Symposium "Miner's Week-2013". – Moscow: LLC "Gornaya kniga", 2013. – Pp. 149-156.

4. Kazakov B.P., Kolesov E.V., Nakaryakov E.V., Isaevich A.G. Overview of models and methods for calculating aerogasdynamic processes in mine and mine ventilation networks // *Gorniy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (GIAB)*. – Moscow: LLC "Gornaya kniga", 2021. – No. 6. – Pp. 5-33. doi:10.25018/0236149320216005.

5. Mahmudov A., Musurmanov E.Sh., Ahmedov S.T. Improving the efficiency of ventilation equipment by controlling airflow movement // *Universium: Technical Sciences: Electronic Scientific Journal*, 2023. 9(114). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16013>. – Pp. 16-21. DOI – 10.32743/UniTech.2023.114.9.16013.

6. Musurmanov E.Sh. Optimization of ventilation in sections of mines with complex mining and technological conditions // *"Science, Innovation, and Development" Scientific Journal*. 2023. – Issue 3. Pp. 24-31.

7. Mislibayev I.T., Musurmanov E.Sh. Improving the efficiency of airflow control at the Gujumsoy mine shaft using an air curtain // *"Science, Innovation, and Development" Scientific Journal*, 2023. – Issue 5. Pp. 23-32.

8. Musurmanov E.Sh. Experimental study of aerodynamic indicators at permeable excavations in modeling ventilation networks. (In Uzbek). *Science and Innovative Development*, 7(6) 2024, pp. 8-17.

HT-250-01; HT-250 M

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
ТОКАРНЫЙ СТАНОК



NMZ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И МЕТАЛЛУРГИЯ

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навийский 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

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЗАБОЙКИ В СКВАЖИННОМ ЗАРЯДЕ



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



Исаев Е.А.,
главный горняк
ООО «Ахангаранцемент»



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



Мирзалиева М.М.,
инженер по НИР
АФ НИТУ «МИСИС»

Maqolada tog' jinslarini samarali parchalashni oshirishga yo'naltirilgan burg'ilash-portlatish ishlarini rivojlantirishning asosiy yo'nalishlari ko'rib chiqilgan. Ayniqsa, portlash impulsi ta'sirining davomiyligi va zaboyka konstruksiyasining jinslarni maydalash sifatiga ta'siri alohida o'rganilgan. Detonatsiya mahsulotlarining chiqish dinamikasi bo'yicha tadqiqot natijalari keltirilib, optimal zaboyka uzunligini hisoblashning yangi usullari ishlab chiqilgan. Zaboykaning harakati va detonatsiya mahsulotlaridagi bosim taqsimotini tahlil qiluvchi nazariy va eksperimental modellar ko'rib chiqilgan. Shuningdek, portlatish mahsulotlarining skvajinada ushlab turish vaqtini uzaytirish va tog' jinslarini maydalash samaradorligini oshirishga yordam beruvchi polimerli konusli qoplama qo'llaniladigan yangi skvajinali portlatish usuli bayon etilgan. Ushbu usulni qo'llash portlash energiyasidan maksimal darajada foydalanish, detonatsiya jarayonida yo'qotishlarni minimallashtirish va burg'ilash-portlatish ishlarining iqtisodiy samaradorligini oshirishga yordam beradi, bu esa zaboyka materiallari tannarxini kamaytirish va uni o'rnatish texnologiyasini soddalashtirish orqali erishiladi.

Kalit so'zlar: portlatish ishlari; zaboyka; skvajinali zaryad; polimerli konus; detonatsiya; maydalash samaradorligi; tog' jinslari; energetik samaradorlik; portlash to'liqini; tog' jinslarini parchalash; parametrlarni optimallashtirish; burg'ilash-portlatish texnologiyalari; detonatsiyaning nazariy modeli.

В статье рассматриваются основные направления развития буровзрывных работ, направленные на повышение эффективности разрушения горных пород. Особое внимание уделено влиянию времени воздействия взрывного импульса и конструкции забойки на качество дробления массива. Приведены результаты исследований динамики истечения продуктов детонации и разработаны новые подходы к расчёту оптимальной длины забойки. Рассматриваются теоретические и экспериментальные модели, анализирующие движение забойки и распределение давления в продуктах детонации. Описан новый метод взрывания скважинных зарядов с использованием полимерной конусной облицовки, способствующий увеличению времени удержания продуктов взрыва в скважине и повышению эффективности дробления породы. Применение данного метода позволяет улучшить использование энергии взрыва, минимизировать потери при детонации и повысить экономическую эффективность буровзрывных работ за счет снижения себестоимости забоечного материала и упрощения технологии его установки.

Ключевые слова: взрывные работы; забойка; скважинный заряд; полимерный конус; детонация; эффективность разрушения; горные породы; энергетическая эффективность; взрывная волна; разрушение горных пород; оптимизация параметров; технологии буровзрывных работ; теоретическая модель детонации.

Интенсивность разрушения горных пород в значительной мере зависит от времени, в течение которого действует взрывной импульс, в связи с этим основными направлениями развития взрывных работ являются: улучшение составов взрывчатых веществ (ВВ) для расширения зоны химической реакции и увеличения эффективности разрушения пород, разработка и применение различных комбинированных зарядов, оптимизация параметров взрывных работ, использование короткозамедленных взрывов, выбор оптимальных условий взрывания и др. [1].

Современные исследования в области взрывного разрушения [2-7] показывают, что интенсивность дробления горных пород в значительной мере зависит от времени, в течение которого действует взрывной импульс и важную роль в данном процессе играет конструкция забойки.

Оптимально подобранная забойка способна удерживать энергию ВВ в скважине, позволяя увеличить время взрывного воздействия на массив горных пород и улучшить качество дробления горной массы.

В связи с этим необходимо уделять особое внимание решению вопросов, связанных с оптимизацией проектирования взрывных

работ, включая точный выбор и размещение забоечных материалов, а также улучшение методов контроля за состоянием и поведением забойки во время взрыва.

Анализ процесса выхода продуктов детонации из скважины [8] позволил сделать следующие основные выводы:

- экспоненциальная зависимость, применяемая для оценки максимального времени истечения продуктов детонации из скважин, не отражает достаточно полно реальные условия взрыва скважинного заряда;

- известные эмпирические закономерности для определения параметров истечения продуктов детонации из скважин не включают в себя анализ динамики изменения давления внутри взрывной полости после вылета забойки;

- при сопоставлении экспериментальных данных с результатами расчётов необходимо учитывать время, необходимое для установления квазистатического давления в продуктах детонации;

- использование обратного инициирования скважинного заряда имеет смысл для ускорения пластических процессов в горных породах, что способствует их более эффективному разрушению;

- при использовании малобризантных ВВ, таких как игданиты,

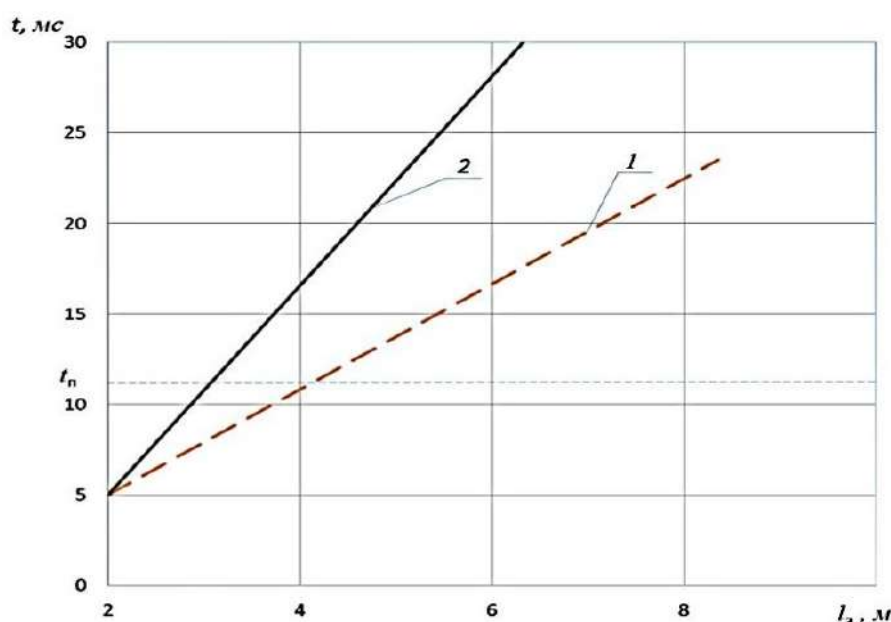


Рис. 1. Зависимость времени спада давления в скважине от длины забойки: 1 – сплошная забойка из песка; 2 – забойка из поглощающей смеси

учёт истечения продуктов детонации из скважин следует проводить при взрыве зарядов в скважинах любого диаметра и при взрыве зарядов в скальных породах.

Разработанные к настоящему времени теоретические формулы для расчета длины забойки не всегда учитывают различные факторы, такие как свойства самой забойки, её степень распора и переуплотнение, влияние направления инициирования на движение забойки, а также зависимость от длины заряда и давления, создаваемого продуктами детонации в скважине. Несмотря на это, данные формулы обеспечивают достаточно точные результаты, пригодные для практического использования в конкретных условиях.

В результате исследований [9-12] получена зависимость для определения оптимальной длины забойки, которая эффективно учитывает время спада давления в скважине и сравнивается с временем полного квазистатического нагружения горных пород (рис. 1). В данном случае эта длина составляет от 4,3 до 5,0 м.

Теоретическая оценка влияния давления на эффективность разрушения породы взрывом ориентирована на изучение воздействия взрывной волны на породу и оценку разрушающего потенциала заряда ВВ. Она не включает анализ формирования полей напряжений в породе и механизмов её разрушения, которые связаны с более глубокими процессами механики разрушения горных пород при использовании ВВ.

Чтобы скважинный заряд выполнял свои основные функции, материал забойки должен обладать достаточной устойчивостью к воздействию взрыва, а его размеры должны быть достаточными для обеспечения закрытости зарядной полости на протяжении времени, необходимого для эффективного разрушения горных пород.

Оптимальную длину забойки рекомендуется определять по формуле [10]:

$$l_z = \beta^3 \sqrt{\frac{Pd \left(Dt_{\rho} \pm l_{зар} \right)^2}{D \gamma_{сп}}} \sqrt{\frac{P}{\tau_{тр}}}, \quad (1)$$

где β – расчётно-экспериментальный коэффициент, учитывающий пластические деформации и характер распределения давления по длине забойки;

P – среднее давление продуктов детонации в скважине, МПа;

d – диаметр скважины, мм;

t_{ρ} – время разрушения массива горных пород, с;

$l_{зар}$ – длина заряда ВВ, м; $\gamma_{зар}$ – плотность заряда ВВ, кг/м³;

$\tau_{тр}$ – интенсивность сил внутреннего трения материала забойки;

D – скорость детонации ВВ, м/с.

При прямом инициировании:

$$Dt_{\rho} \pm l_{зар},$$

а при обратном

$$Dt_{\rho} - l_{зар}.$$

Известно, что при взрыве скважинного заряда ВВ происходят следующие процессы:

- вывод забойки из неподвижного состояния, которому соответствует время t_1 ;

- движение забойки по скважине в течение t_2 ;

- истечение продуктов детонации из скважины после вылета из него забойки с соответствующим изменением давления, причем в последнем случае, если забойка сплошная после вылета она продолжает оказывать противодействие истекающим продуктам детонации и в этом случае уменьшение давления происходит медленнее, чем в случаях истечения продуктов детонации без забойки или с забойкой из сыпучих материалов, которая после вылета разлетается в разные стороны. Время t_1 , в течение которого происходит вывод забойки из неподвижного состояния, определяется тем, что начало перемещения различных частей забойки происходит постепенно по мере вовлечения их в движение так, что процесс перемещения забойки как целого будет происходить только после того, как продольная волна сжатия пробежит вдоль неё, по крайней мере 3-4 раза.

Установлено, что вывод забойки из неподвижного состояния будет определяться следующими явлениями:

- движением частиц друг относительно друга и перераспределение энергии между ними с помощью импульсов напряжения с учётом скорости распространения упругих волн в самих частицах и в порах между ними, заполненных газом;

- сцеплением частиц забойки со стенками скважин и формированием около стенок пограничного слоя;

- переукладкой зёрен при движении, сопровождающейся дилатансией.

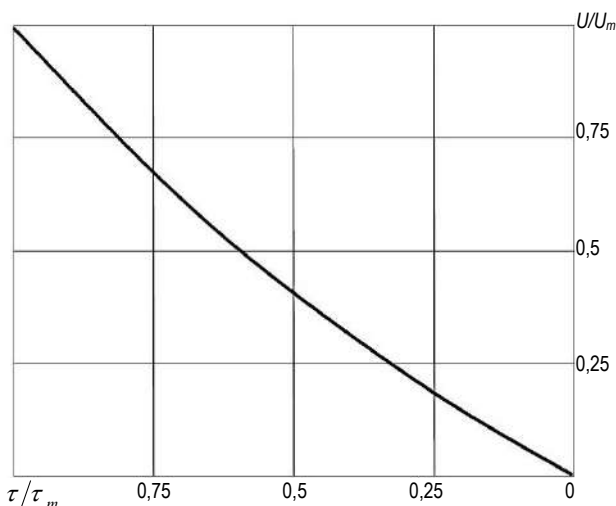


Рис. 2. Распределение массовой скорости газа за фронтом ударной волны

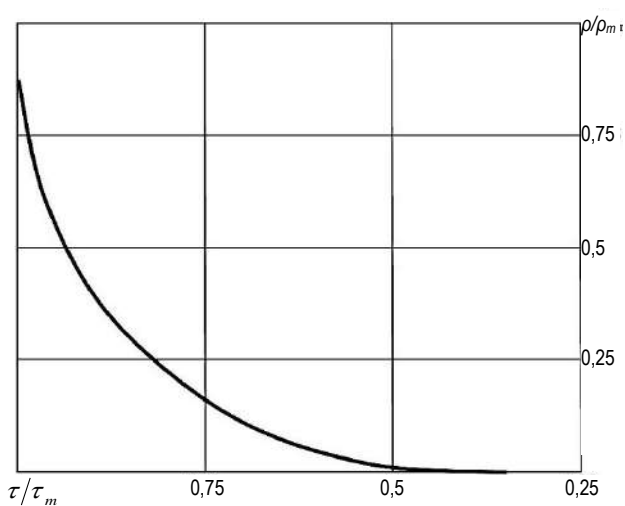


Рис. 3. Распределение плотности газа за фронтом ударной волны

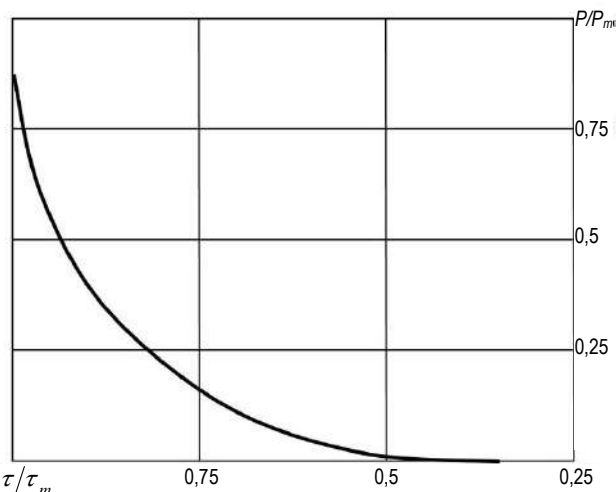


Рис. 4. Распределение давления в газе за фронтом ударной волны

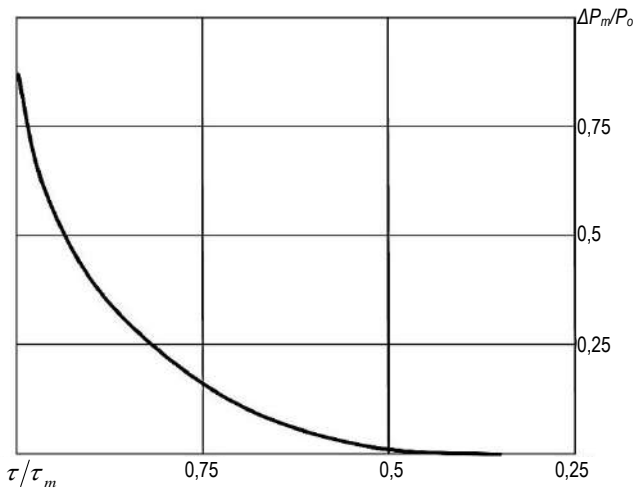


Рис. 5. Зависимость максимального избыточного давления от пройденного ударной волной расстояния

Все эти явления определяются системой следующих внешних и внутренних параметров: давлением P и плотностью ρ продуктов детонации, диаметром скважины d_c , длиной заряда l_3 , плотностью заряда ρ_3 , коэффициентом трения $k_{тр}$, модулем Юнга E , коэффициентом Пуассона ν забойки, скоростью продольных волн в материале забойки $C_{пр}$.

Кроме того, в случае использования поглощающей забойки указанный процесс зависит еще и от приведенного значения коэффициента трения k' , η – коэффициента вязкости, сцепления частиц забоечного материала $C_ч$, диаметра частиц забойки $d_ч$, скорости дилатансии Λ .

Получены результаты [9-12] 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 учётом внешнего воздействия на горную породу.

В результате установлена тенденция увеличения давления P и уменьшения движения для сыпучей забойки $z(t_1)$ по скважине.

Установлено [11], что рациональные параметры забойки зависят от многих факторов, характеризующих свойства ВВ и забоечного материала, конструкцию заряда, а также среду, в которой производится взрыв.

Учитывая внешние воздействия на горную породу, уравнение движения для забойки в скважине задано в виде [12]:

$$m_3 \frac{d^2 z}{dt^2} + \sigma \frac{dz}{dt} + \eta z = a + f(t), \quad (2)$$

с начальными условиями

$$z(0) = z'(0) = 0, \quad (3)$$

где функция $f(t)$ определяет внешнее воздействие и обозначено:

$$a = \frac{S_c P (1 - \sigma)}{m_3}, \quad (4)$$

где S_c – площадь поперечного сечения скважины, m^2 ;

P – давление в продуктах детонации, $Па$;

σ – коэффициент трения скольжения;

η – коэффициент вязкости; m_3 – масса забойки, $кг$.

Установлено [9-12], что качество дробления горных пород взрывом зависит как от главных факторов, обуславливающих физические закономерности образования кусков, так и факторов второстепенных, случайных, характеризующих отклонение от этих закономерностей, что предопределяет статистический характер процесса разрушения горных пород взрывом.

Для эффективного управления разрушением горных пород взрывом необходимо иметь количественное описание взаимосвязей между характеристиками взрываемости пород и применяемых типов ВВ, параметрами расположения и взрыва заряда ВВ в массиве и конечными результатами взрыва.

Проведено исследование [13] обратного инициирования, способствующего повышению эффективности взрыва за счёт увеличения времени воздействия на горную породу продуктами детонации.

После взрыва заряда ВВ в скважине формируется определённое начальное среднее давление. Это давление определяется малой скоростью движения стенок скважины по сравнению со скоростью звука в продуктах детонации вместе с другими параметрами истечения [11]:

$$\bar{\rho} / \rho = ((\gamma + 1) / 2\gamma)^{\frac{2}{\gamma-1}}, \quad \bar{P} / P = ((\gamma + 1) / 2\gamma)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}; \quad (4)$$

$$\bar{P} / P = ((\gamma + 1) / 2\gamma)^{\frac{2}{\gamma-1}}; \quad \bar{C} = 0,5D; \quad \bar{U} = 0. \quad (5)$$

Параметры взрыва в точке Чепмена-Жуге:

$$U_H = D / (\gamma + 1),$$

$$C_H = \gamma D / (\gamma + 1),$$

$$P_H = \rho_0 D^2 / (\gamma + 1),$$

$$\rho_H = \rho_0 (\gamma + 1) / \gamma.$$

В результате проведённых исследований получены графики, отражающие распределение скорости, плотности и давления за фронтом ударной волны в условиях плоско-симметричной конфигурации (рис. 2-4).

На рис. 5 приведена зависимость максимального избыточного давления в скважине от пройденного ударной волной расстояния.

Разработана методика расчёта параметров детонации, позволяющих увеличить время взрывного воздействия на массив горных пород.

Методика расчёта зависимости параметров детонации от плотности заряда ВВ на ударном фронте детонационной волны и на плоскости Чепмена-Жуге основана на экспериментальных данных и теоретических моделях процесса детонации.

План методики выглядит следующим образом:

1. Экспериментальные данные:

– собираются данные о скорости детонационной волны, давлении, температуре и других параметрах взрыва при различных плотностях заряда ВВ;

– проводятся эксперименты с различными типами ВВ, различной формой и размером заряда, а также различными условиями воздействия.

2. Теоретические модели:

– разрабатываются математические модели, описывающие процесс детонации на основе физических законов и уравнений газодинамики;

– модели могут включать в себя уравнения состояния для ВВ, уравнения сохранения массы, импульса и энергии, а также уравнения, описывающие химические реакции, происходящие во время детонации.

В ходе проведённых исследований разработан способ взрыва скважинного заряда ВВ с использованием конструкции из полимерного конуса в забоечной части скважины, позволяющего увеличить время взрывного воздействия на массив горных пород и улучшить качество дробления горной массы.

Согласно данному способу предварительно изготавливают конусную облицовку из полимерного материала толщиной 10 мм. Диаметр облицовки равен расчётному диаметру скважины, высота при этом определяется по формуле:

$$h = \frac{d}{2 \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\alpha}{2} \right)}, \quad (6)$$

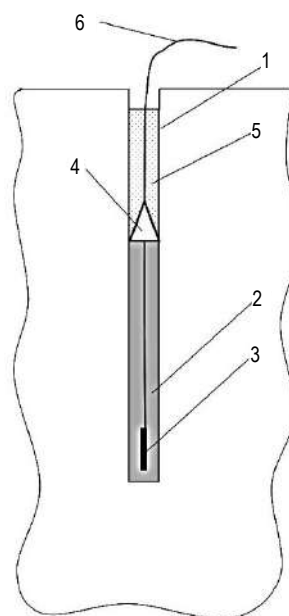


Рис. 6. Способ взрыва скважинного заряда ВВ с использованием конструкции из полимерного конуса в забоечной части скважины: 1 – скважина; 2 – промышленное ВВ; 3 – промежуточный детонатор; 4 – конструкция из полимерного конуса; 5 – забойка; 6 – средство инициирования неэлектрического взрыва (СИНВ)

где d – диаметр облицовки из полимерного материала, мм;

α – угол между стенками облицовки, град.

Оптимальный угол между стенками облицовки должен составлять 40-50°.

Далее во взрываемом массиве горных пород бурятся взрывные скважины и заряжаются промышленным ВВ по паспорту буровзрывных работ для данного карьера.

В скважину над промышленным ВВ опускают конусную облицовку из полимерного материала с вершиной обращенной в устье скважины (рис. 6), производят забойку, длину которой определяют по формуле (1) и взрывают.

Применение забойки с установлением конструкции из полимерного конуса в забоечной части скважины приводит к следующему:

– максимальному высвобождению потенциальной энергии, предотвращению потерь энергии при детонации, т.е. к её полноте;

– обеспечению достаточного времени удержания продуктов взрыва во взрывной полости, необходимого для максимального использования энергии взрыва;

– незначительной себестоимости при изготовлении;

– упрощенной технологии установки устройства во взрывной полости.

Таким образом, разработанный способ взрыва обеспечивает достаточное время для максимального использования энергии взрыва, что особенно важно для качественного дробления массива.

Образуемая при взрыве ударная волна, взаимодействуя с внутренней стенкой конуса, и амортизирующий эффект внутреннего материала способствует формированию пластического расплава и лучшему дроблению массива горных пород, а низкая себестоимость при изготовлении конструкции конуса и простота технологии ее установки в скважину делает новую конструкцию экономически более выгодной и удобной в использовании.

Библиографический список:

1. Норов Ю.Д., Бибик И.П., Заиров Ш.Ш. Управление эффективными параметрами буровзрывных работ по критерию качества взорванной горной массы // Известия вузов. Горный журнал. – Екатеринбург, 2016. – № 1. – С. 58-64.
2. Рубцов С.К., Шеметов П.А. Управление взрывным воздействием на горный массив при открытой разработке месторождений. – Ташкент: Издательство «ФАН» АН РУз, 2011. – 400 с.
3. Современные методы буровзрывных работ // В.Ю. Петров. – Санкт-Петербург: Горное дело, 2020. – 315 с.
4. Насиров У.Ф., Умаров Ф.Я., Заиров Ш.Ш., Шарипов Л.О. Ведение взрывных работ на карьерах Кызылкумского региона // Монография: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 193 с. ISSN 978-620-6-84628-4.
5. Шеметов П.А., Норов Ю.Д. Буровзрывные работы // Учебное пособие. – Навои, 2005. – 207 с.
6. Бибик И.П. Обоснование энергосберегающих технологий взрывных работ на сложноструктурных месторождениях // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: Изд. МГГУ, 2010. – № 8. – С. 102-110.
7. Бибик И.П., Сытенков Д.В. Оптимизация параметров буровзрывных работ // Горный журнал. – М., 2007. – № 5. – С. 48-51.
8. Норматова М.Ж., Заирова Ф.Ю., Фатхиддинов А.У. Анализ способов снижения концентрации пылегазовых выбросов, выделяемых при массовых взрывах на карьерах // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2022. – № 2 (89). – С. 30-32.
9. Насиров У.Ф., Худайбердиев О.Ж., Заирова Ф.Ю. Анализ способов взрывания, позволяющих увеличить время взрывного воздействия на массив и улучшить качество дробления горной массы // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – № 3 (94). – С. 12-15.
10. Умаров Ф.Я., Насиров У.Ф., Ишанходжаев З.К., Заирова Ф.Ю., Ташбуриев Ш.О. Анализ влияния длины забойки в скважинном заряде взрывчатых веществ на процесс разрушения горных пород // Universum: технические науки. – Москва, 2024. – № 7(124). – С. 53-61.
11. Умаров Ф.Я., Худайбердиев О.Ж., Заирова Ф.Ю., Джураева Н.М. Математическое моделирование движения забойки по скважине с учётом погодных условий // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2024. – № 1 (96). – С. 51-54.
12. Умаров Ф.Я., Худайбердиев О.Ж., Джураева Н.М., Заирова Ф.Ю. Влияние температурных факторов внешней среды на истечение продуктов детонации из скважины // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2024. – № 2 (97). – С. 66-68.
13. Умаров Ф.Я., Бибик И.П., Насиров У.Ф., Заирова Ф.Ю. Способ взрывания, позволяющий увеличить время взрывного воздействия на массив горных пород и улучшить качество дробления горной массы // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2023. – № 4 (95). – С. 13-16.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 28-32

INCREASING THE EFFECTIVENESS OF BLASTING OPERATIONS THROUGH OPTIMIZATION OF BOTTOMHOLE PARAMETERS IN WELL CHARGES

¹Umarov F.Ya., Director, Doctor of Technical Sciences, Professor.

²Isaev E.A., Chief Mining Engineer.

³Zairova F.Yu., Engineer of the Department of Innovative Development, PhD.

⁴Mirzalieva M.M., Research Engineer.

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

²LLC «Ahangarancement». Ahangaran, Uzbekistan.

³JSC «Navoi Mining and Metallurgical Combine». Navoi, Uzbekistan.

The article discusses the main directions of development in drilling and blasting operations aimed at increasing the efficiency of rock fragmentation. Special attention is given to the influence of the explosive impulse duration and the design of the bottomhole on the quality of the fragmentation of the mass. The results of studies on the dynamics of detonation product flow are presented, and new approaches to calculating the optimal bottomhole length are developed. Theoretical and experimental models analyzing the movement of the bottomhole and the pressure distribution in the detonation products are considered. A new method of blasting well charges using a polymeric conical lining is described, which helps increase the retention time of the explosion products in the well and enhances the efficiency of rock fragmentation. The application of this method allows for improved utilization of explosion energy, minimizes detonation losses, and increases the economic efficiency of drilling and blasting operations by reducing the cost of bottomhole materials and simplifying the technology for their installation.

Keywords: blasting operations, bottomhole, well charge, polymeric cone, detonation, fragmentation efficiency, rocks, energy efficiency, shock wave, rock destruction, parameter optimization, drilling and blasting technologies, theoretical model of detonation.

Bibliographic list:

1. Norov Yu.D., Bibik I.P., Zairov Sh.Sh. Management of effective parameters of drilling and blasting operations based on the criterion of the quality of blasted rock mass // Izvestiya of Universities. Gornyy zhurnal. – Yekaterinburg, 2016. – No. 1. – P. 58-64.
2. Rubtsov S.K., Shemetov P.A. Management of explosive impact on the rock mass in open-pit mining. – Tashkent: FAN Publishing House of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, 2011. – 400 p.
3. V.Yu. Petrov. Modern methods of drilling and blasting operations. – St. Petersburg: Gornoye delo, 2020. – 315 p.
4. Nasirov U.F., Umarov F.Ya., Zairov Sh.Sh., Sharipov L.O. Conducting blasting operations at quarries in the Kyzylkum region // Monograph: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2023. – 193 p. ISSN 978-620-6-84628-4.
5. Shemetov P.A., Norov Yu.D. Drilling and blasting operations. Textbook. Navoi, 2005. – 207 p.
6. Bibik I.P. Justification of energy-saving technologies for blasting operations in complex-structured deposits // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. – Moscow: MGGU Publishing, 2010. – No. 8. – P. 102-110.
7. Bibik I.P., Sytenkov D.V. Optimization of drilling and blasting operation parameters // Mining Journal. – Moscow, 2007. – No. 5. – P. 48-51.
8. Normatova M.Zh., Zairova F.Yu., Fakhiddinov A.U. Analysis of methods for reducing the concentration of dust and gas emissions during large-scale explosions at quarries // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2022. – No. 2. – P. 30-32.
9. Nasirov U.F., Zairova F.Yu. Analysis of blasting methods to increase the explosive impact duration on the rock mass and improve the quality of rock fragmentation // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2023. – No. 3. – P. 12-15.
10. Umarov F.Ya., Nasirov U.F., Ishankhodjaev Z.K., Zairova F.Yu., Toshburiev Sh.O. Analysis of the influence of bottomhole length in well charges of explosives on the rock fragmentation process // Universum: Technical Sciences. – Moscow, 2024. – No. 7(124). – P. 53-61.
11. Umarov F.Ya., Khudaiberdiev O.Zh., Zairova F.Yu., Juraeva N.M. Mathematical modeling of bottomhole movement in a well considering weather conditions // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2024. – No. 1. – P. 51-54.
12. Umarov F.Ya., Khudaiberdiev O.Zh., Juraeva N.M., Zairova F.Yu. Influence of external temperature factors on the flow of detonation products from the well // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2024. – No. 2. – P. 66-68.
13. Umarov F.Ya., Bibik I.P., Nasirov U.F., Zairova F.Yu. Blasting method that increases the explosive impact duration on the rock mass and improves the quality of rock fragmentation // Gornyy vestnik Uzbekistana. – Navoi, 2023. – No. 4. – P. 13-16.

ПАРАМЕТРЫ РАЗРУШЕНИЯ МАССИВА СКВАЖИНЫМ ЗАРЯДОМ С ЗАБОЙКОЙ ПЕРЕМЕННОГО АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ



Нутфуллоев Г.С.,
начальник
учебно-методического управления
АФ НИТУ «МИСИС»,
д.т.н., доцент



Катанов И.Б.,
профессор кафедры
ОГД КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева
(Российская Федерация, г. Кемерово),
д.т.н.



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



Ризаев А.А.,
старший преподаватель
кафедры «Горное дело»,
АФ НИТУ «МИСИС»

Maqolada burg'ulash mayda zarrachalaridan tayyorlangan qattiq tiqin va o'zgaruvchan agregat holatidagi past zichlikdagi ko'pikli tiqinning fizik mohiyati o'rtasidagi farq haqida ma'lumotlar keltirilgan. Past zichlikdagi penogel materiali tekislanishni ta'minlaydigan omil bo'lib, keyinchalik parchalanayotgan massivga nisbatan penogel zarrachalarining siljish tezligini va uning penogel egallagan bo'shliqqa siljishini va detonatsiya mahsulotlari bosimining ta'sir vaqtini oshiradi. Bunda hosil bo'lgan impuls massivni rostlanadigan maydalash radiusini oshiradi, bu esa quduqlar to'rini 15-20 % ga kengaytirishni tavsiya etish imkonini beradi.

Kalit so'zlar: massiv, jins, quduq, zaryad, portlash, bosim, kuchlanish, tiqin, ko'pik, zichlik, tezlik, siljish, vaqt, impuls.

В статье приводятся сведения о разнице физической сущности твёрдой забойки из буровой мелочи и низкоплотной пеногелевой забойкой с переменным агрегатным состоянием. Показано, что низкоплотный материал пеногеля является тем фактором, который обеспечивает выравнивание, а затем тормозит скорость смещения частиц пеногеля относительно разрушающегося массива и смещения его в пространство, занятое пеногелем и повышая время действия давления продуктов детонации. Формирующийся при этом импульс увеличивает радиус регулируемого дробления массива, что позволяет рекомендовать расширение сетки скважин на 15-20 %.

Ключевые слова: массив, порода, скважина, заряд, взрыв, давление, напряжение, забойка, пеногель, плотность, скорость, смещение, время, импульс.

При взрыве скважинного заряда общее время действия продуктов детонации на массив определяется временем детонации ВВ и сопротивлением материала забойки до начала истечения продуктов детонации в атмосферу.

Сопротивление забойки продуктам взрыва обеспечивается либо за счёт сил трения материала забойки о стенки скважины, либо за счёт зажима забойки смещающейся породой стенок скважины.

Скорость смещения частиц твёрдой забойки из буровой мелочи соизмерима с массовой скоростью частиц разрушаемого массива, поэтому она выбрасывается из устья скважины раньше времени образования трещин.

Забойка с переменным агрегатным состоянием состоит из пеногеля, в состав которого входят твердеющие и не твердеющие вспененные гелеобразующие вещества. Такая низкоплотная забойка характеризуется скоростью смещения частиц, которая уменьшается значительно быстрее, чем скорость смещения частиц массива, разрушаемого взрывом.

Разница скоростей смещения частиц массива и низкоплотной забойки обеспечивает смещение стенок скважины на величину, обеспечивающую повышение давления продуктов детонации и эффективную передачу энергии взрыва в массив [1].

Теоретическая зависимость $P=F(t)$, выведенная Г.И. Покровским [2] характеризует действие взрыва заряда в среде как функцию времени.

За время взрыва разрушение горного массива характеризуется бризантным и фугасным действием продуктов детонации.

Бризантное разрушение массива является результатом воздействия ударной волны в объёме не более 1 ш от объёма дробления, определяется характером головной части импульса и выражается в интенсивном переизмельчении и переуплотнении породы [3-7]. Для большинства промышленных ВВ основная доля из общей энергии взрыва приходится на фугасное действие. Это обстоятельство объясняется тем, что к моменту полного расширения ПД содержащего более 50% от общей энергии взрыва, тогда как в зону напряжений переходит не более 15% [8-12].

Методология исследования.

Основываясь на опыте применения скважинных зарядов с низкоплотной забойкой, обеспечивающих повышение эффективности подготовки породы к экскавации взрывом, необходимо оценить техническое решение использования нового состава пеногелевой забойки в скважинном заряде, которое позволит повысить эффективность разрушения массива и уменьшить зону нерегулируемого дробления. Расчёт изменений пространственно-временных параметров разрушения породного массива с крепостью породы, представляющей более 60% от общего объёма вскрыши на карьерах Узбекистана скважинными зарядами ВВ типа «Эмульгит-30» с различным материалом забойки, позволяет установить изменение величины давления продуктов детонации [13]:

$$P = e \cdot P_{cp} \left[\left(\frac{t}{t_{H1}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot e^{-1 \left(\frac{t}{t_{H1}} \right)^{\frac{2}{3}}} \right], \quad (1)$$

где P_{cp} – начальное давление ПД;

t_6 – время воздействия ПД;

t_{n1} – время нарастания давления ПД.

Время нарастания давления ПД определится временем детонации заряда ВВ и продолжительностью эффективного сдерживания ПД в скважине:

$$t_{n1} = t_0 \cdot t_s, \quad (2)$$

где t_0 – время детонации заряда ВВ:

$$t_0 = \frac{l_3}{D}, \quad (3)$$

где l_3 – длина заряда;

D – скорость детонации ВВ.

Время смещения забойки зависит от соотношения ее массовой скорости с частицами массива. Взаимодействие частиц в массиве и пеногелевой забойке, смещающихся со скоростью, которая изменяется в массиве от максимальной до критической величины 2-5 м/с, предопределяет пережатие скважины на величину, равную 32 радиусам заряда, продуктами разрушения породы, что в среднем составляет около 4,0 м.

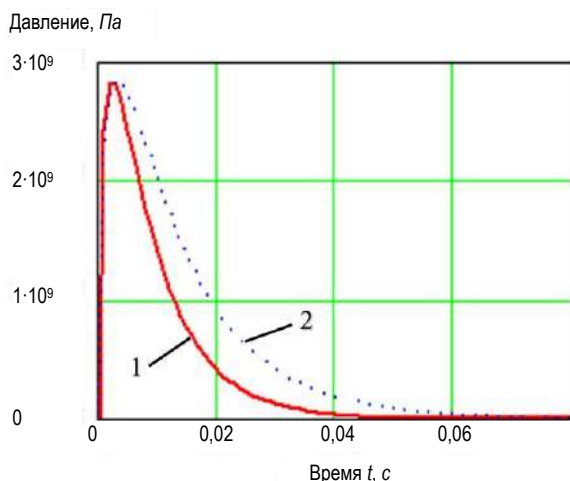


Рис. 1. Изменение давления зависимости от времени воздействия на массив ПД скважинного заряда: 1 – с забойкой из буровой мелочи; 2 – с пеногелевой забойкой

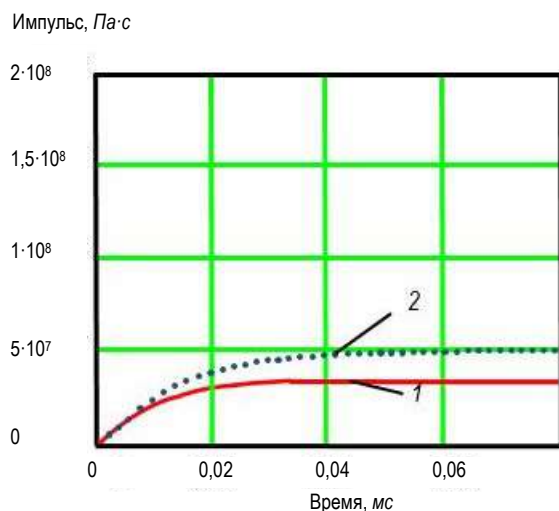


Рис. 2. Изменение удельного импульса скважинного заряда: 1 – с забойкой из буровой мелочи; 2 – с пеногелевой забойкой

Результаты.

Время выброса твердой забойки со средней скоростью около 100 м/с, происходит за 6-10 мс, что почти в 3-5 раз быстрее, чем при использовании низкоплотной, пористой (пеногелевой) забойки переменного агрегатного состояния. Это обстоятельство позволяет, используя формулу (1) получить зависимость изменения давления продуктов детонации при взрыве скважинного заряда с забойками из разного материала (рис. 1).

Из графика видно, что давление продуктов детонации скважинного заряда с пеногелевой забойкой падает в 1,5 раза медленнее, чем при забойке из буровой мелочи, что оказывает влияние на увеличение удельного импульса.

Действие взрыва заряда ВВ в горной среде характеризуется импульсом давления в зарядной камере, которое возбуждает в массиве импульс напряжений. Импульсы давления определяются изменением его величины во времени и интервалом времени приложения нагрузки. Параметры импульса напряжения в горной среде определяются параметрами импульса давления в зарядной камере [14, 15].

$$I = \int_0^t P(t) dt, \quad (4)$$

где P – максимальное давление на стенки зарядной камеры, Па;

t – время, с.

Изменение параметров импульса возможно за счет изменения начального давления продуктов детонации и времени его воздействия на горный массив. Поэтому, пеногелевая забойка является резервом повышения качества подготовки вскрышных пород взрывным способом за счет расширения радиуса зоны регулируемого дробления пород скважинным зарядом без увеличения удельного расхода ВВ (рис. 2).

Взрывной импульс в сплошной среде имеет положительную и отрицательную фазы. При наличии двух свободных поверхностей (уступа) движения массива в их сторону начинается только после действия положительной фазы, характеризуемой временем детонации заряда и нарастанием давления до максимума, временем, в течение которого давление в скважине остается практически неизменным и временем всплывания призмы выброса под действием остаточного давления продуктов взрыва, под действием которого расширившиеся газы начнут проникать в трещины, образованные тангенциальной составляющей прямой волны сжатия и истекать из скважины.

Под воздействием удельного импульса формируется поверхность первичного поля напряжений. Если конструкция скважинного заряда способствует повышению удельного импульса, как, например, с пеногелевой забойкой переменного агрегатного состояния, то можно провести сравнение двух зарядов [16]:

$$\frac{I_1}{S_1} = \frac{I_2}{S_2} \quad (5)$$

где I_1, I_2 – импульсы взрывов скважинных зарядов разным материалом забойки;

S_1, S_2 – площади поверхностей первичного поля напряжения тех же зарядов.

Для цилиндрического скважинного заряда расстояние от его продольной оси до поверхности, ограничивающую зону разрушения, будет равно радиусу некоторого тела вращения вокруг продольной оси. При этом размеры радиуса зоны ослабления массива горных пород вокруг скважинного заряда в сравнении с инертной забойкой увеличиваются. Тогда, по известному радиусу R_1 зоны разрушения вокруг скважинного заряда с твердой забойкой, образующейся при импульсе I_1 , можно оценить размер зоны разрушения радиусом R_2 для скважинного заряда с пеногелевой забойкой переменного агрегатного состояния, формирующим импульс I_2 :

$$R_2 = \left(I_2 \frac{R_1^2}{I_1} \right)^{0.5}, \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что если импульс взрыва имеет некоторое значение, при котором радиус зоны разрушения породы известен, то при увеличении импульса относительно этой величины, радиус зоны разрушения должен увеличиваться по степенной зависимости, асимптотически приближаясь к некоторой критической величине.

Радиус зоны разрушения массива, рассчитанный по формуле (6), зависит от импульса взрывного заряда ВВ, при этом качество дробления остается постоянным.

Увеличение радиуса зоны дробления массива для рассматриваемых параметров взрывных работ можно оценить коэффициентом, учитывающим влияние пеногелевой забойки. Видно, что в зоне разрушения массива под воздействием поля напряжений, его величина равна $k_f=1,15-1,25$ (рис. 3).

Используя коэффициент k_f , учитывающий изменение радиуса зоны дробления массива за счет применения пеногелевой забойки, можно рекомендовать провести опытные взрывы на карьере с увеличенными на 15-25% параметрами сетки скважин.

Таким образом, общими предпосылками к повышению фугасного действия скважинного заряда за счет запирающего действия низкоплотной, пористой, например, пеногелевой забойки по сравнению с твердой забойкой из буровой мелочи, являются способность сжатия пузырьков смесей и более интенсивное затухание массовой скорости её частиц по сравнению с массовой скоростью частиц горного массива, что способствует пережатю канала скважины и повышает время воздействия ПД на массив, обеспечивая увеличение удельного импульса, а, следовательно, и величину радиуса зоны регулируемого дробления.

Закключение.

В результате теоретических исследований взаимодействия физических явлений, происходящих при взрыве заряда ВВ в горном массиве и забойке, сформулирован методический подход к обоснованию качественного изменения пространственно-временных параметров, влияющих на разрушение породы в зоне, прилегающей к

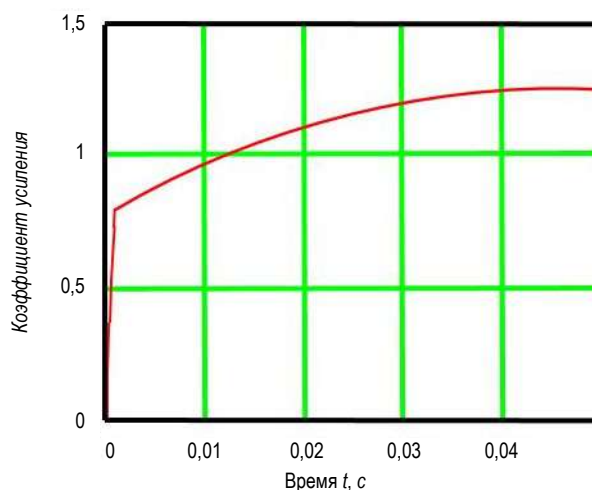


Рис. 3. Изменение коэффициента, учитывающего влияние пеногелевой забойки скважинного заряда на радиус зоны дробления

незаряженной ВВ части скважины при конструкции заряда с пеногелевой забойкой переменного агрегатного состояния с изменяющимися структурными характеристиками.

2. Время запирания продуктов детонации в зарядной камере забойкой из пеногеля составляет 0,025-0,030 с, что в 3-5 раз больше по сравнению с забойкой из буровой мелочи.

Практическое применение пеногеля переменного агрегатного состояния в конструкции скважинного заряда состоит в целесообразности заполнения пространства незаряженной взрывчатой частью скважины, что обеспечит условия пережатия канала разрушенной породой, прилегающей к стенке скважины.

Для верификации прогноза эффективности пеногелевой забойки с теоретически обоснованными характеристиками необходимо провести промышленные испытания взрывов скважинных зарядов с пеногелевой забойкой в условиях карьера.

Библиографический список:

1. Катанов И.Б. Низкоплотные материалы в конструкции скважинных зарядов на карьерах // И.Б. Катанов, В.С. Федотенко. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2012. – 124 с.
2. Покровский Г.И. Взрыв. – М.: Недра, 1973. – 182 с.
3. Мосинец В.Н. Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах. – М.: Недра, 1976. – 271 с.
4. Мельников Н.В. Энергия взрыва и конструкция заряда // Н.В. Мельников, Л.Н. Марченко. – М.: Недра, 1964. – 132 с.
5. Апин А.Я. Влияние плотности и состава взрывчатого вещества на импульс взрыва // А.Я. Апин, Е.П. Бардин Н.Ф. Велина // Сб. Взрывное дело № 52/9. – М.: Госгортехиздат, 1963. – С. 90-102.
6. Hawkes J. A study of stress waves in rock and the blasting action of an explosive charge. *Colliery Engineering*, 1959. No. 425. Pp. 299-307.
7. Langefors U., and B. Kihlstrom, *Rock Blasting*, Almqvist & Wiksell, Stockholm, 1963.
8. Барон В.Л. Техника и технология взрывных работ в США // В.Л. Барон, В.Х. Контор. – М.: Недра, 1989. – 376 с.
9. Баум Ф.А. Импульсы взрыва, обусловленные боковым распором забойки в скважине // Ф.А. Баум, Н.С. Санасарян // Сб.: Взрывное дело № 59/16. – М.: Госгортехиздат, 1966. – С. 28-32.
10. Гнутов В. В. Исследование параметров импульса скважинных зарядов игданита и ВВ на его основе // Сб.: Взрывное дело № 88/45. – М.: Недра, 1986. – С. 129-135.
11. Кутузов Б. Н. Методы ведения взрывных работ. Ч.1. Разрушение горных пород взрывом: Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – С. 436-437.
12. Белин В.А. Технология и безопасность взрывных работ // В.А. Белин, Б.Н. Кутузов, М.И. Ганопольский и др. // – М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. – 424 с.
13. Друкованый М.Ф. Управление действием взрыва скважинных зарядов на карьерах // М.Ф. Друкованый, В.С. Куц, В.И. Ильин. – М.: Недра, 1980. – 223 с.
14. Баум Ф.А., Бержец М.А. Определение начальных параметров ударных волн в горных породах в условиях контактного взрыва и закона сжимаемости пород при высоких давлениях // Ф.А. Баум, М.А. Бержец // Сб.: Взрывное дело № 49/6. – М.: Госгортехиздат, 1962.
15. Khanikayev A.N. *Physical Nature of Rock Breakage, Problems of the Theory of Destruction of Rocks by Explosives*, Publishing House of Academy of Science, USSR/ Moscow, 1958. Pp. 6-58.

16. Катанов И.Б. Модель расчета зоны дробления горного массива зарядами ВВ с низкоплотными смесями // Вестник Кузбасского технического университета. – № 4. – Кемерово: «Вестник КузГТУ», 2006. – С. 32-36.

17. Катанов И.Б. Фугасное действие продуктов детонации при использовании пеногеля в конструкции скважинного заряда // Вестник Кузбасского технического университета. – № 6. – Кемерово: «Вестник КузГТУ», 2010. – С. 33-36.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 33-36

PARAMETERS OF MASS DESTRUCTION WITH A WELL CHARGE WITH A VARIABLE AGGREGATE STATE BOTTOMHOLE

¹Nutfulloiev G.S., Head of the Educational and Methodical Department, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: gafurcom@mail.ru.

²Katanov I.B., Professor of the Department of Open-pit Mining, Doctor of Technical Sciences.

¹Zairov Sh.Sh., Head of the Sector of Scientific Research, Innovations, and Training of Scientific and Pedagogical Personnel, Doctor of Technical Sciences, Professor. E-mail: sher-z@mail.ru /

¹Rizaev A.A., Senior Lecturer of the Department of Mining Engineering.

¹Almalyk Branch of the National University of Science and Technology "MISIS". Almalyk, Uzbekistan.

²Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachov. Russian Federation, Kemerovo.

The article provides information on the difference in the physical nature between a solid bottomhole consisting of drilling cuttings and a low-density foam gel bottomhole with a variable aggregate state. It is shown that the low-density foam gel material is the factor that ensures alignment and then slows the displacement speed of the foam gel particles relative to the destroyed mass and their movement into the space occupied by the foam gel, thus increasing the time the detonation products' pressure acts. The impulse formed in this process increases the radius of regulated fragmentation of the mass, which allows for recommending an expansion of the well network by 15-20%.

Keywords: mass, rock, well, charge, explosion, pressure, stress, bottomhole, foam gel, density, speed, displacement, time, impulse.

Bibliographic list:

1. Katanov I.B. Low-density materials in the design of well charges in quarries // I.B. Katanov, V.S. Fedotenko. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2012. – 124 p.
2. Pokrovsky G.I. Explosion. – Moscow: Nedra, 1973. – 182 p.
3. Mosinets V.N. Blasting and seismic effects of an explosion in rocks. – Moscow: Nedra, 1976. – 271 p.
4. Melnikov N.V. Explosion energy and charge design // N.V. Melnikov, L.N. Marchenko. – Moscow: Nedra, 1964. – 132 p.
5. Apin A.Ya. The effect of the density and composition of explosive substances on the impulse of an explosion // A.Ya. Apin, E.P. Bardin, N.F. Velina // Collection "Explosive Science" No. 52/9. – Moscow: Gosgortechizdat, 1963. – Pp. 90-102.
6. Hawkes J. A study of stress waves in rock and the blasting action of an explosive charge. Colliery Engineering, 1959. No. 425. Pp. 299-307.
7. Langefors U., and B. Kihlstrom, Rock Blasting, Almgvist & Wiksell, Stockholm, 1963.
8. Baron V.L. Techniques and technology of blasting work in the USA // V.L. Baron, V.H. Kontor. – Moscow: Nedra, 1989. – 376 p.
9. Baum F.A. Explosion impulses caused by the lateral expansion of the bottomhole in a well // F.A. Baum, N.S. Sanasaryan // Collection: "Explosive Science" No. 59/16. – Moscow: Gosgortechizdat, 1966. – Pp. 28-32.
10. Gnutov V.V. Study of impulse parameters of well charges of igdarnite and explosives based on it // Collection: "Explosive Science" No. 88/45. – Moscow: Nedra, 1986. – Pp. 129-135.
11. Kutuzov B.N. Methods of conducting blasting work. Part 1. Destruction of rocks by explosion: Textbook for universities. – Moscow: Publishing House "Gornaya Kniga", 2007. – Pp. 436-437.
12. Belin V.A. Technology and safety of blasting work // V.A. Belin, B.N. Kutuzov, M.I. Ganopolsky, et al. // – Moscow: Publishing House "Gornoye Delo" LLC "Kimmerian Center", 2016. – 424 p.
13. Drukovany M.F. Management of the action of well charges in quarries // M.F. Drukovany, V.S. Kuts, V.I. Ilyin. – Moscow: Nedra, 1980. – 223 p.
14. Baum F.A., Berezhets M.A. Determination of initial parameters of shock waves in rocks under conditions of contact explosion and the law of rock compressibility at high pressures // F.A. Baum, M.A. Berezhets // Collection: "Explosive Science" No. 49/6. – Moscow: Gosgortechizdat, 1962.
15. Khanukayev A.N. Physical Nature of Rock Breakage, Problems of the Theory of Destruction of Rocks by Explosives, Publishing House of Academy of Science, USSR/Moscow, 1958. Pp. 6-58.
16. Katanov I.B. Model of calculating the crushing zone of the rock mass with explosive charges using low-density mixtures // Bulletin of Kuzbass State Technical University. – No. 4. – Kemerovo: "Bulletin of KuzGTU", 2006. – Pp. 32-36.
17. Katanov I.B. Fugitive action of detonation products when using foam gel in the design of a well charge // Bulletin of Kuzbass State Technical University. – No. 6. – Kemerovo: "estnik of KuzGTU", 2010. – Pp. 33-36.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ХВОСТОХРАНИЛИЩА № 1 ГМЗ-2 АО «НГМК»)



Исоков М.У.,
ректор
Университета геологических наук
д.г.-м.н., профессор



Исаев М.С.,
заместитель главного геолога
по геоинформационным технологиям
АО «НГМК»

Мақоллада «НГМК» АЖ ГМЗ-2нинг 1-сон чиқиндилар ombori misolida kon-metallurgiya sanoatining texnogen чиқиндиларни istiqbol-larini baholashning o'ziga hos hususiyatlari va usullari ko'rib chiqilgan. Tabiiy qazib olinayotgan ma'danlarning sifatini pasayishi va kon-geologik sharoitlarning yomonlashishi, ayniqsa qimmatbaho metallarga bo'lgan talabining va narhning ortishi texnogen чиқиндиларining mineral-xom ashyo manbalarini sifatida ahamiyatining oshishiga olib kelmoqda. Texnogen чиқиндиларini geologik baholash samaradorlig-ini oshirish va ulardan sanoatda foydalanishning iqtisodiy maqsadga muvofiqligini yaxshilash uchun kelgusi tadqiqotlar yo'nalishlari taklif qilingan.

Kalit so'zlar: texnogen чиқиндилар, geoloqiya-qidiruv ishlari, чиқиндилар ombori, namunalash, mineral, blokli model.

В статье рассмотрены особенности оценки ресурсного потенциала техногенных отходов горно-металлургического производства на примере хвостохранилища № 1 ГМЗ-2 АО «НГМК». Снижение качества добываемых руд и ухудшение горно-геологических условий приводят к увеличению роли техногенных отходов как потенциального источника расширения минерально-сырьевой базы. Особое внимание уделяется хвостохранилищам, которые являются важнейшим источником техногенного сырья, особенно с учетом роста цен и спроса на драгоценные металлы. Предложены направления дальнейших исследований для повышения эффективности геологической оценки техногенных отходов и улучшения экономической целесообразности их использования в промышленности.

Ключевые слова: техногенные отходы, хвостохранилища, геологоразведочные работы, опробования, минерал, блочная модель.

Снижение в мировом масштабе качества добываемых руд и ухудшение горно-геологических условий на глубоких горизонтах природных месторождений, обуславливают день за днём большое значение техногенных отходов, как единственного источника расширения минерально-сырьевой базы горно-металлургического производства в ближайшей перспективе.

Особенно с ростом спроса и цен металлов (драгоценных, цветных, редкоземельных) горные компании мира остро нуждаются в переосмыслении стратегии использования своего природоресурсного потенциала.

Наряду с традиционным освоением недр, проблема вовлечения в переработку техногенного сырья очень важна и включает в себя экономию невозобновляемых в природе минеральных ресурсов, уменьшение антропогенной нагрузки на окружающую среду, здоровье будущих поколений.

Опыт вторичной переработки техногенных отходов горнодобывающих компаний стран Европы и Северной Америки показывает, что затраты их на переработку составляют 15-30 % затрат на добываемую руду, а себестоимость готовой продукции ниже в 2-3 раза [1].

Одним из важнейших, а может быть и самым главным, источником техногенного сырья являются хвостохранилища горно-

металлургических производств. Хвостохранилища занимают более 80% площади любого горнорудного проекта.

Основные положительные особенности хвостохранилищ:

- расположены в регионах в развитой инфраструктурой;
- находятся на поверхности, не требуются буровзрывные работы для добычи, основные затраты, связанные с добычей и переработкой (измельчение) уже понесены, что является положительным фактором для экономической оценки.

Основные отрицательные особенности хвостохранилищ:

- складирование требует исключения из хозяйственного оборота больших площадей земель;
- предъявляют очень высокие требования безопасности, имеют значительное отрицательное влияние на окружающую среду;
- технологическая сложность переработки, так как из-за многообразия минералов и вещественного состава, а также сложные матрицы формы нахождения ценных элементов требуют иные технологии, чем для природных руд [2].

К сожалению, все перечисленные положительные качества хвостохранилищ не используются в должной мере, а отрицательные не исчезают.

Для решения данных задач в АО «НГМК» проводится ряд научно-практических работ по вовлечению в промышленное осво-



Рис. 1. Схема расположения хвостохранилища № 1 ГМЗ-2

Таблица 1

Статистические результаты изменения содержания в разных комбинациях разведочной сети

| Комбинация сети бурения, м | Разница содержаний, % | Коэффициент вариации |
|----------------------------|-----------------------|----------------------|
| 20x20 | 100 | 0.392 |
| 60x20 | 94.5 | 0.332 |
| 80x20 | 95.7 | 0.435 |
| 120x20 | 94.4 | 0.314 |
| 80x40 | 99.8 | 0.402 |
| 120x40 | 98.2 | 0.323 |
| 60x60 | 97.5 | 0.311 |

ение техногенных отходов переработки. Данные работы проводятся в три этапа:

1 этап. Количественная и качественная оценка ценных компонентов. Данный этап включает в себя геологоразведочные работы, состоящие из буровых, опробовательских, аналитических работ. Кроме этого, на данном этапе проводятся камерально-тематические работы по обработке полевых материалов. Результатом этого этапа является подсчет запасов ценных компонентов (металлов) в техногенных отходах.

2 этап. Разработка технологии извлечения ценных компонентов. Данный этап начинается с отбора представительных технологических проб.

Потенциальные участки для отбора технологических проб определяются по результатам геологоразведочных работ. По отобранному технологическим пробам проводится ряд лабораторных и полупромышленных исследований для разработки оптимальных технологических схем извлечения ценных компонентов. Результатом этого этапа является технологический регламент переработки техногенных отходов.

3 этап. Разработка технико-экономического обоснования промышленного освоения техногенных отходов. На данном этапе проводится экономическая оценка рентабельности промышленного освоения техногенных отходов. При положительных технико-экономических оценках будет построено промышленное предприятие по переработке техногенных отходов.

Ярким примером успешной реализации в реальность всех трех этапов является Гидрометаллургический завод № 7 (ГМЗ-7), который в настоящее время проводит переработку техногенных отходов цеха кучного выщелачивания золота (ЦКВЗ). Но объектом исследований настоящей работы не являются техногенные отхо-

ды переработки ЦКВЗ, а упомянутый ГМЗ-7 является доказательством, что исследования техногенных отходов, это не пустая трата времени и средств, а задел перспективного инвестиционного проекта.

Объект исследований.

Объектом исследований являются отвальные хвосты хвостохранилища № 1 ГМЗ-2, сформированные в результате переработки руд месторождения Мурунтау на начальных стадиях промышленного освоения.

Хвостохранилище № 1 расположено в 8 км к югу от ГМЗ-2 (рис. 1). Хвостохранилище было построено на момент запуска ГМЗ-2 (1969 г.) и действовало с 1975 г. до его проектного заполнения. В настоящее время карта 1-2 рекультивирована.

По картам 3-4 и 5-6 подача хвостов производится в течение месяца раз в год для увлажнения пляжей с целью предотвращения пыления.

Нахождение тех или иных элементов в отвальных хвостах гидрометаллургических заводов зависит от исходного содержания руды, минеральных ассоциаций источника сырья, формы нахождения и степени сквозного извлечения ценных элементов с учётом особенности применяемых технологий.

Источниками образования отвальных хвостов хвостохранилища № 1 являются золотосодержащие руды месторождения Мурунтау, добытые и переработанные из начальных этапов освоения.

В геологическом отношении месторождение Мурунтау приурочено к северной части Центрально-Кызылкумского золоторудного района и восточному флангу Южнотамдытауской рудной зоны, который входят в состав Кызылкумской металлогенической зоны/

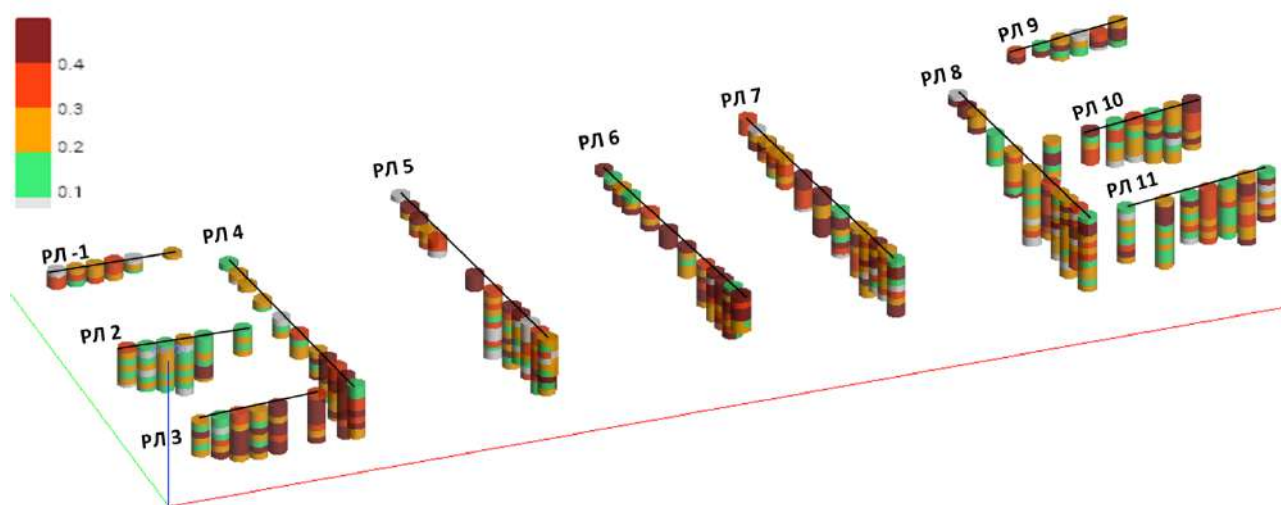


Рис. 2. 3D визуализация пробуренных скважин (на примеры карты 1-2)

Минеральный состав хвостов

Таблица 2

| Распространённость | Гипогенные минералы | | Гипергенные минералы |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | нерудные | рудные | |
| Главные, широко распространённые (встречаются постоянно) | Кварц, плагиоклаз, мусковит (серицит), КПШ, | Пирит, арсенопирит, золото самородное, электрум, серебро самородное, мальдонит, акантит, пираргирит, прустит | Гидроксиды железа (гетит, лимонит, скородит) |
| Средне-распространённые. (встречаются спорадически) | Биотит, хлорит, доломит, кальцит, сидерит, амфибол, пироксен | Шеелит, тетрадимит, халькопирит, пирротин, галенит, сфалерит, лёлленгит, тетраэдрит, теннантит, пиролюзит, теллурувисмутит, рутил, ильменит, магнетит, хедлиит, пильзенит, марказит, антимонит | Куприт, халькозин, ковеллин, псиломелан, гематит, ярозит, гипс, ангидрит, барит, |
| Аксессуарные (редко встречающиеся в единичных зернах) | Титанит (сфен), циркон, торит, апатит, ксенотим, монацит, анальцим, пироп | Торианит, касситерит, молибдит, макиновит, уранинит, брёггерит, анатаз, ферберит, титаномагнетит, галеновисмутин, вюртцит, троилит, герсдорфит, борнит, буланжерит, изокубанит, кубанит, самородное железо, самородная медь | Бисмит, молибдит, пирохроит, тенорит, оксид свинца, кобальта, гидроцинкит, церрусит, англезит |

На месторождение Мурунтау комплекс доайковых гидротермально-метасоматических минеральных ассоциаций включает две ассоциации, которые являются основными продуктивными на золото. Количество золота, связанного с ними, составляет 85 % от баланса металла. Это шеелит-золото-карбонат-хлорит-калишпат-кварцевая ассоциация и шеелит-золото-кварцевая субассоциация, которая является несколько более поздней. Особенностью этого комплекса является практическое отсутствие в его составе серебра.

Комплекс последайковых минеральных ассоциаций начинается золото-арсенопирит-пирит-кварцевой ассоциацией, которая чётко рассекает и изменяет дайки. Содержит около 10 % промышленных запасов золота. В арсенопирите содержание золота колеблется от 1 до 50 г/т, в пирите - 3-3,5 г/т.

Далее установлены (в возрастной последовательности) пирит-кварц-альбит-турмалиновая, полисульфидно-карбонат-кварцевая, серебро-адуляр-карбонат-кварцевая, киноварь-кварц-диккитовая и кварц-карбонатная (завершающая) ассоциации [3].

С целью определения полезных компонентов, особенности их распределения, минерального и вещественного состава, технологических показателей переработки и оценки ресурсного потенциала, по территории хвостохранилища № 1 были проведены геолого-разведочные работы.

Методика геологоразведочных работ на объекте исследования. К сожалению, для таких типов «месторождений» как хвостохранилища, научно обоснованных методов определения наиболее рациональной плотности сети разведочных выработок до сих пор

не разработано. Методические указания и инструкции Государственной комиссии по запасам (ГКЗ) для техногенных месторождений отсутствуют.

Исходя из этого для разработки методики первоначально были проведены обзор и анализ максимально имеющейся литературы и отчетов по изучению техногенных отходов. При этом, было обращено особое внимание к типу и густоте сети бурения, длине поинтервального опробования и типу аналитических работ. К примеру, скважины на восточной части хвостохранилища Маржанбулакского золотоизвлекательного участка (МЗИУ) пробурены по сетке 20x20, а пробы отобраны 2 метровыми интервалами. Техногенные отходы цеха кучного выщелачивания (ЦКВЗ) пробурены групповыми скважинами в шахматном порядке, при этом каждая группа состоит из 16 скважин, расположенных по сетке 50x50, а пробы отобраны 5 метровыми интервалами. Оценка перспектив пляжной зоны хвостохранилища № 1 МОФ АО «АГМК» была проведена бурением скважин по профилям. При этом, расстояние между профилями составляло в среднем 500 м, а шаг между скважинами 80-100 м [1]

Таким образом, анализируя имеющиеся материалы, выделялось 2 важных вопроса по выбору методики разведки объекта исследования:

1. Плотность сети разведочных выработок.
2. Длина поинтервального опробования.

Для анализа плотности сети были проведены статистические расчёты на базе существующих результатов бурения по хвостохранилищу МЗИУ. Анализ плотности сети проведён путём после-

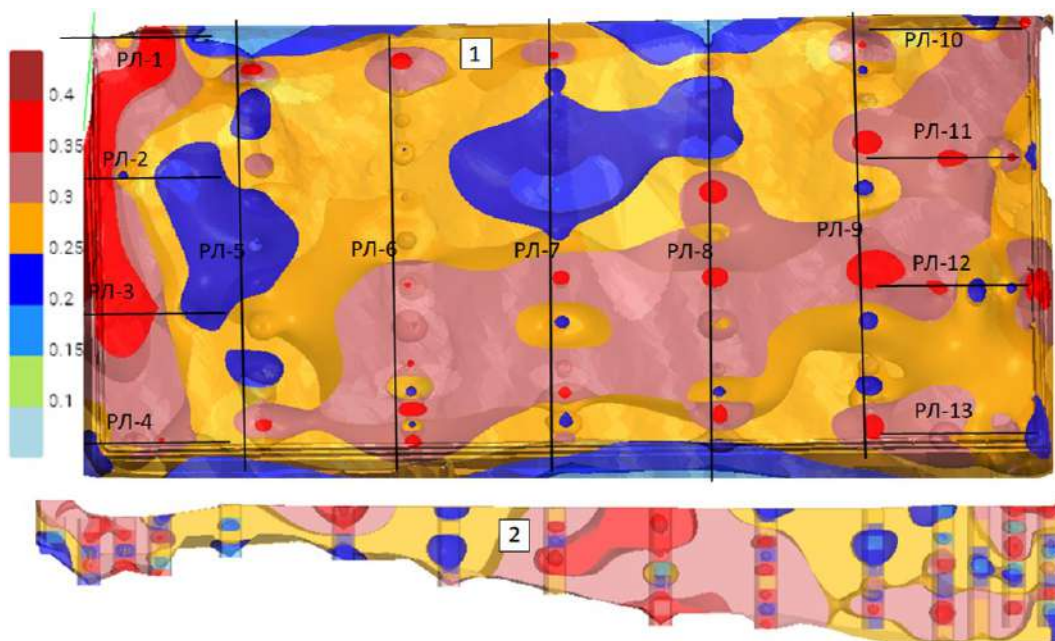


Рис. 3. Изокартасы распределения содержаний золота на примере карты 5-б: 1 – вид в плане, 2 – вид в разрезе по РЛ-9

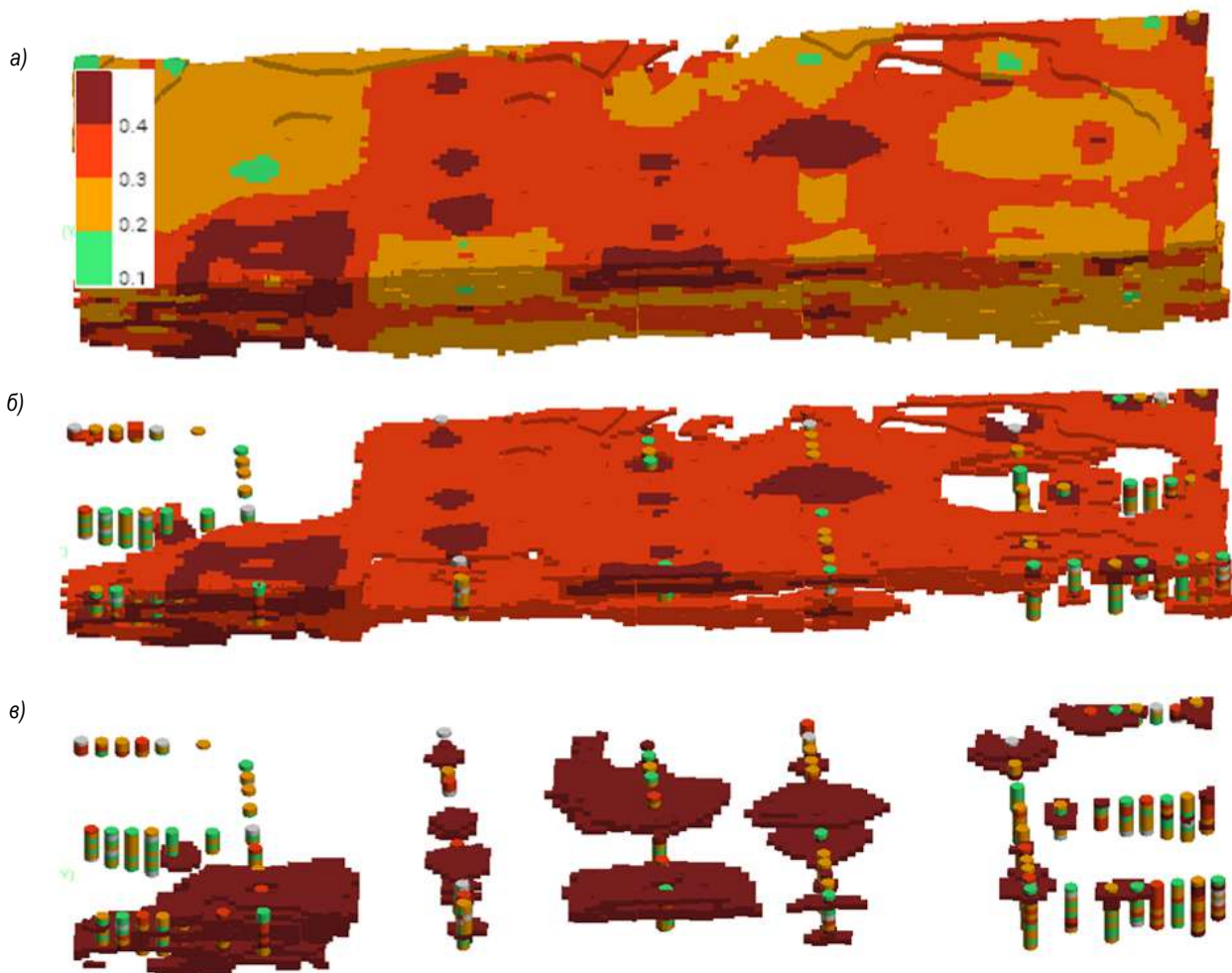


Рис. 4. Блочная модель на примере карты 1-2: а) – борту 0,1 г/т (общие) – 100 %; б) – по борту 0,3 г/т, 48 % от общих; в) – по борту 0,4 г/т, 12 % от общих

довательного разрежения результатов опробования по разной комбинации разведочной сети и сравнения их результатов по сети 20х20, так как для этого случая сеть 20х20 является самой густой сетью опробования и, соответственно, является самой достоверной.

Ниже в *табл. 1* приведены статистические результаты сравнения при разных комбинациях сети.

Из расчетов, приведенных в *табл. 1*, можно сделать вывод, что на начальных стадиях изучения хвостов необходимо применять более разреженную сеть бурения, так как разница в среднем содержании бурением по сети 120х40 или 80х40 не достигает 2 % к среднему содержанию бурением по сети 20х20.

В целом, анализ показывает, что соблюдение принципа «Последовательных приближений» очень важно также для геологоразведочных работ на техногенных отходах. [4]

Исходя из принципа, по объекту исследований с учётом начальной стадии работ, была выбрана густота сети для бурения относительно разрежена, при этом, расстояние между профилями составило от 350 до 450 м, а между скважинами от 50 м в пляжной зоне до 150 м к центру.

Ориентировка профилей бурения располагалось перпендикулярно пляжной зоне и дамбе хвостохранилища. (*рис. 2*).

Изучение минерального и вещественного состава, формы нахождения основных элементов.

Для изучения минерального состава хвостов по всей территории изучаемых карт хвостохранилища № 1 ГМЗ-2 было отобрано более 100 проб.

Нерудные минералы представлены, в основном, кварцем, реже плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, мусковитом, кальцитом. Из рудных минералов установлены: пирит, арсенопирит, марказит, халькопирит, пирротин, шеелит, галенит, рутил, ильменит, изокубанит, лёллингит, прустит, молибдит, сфалерит, тенорит, гидроцинкит, кубанит, вюртцит, пиролюзит, касситерит, ярозит, борнит, пираргирит и др. Среди вышеперечисленных минералов преобладают арсенопирит и пирит, реже шеелит (*табл. 2*).

Из минералов благородных металлов установлены: золото самородное, электрум, мальдонит, акантит, прустит, пираргирит.

В целом, минеральный состав изученных хвостов очень схожий на различных картах и интервалах.

Не установлено контрастное и закономерное изменение минерального состава хвостов с пляжных зон к центру хвостохранилища. Но частота встречаемости проб с самородным золотом больше в пляжных зонах, чем к центру хвостохранилища.

Золото и серебро представлены собственными минералами – самородное золото, редко электрум, мальдонит, серебро самородное, акантит, пираргирит, прустит. Золото установлено в виде свободных зерен, но большая часть золотин находится в сульфидах в виде тонких включений.

Для изученных проб очень характерно повышенное содержание шеелита. Содержание шеелита колеблется от 0,01 % до 2,1 % и в среднем составляет 0,7 % по данным рентгенофазового анализа.

Рациональный анализ отобранных проб по карте 1-2 показал, что доля свободно цианируемого золота составляет 70 %, остальная часть связана с оксидами, гидроксидами железа, покрытое пленками, ассоциированное с антимонитом и аморфным кремнеземом (20,6 %) и породообразующими минералами (8,2 %).

Сравнительно, рациональный анализ отобранных проб по карте 3-4 и 5-6 показал, что доля свободно цианируемого золота составляет 50 %, остальная часть связана с кислото-раство-

римиными минералами, оксидами железа и марганца (7,5 %), кислото-нерастворимыми алюмосиликатами и породообразующими породами (15 %), а также тонко вкрапленные в сульфидах 22,5 % (пирите и арсенопирите) [5].

Отличительная особенность хвостов карты 1-2 от 3-4 и 5-6, заключается в отсутствии в них золота, связанного с сульфидными минералами, что подтверждает принадлежность их к зоне окисления месторождения из первых периодов отработки.

Методы оценки ресурсного потенциала.

Оценка потенциальных ресурсов хвостохранилища выполнена в среде 3D и на базе современных геоинформационных систем (ГИС).

При этом для построения границ оценок, изокаркасов, доменов минерализации и участков концентраций была выполнена по методу эскизного (implicit) геологического моделирования.

Интерполированный алгоритм эскизного моделирования — это радиально базисная функция (RBF), которая позволяет описывать рассеянные трехмерные наборы данных в единственной математической функции.

Такие функции (представляемые как каркасы) могут быть созданы для любых значений данных и разрешения (*рис. 3*) [6].

Блочное моделирование.

Оценка содержаний была проведена методом блочного моделирования, для оценки содержаний был применен метод «обратных расстояний» (IDW), так как тип образования оцениваемого объекта является техногенным, что не требует проведения глубоких геостатистических исследований, как на природных месторождениях (*рис. 4*).

При использовании этого метода, оценка содержаний в каждом элементарном блоке получается с взвешиванием величины каждой пробы, обратно пропорциональной расстоянию от пробы до оцениваемой точки [7].

$$a = \sum_i^n \left(\frac{1}{R_i^p} \right) \cdot a_i$$

a – оценка блока по пробам a_i ;

R – расстояние от пробы до оцениваемой точки;

P – показатель степени.

В целом, с промышленной точки зрения результаты настоящей работы представляют практический интерес. С учётом наличия существующей инфраструктуры, ресурсы хвостохранилища могут реально расширить минерально-сырьевую базу перерабатывающих заводов и увеличить активы АО «НГМК».

Считается целесообразным продолжение исследований по следующим направлениям:

1. Текущее состояние оценки ресурсного потенциала соответствуют категории P_1 по требованиям ГКЗ или Inferred по стандарту JORC. Проведение детальных геологоразведочных работ, гущение густоты сети бурения позволит довести оцененные ресурсы до уровня запасов категорий $B+C_1$ по требованиям ГКЗ или Measured-Indicated по стандартам JORC.

2. Выполнение отдельной оценки в зонах обогащения с проведением исследований по изучению причин образования таких зон, формы нахождения основных элементов, а также изучения их минералогических и технологических характеристик.

3. Продолжение технологических исследований для увеличения степени сквозного извлечения золота по картам 3-4 и 5-6, так как основные объемы отвальных хвостов (82 %) сосредоточены на этих картах.

Библиографический список:

1. Санакулов К. Научно-технические основы переработки отходов горно-металлургического производства. – Ташкент: Изд. «Фан» АН РУз., 2009. – С. 5-7.

2. Туресебеков А.Х., Мирходжаев Б.И., Садыкова Л.Р., Шукуров Ш.Р., Шукуров Н.Э. «Минералого-геохимическая оценка ресурсного потенциала и эколого-геологического состояния техногенных накоплений Центральных Кызылкумов». СП «PUBLISHING HIGH FUTURE». – Ташкент, 2024. – С. 258.

3. Шаякубов Т.Ш., Голованов И.М., Цой Р.В., Закиров А.Т., Исаходжаев Б.А., Парамонов Ю.И., Савчук Ю.С., Хорват В.А. Золоторудное месторождение Мурунтау. – Ташкент: ФАН, 1998. – С. 539.

4. Крейтер В.М. Разведка месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1972. Том. 1. – С. 35-40.

5. Санакулов К., Исоков М.У., Исаев М.С., Алматов И.М. Исследования по переработке техногенных отходов ГМЗ-2 АО «НГМК» (на примере хвостохранилища №1) // Горный вестник Узбекистана, № 4 (95). 2023. – С. 37-41.

6. Капутин Ю.Е. Повышение эффективности Управления минеральными ресурсами горной компании (геологические аспекты). – Санкт-Петербург: «Недра», 2013. – С 107-108.

7. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – Санкт-Петербург «Недра», 2007г. – С. 107-108.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 37-42

**FEATURES OF ASSESSING THE RESOURCE POTENTIAL OF MAN-MADE WASTE FROM MINING AND METALLURGICAL PRODUCTION.
(BASED ON THE EXAMPLE OF TAILING DOMAIN №1 GMZ-2 OF JSC «NGMK»)**

¹Isaev M.S., Deputy Chief Geologist of JSC NGMK for Geoinformation Technologies.

²Isokov M.U., Rector of the University of Geological Sciences, Doctor of Geological and Mineral Sciences, Professor.

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

²University of Geological Sciences. Tashkent, Uzbekistan.

This article presents the results of studies on the quantitative and qualitative assessment of technogenic waste from processing mining and metallurgical production using tailings storage facility No. 1 of GMZ-2 of JSC NGMK as an example. The article presents the methodology of geological exploration, the features of the mineral composition and forms of occurrence of useful elements, and the methods for assessing the resource potential of tailings.

Key words: Man-made waste, tailings storage facilities, geological exploration, testing, mineral, block model

Bibliography:

1. Sanakulov K. Scientific and technical principles of processing mining and metallurgical waste. Publ. "Fan" of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan // 2009, pp. 5-7.

2. Turesebekov A.Kh., Mirkhodzhaev B.I., Sadykova L.R., Shukurov Sh.R., Shukurov N.E. "Mineralogical and geochemical assessment of the resource potential and ecological and geological state of technogenic accumulations of the Central Kyzylkum Desert". Joint Venture "PUBLISHING HIGH FUTURE". Tashkent. 2024. P. 258.

3. Shayakubov T.Sh., Golovanov I.M., Tsoi R.V., Zakirov A.T., Isakhodjaev B.A., Paramonov Yu.I., Savchuk Yu.S., Horvat V.A. "Muruntau gold deposit" Tashkent: FAN, 1998. – P. 539

4. Kreiter V.M. Exploration of mineral deposits, Nedra, 1972. Vol.1, pp. 35-40.

5. Sanakulov K., Isokov M.U., Isaev M.S., Almatov I.M. Research on the processing of technogenic waste of GMZ-2 of JSC "NGMK" (on the example of tailings storage facility No. 1). // Mining Bulletin of Uzbekistan No. 4. 2023. Pp. 37-41.

6. Kaputin Yu.E. Improving the efficiency of mineral resource management in a mining company (geological aspects) St. Petersburg "Nedra", 2013, pp. 107-108.

7. Kaputin Yu.E. Mining computer technologies and geostatistics. St. Petersburg "Nedra", 2007, pp. 107-108.

НФ-630; НФ-1200М-03

**ВЕРТИКАЛЬНЫЙ
ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ СТАНОК**



NMZ
Заводская марка и модель

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

ПОПУТНОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ МОЛИБДЕНА ИЗ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ УПОРНЫХ ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ РУД КЫЗЫЛКУМОВ



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



Курбанов М.А.,
заместитель начальника по урану редким редкоземельным металлам ЦНИЛ АО «НГМК», д.т.н.



Рузиев Б.Т.,
начальник геотехнологической лаборатории ЦНИЛ АО «НГМК»



Утаев С.М.,
инженер-технолог геотехнологической лаборатории ЦНИЛ АО «НГМК»

Maqolada qora slanets rudalaridan molibdenni ajratib olish imkoniyatini aniqlash bo'yicha tadqiqotlar natijalari keltirilgan. Qora slanets rudalarini qayta ishlashda olingan mahsulotlarda o'tkazilgan tahlil, reekstraksiya jarayoni ammiak-karbonat eritmalarida molibdenning yuqori konsentratsiyasini aniqlash imkonini berdi. Eritmalardan molibdenni ajratib olishda ekstraksiya jarayoni qullanildi. Molibdenni ajratib olishning texnologik sxemasi, jumladan quyidagi asosiy operatsiyalar keltirilgan: karbonat eritmalarini sulfat kislotaga bilan pH=1 ga qadar kislotalash, molibdenni ekstraksiya usulida ajratib olish, molibdenni selektiv reekstraksiya qilish, reekstraktlarni kislotalash va ammoniy paramolibdat olish.

Kalit so'zlar: qora slanetslar, molibden, ammiak-karbonat eritmasi, organik faza, ekstrakt, reekstraksiya, molibden (III) oksidi, molibdenli reekstrakt, cho'ktirish, ammoniy paramolibdati.

В статье представлены результаты исследования возможности извлечения молибдена из продуктов переработки упорных черносланцевых руд. Анализ показал высокие концентрации молибдена в оборотных аммиачно-карбонатных растворах, используемых на стадии реэкстракции. Для извлечения молибдена из этих растворов был изучен метод жидкостной экстракции. Описана технологическая схема выделения молибдена, включающая следующие основные этапы: раскисление карбонатных растворов серной кислотой до pH=1, совместную экстракцию урана и молибдена, селективную реэкстракцию молибдена, нейтрализацию реэкстрактов и получение парамolibдата аммония.

Ключевые слова: чёрные сланцы, молибден, аммиачно-карбонатный раствор, органическая фаза, экстракт, реэкстракт, трехокись молибдена, молибденовый реэкстракт, осаждение, парамolibдат аммония.

Молибден относится к малораспространённым элементам. Среднее содержание его в земной коре, по данным Виноградова, составляет $1,1 \cdot 10^{-4}$ % по массе [1]. Из-за низкой концентрации молибдена в рудах переработке подлежат руды, содержащие лишь десятые и сотые доли процента этого элемента. Для обогащения молибденовых руд применяются методы флотации и гравитационного обогащения.

Месторождения чёрных сланцев Алтынтауского рудного поля являются комплексными и включают уран, молибден, ванадий, а также другие элементы. В зоне окисления наблюдаются повышенные концентрации урана, молибдена, ванадия. Содержание молибдена в рудах достигает 350400 г/т. При сернокислотном вскрытии руды методом чанов (ЧВ) или кучным выщелачиванием (КВ) одновременно с ураном извлекаются цветные металлы, включая молибден.

Ранее проведённые исследования позволили разработать комбинированную технологическую схему переработки черносланцевых руд. Согласно этой схеме, рудный материал дробят до класса крупности -10 мм, а затем проходят через сито с ячейками 5 мм. Фракция +5 мм направляется на КВ, а материал класса -5 мм измельчается до 2,0-1,5 мм и подвергается ЧВ. КВ для фракции +5 мм проводят с использованием сернокислых растворов концентрацией 5-6 г/л. Продуктивные растворы кучного выщелачивания докрепляют серной кислотой до 20 г/л и направляют на ЧВ.

В результате выщелачивания получают продуктивные растворы с содержанием Мо до 17 мг/л при pH=0,95 и остаточной кислотностью 15,6 г/л, которые подлежат экстракционной переработке. Экстракцию проводят в противоточном режиме с использованием тройной экстракционной смеси состава [ТБФ-0,08М + ТАА-0,15М + Ди-

2ЭГФК-0,18М] на основе дизельного топлива. Насыщенную органическую фазу реэкстрагируют аммиачно-карбонатным раствором. По данным исследования, в оборотных аммиачно-карбонатных растворах (pH>12) происходит накопление молибдена, концентрация которого достигает 0,6-1,2 г/л. Это может приводить к загрязнению готовой продукции закиси-оксида урана молибденом.

Кроме молибдена, растворы содержат уран в значительных концентрациях (0,4-1,3 г/л). Выделение молибдена из урансодержащих карбонатных растворов с последующим его превращением в товарный продукт представляет практический интерес, поскольку молибден является ценным компонентом современных жаропрочных сталей, спрос на которые постоянно растёт.

В статье представлены результаты исследований, направленных на определение возможности извлечения молибдена из оборотных аммиачно-карбонатных растворов методом жидкостной экстракции.

Известно из литературных данных, что молибден можно извлекать экстракцией из азотнокислых [2], солянокислых [3], сернокислых [4] и фосфорнокислых [5] сред. В качестве экстрагентов применяются органические соединения нейтрального, кислотного и основного характера.

Для определения оптимального состава органической смеси и равновесного pH процесса были проведены эксперименты по экстракции. Карбонатный раствор готовили путём раскисления концентрированной серной кислотой. В качестве разбавителя для приготовления экстракционной смеси использовали дизельное топливо. Экстракцию проводили при следующих условиях: соотношение органической и водной фаз (О:В) = 1:1, температура — комнатная

Таблица 1

Зависимость степени экстракции молибдена и урана различными смесями экстрагентов от равновесного pH раствора
(Состав исходного раствора, г/л: U – 0,62; Mo – 0,97)

| Состав экстрагента, моль/л | pH раствора, г/л | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 8,0 | | 4,0 | | 3,0 | | 2,0 | | 1,5 | | 1,0 | |
| | Степень экстракции, % | | | | | | | | | | | |
| | U | Mo | U | Mo | U | Mo | U | Mo | U | Mo | U | Mo |
| 0,1М ТБФ | 84 | 25 | 50 | 20 | - | 2,0 | 35 | 1,0 | 23 | 1,0 | 27 | 1,0 |
| 0,1М Ди2ЭГФК | 95 | 28 | 53 | 8,0 | 64 | 38 | 66 | 67 | 76 | 69 | 92 | 68 |
| 0,1М ТАА + 0,1М ТБФ | 61 | 74 | 75 | 81 | 78 | 82 | 87 | 84 | 63 | 76 | 52 | 89 |
| 0,2М Ди2ЭГФК + 0,1М ТБФ | 95 | 24 | 72 | 10 | 93 | 37 | 92 | 63 | 98 | 63 | 95 | 63 |
| 0,1М Ди2ЭГФК + 0,1М ТБФ + 0,1М ТАА | 95 | 69 | 99 | 80 | 98 | 86 | 99 | 87 | 97 | 86 | 98 | 74 |

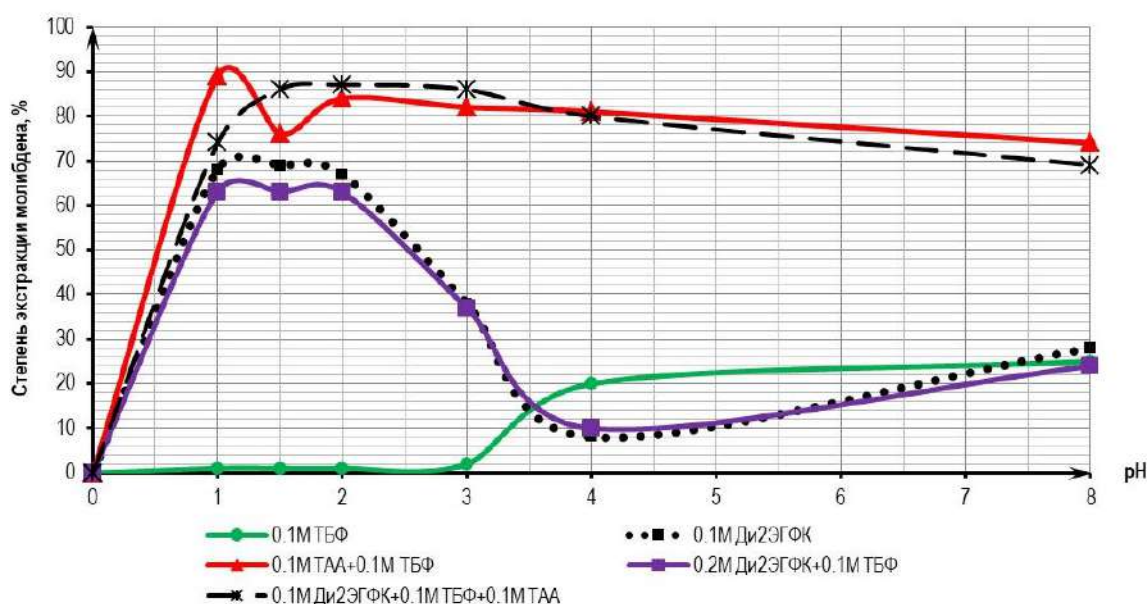


Рис. 1. Зависимость степени экстракции молибдена различными смесями экстрагентов от равновесного pH раствора

(23 °С), время перемешивания – 10 мин. Результаты эксперимента представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Как видно из данных табл. 1 и рис. 1, смеси экстрагентов состава [0,1М ТАА + 0,1М ТБФ] и [0,1М Ди2ЭГФК + 0,1М ТБФ + 0,1М ТАА] демонстрируют высокую ёмкость по молибдену. Смесь состава [0,1М ТАА + 0,1М ТБФ] обладает ёмкостью по молибдену в диапазоне от 74 % до 89 %, при этом максимальное значение достигается при pH=1,0. Смесь состава [0,1М Ди2ЭГФК + 0,1М ТБФ + 0,1М ТАА] показывает ёмкость по молибдену от 69 % до 86 %, максимальные значения достигаются в интервале pH=1,5-3,0.

Кроме того, из данных таблицы видно, что смесь состава [0,1М ТАА + 0,1М ТБФ] экстрагирует 52 % урана в органическую фазу при pH=1, тогда как смесь состава [0,1М Ди2ЭГФК + 0,1М ТБФ + 0,1М ТАА] экстрагирует уран на уровне 97-99 % при pH=1,5-3,0. Таким образом, оптимальной для экстракции молибдена является смесь экстрагентов состава [0,1М ТАА + 0,1М ТБФ], pH раствора равным 1.

Для определения оптимальных условий извлечения молибдена из аммиачно-карбонатных растворов были проведены исследования по экстракции в непрерывном режиме на лабораторной

экстракционной установке (рис. 2). Эксперимент выполнялся на восьмиступенчатом экстракционном каскаде с отстойниками для разделения водной и органической фаз. Подача органической и водной фаз в экстракционный каскад осуществлялась с помощью перистальтических насосов. Схема обвязки лабораторной экстракционной установки представлена на рис. 3.

Экстракцию проводили при суммарной скорости подачи фаз 1 л/ч и соотношении органической и водной фаз (О:В), равном 1:5, до достижения стабильных концентраций молибдена в рафинатах, то есть равновесия в каскаде. После наступления равновесия процесс экстракции останавливали, а из камер отбирали водную фазу для анализа концентрации молибдена.

В случае обнаружения молибдена в сбросных рафинатах (камера № 1) соотношение фаз О:В снижали и продолжали процесс экстракции. Результаты экспериментов по экстракции молибдена из аммиачно-карбонатного раствора при различных соотношениях О:В представлены в табл. 2.

Согласно данным табл. 2, для эффективной экстракции молибдена из аммиачно-карбонатного раствора оптимальным является



Рис. 2. Лабораторная экстракционная установка непрерывного действия

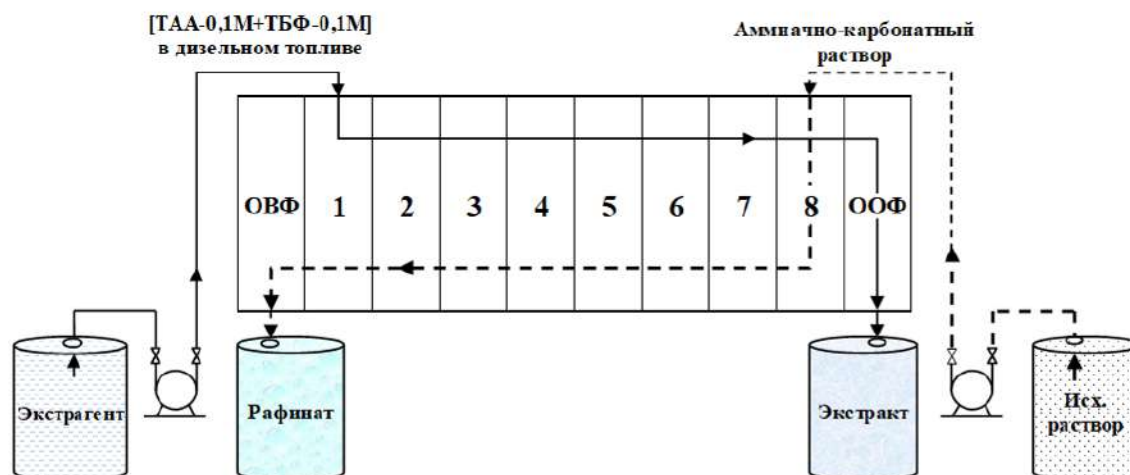


Рис. 3. Схема обвязки лабораторного экстракционного каскада

соотношение органической и водной фаз (О:В), равное 1:1,5. При этом для полного извлечения молибдена из водной фазы требуется 4-5 ступеней экстракции. Анализ насыщенной органической фазы выявил содержание молибдена-3,6 г/л и урана-2,1 г/л.

Согласно литературным данным, реэкстракция молибдена из насыщенных экстрактов может проводиться с использованием щелочи [6], гипохлорида натрия [7], соды [8] или аммиака [9]. Авторы указывают, что разделение урана и молибдена после их совместной экстракции аминами возможно посредством последовательных селективных реэкстракций. При этом на первом этапе извлекают уран промывкой раствором хлористого натрия или смеси хлористого натрия и серноокислого натрия, а затем проводят реэкстракцию второго металла раствором соды или аммиака. Либо, наоборот, сначала реэкстрагируют молибден, а затем уран. Такой подход обеспечивает получение обоих металлов в виде готовой продукции.

Для разработки процесса селективной реэкстракции молибдена было исследовано влияние равновесного pH на степень его извлечения. В ходе экспериментов в реактор с насыщенным экстрактом при перемешивании дозировали 3 % аммиачный раствор до различных значений pH . Результаты исследований приведены в табл. 3.

Таблица 2

Экстракция металлов из аммиачно-карбонатных растворов реэкстракцией
(Состав исходного раствора, г/л: $U - 0,62$; $Mo - 0,97$; $pH=0,95$)

| Номер камеры | Концентрация металла в водной фазе, мг/л | | | | | |
|--------------|------------------------------------------|------|-----------------|------|-----------------|------|
| | О : В = 1 : 5 | | О : В = 1 : 2,5 | | О : В = 1 : 1,5 | |
| | U | Mo | U | Mo | U | Mo |
| 1 | 0.29 | 0.19 | 0.09 | 0.07 | 0 | 0 |
| 2 | 0.33 | 0.25 | 0.19 | 0.18 | 0.05 | 0 |
| 4 | 0.41 | 0.57 | 0.26 | 0.37 | 0.09 | 0.08 |
| 6 | 0.47 | 0.67 | 0.32 | 0.48 | 0.18 | 0.27 |
| 8 | 0.52 | 0.79 | 0.49 | 0.63 | 0.37 | 0.41 |

Как видно из данных табл. 3, оптимальные условия для реэкстракции молибдена достигаются при значении равновесного pH в диапазоне 5÷6. При этих условиях обеспечивается селективная реэкстракция молибдена из насыщенной органической фазы. Извлечение молибдена в реэкстракт составило 87÷91 %, его концентрация в реэкстракте достигала 26÷29 г/л, при этом содержание урана не превышало 0,005 г/л.

Таблица 3

Селективная реэкстракция молибдена аммиачными растворами

(Содержание в исходной органической фазе:

Мо – 4,8 г/л; U – 2,1 г/л; pH = 0,95)

| pH | Vo:Vb | Содержание, г/л | | Извлечение в реэкстракт, % | |
|----|-----------|-----------------|--------|----------------------------|------|
| | | Мо | U | Мо | U |
| 2 | 10 : 0,45 | 3,2 | <0,005 | 4 | 0 |
| 3 | 10 : 0,62 | 12,2 | <0,005 | 21 | 0,01 |
| 4 | 10 : 0,81 | 21,3 | <0,005 | 48 | 0,01 |
| 5 | 10 : 0,11 | 29,8 | <0,005 | 91 | 0,01 |
| 6 | 10 : 0,12 | 26,1 | <0,005 | 87 | 0,02 |
| 7 | 10 : 0,13 | 19,1 | <0,005 | 69 | 0,02 |

Молибден из аммиачных реэкстрактов выделяли методом нейтрализации. Аммиачные десорбаты нагревали до температуры

55-60°C и при интенсивном перемешивании добавляли соляную кислоту. При значении pH<1 образовывались кристаллы парамолибдатов. Таким образом, из раствора в осадок удалось выделить более 97,5 % молибдена. Полученные кристаллы парамолибдата отфильтровывали, высушивали и прокаливали в муфельной печи при температуре 400°C. Химический анализ осадка показал содержание в нем оксида молибдена не менее 98,2 %.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность извлечения молибдена из оборотных аммиачно-карбонатных растворов, образующихся в процессе переработки черносланцевых руд.

Выделение молибдена из аммиачно-карбонатных реэкстрактов включает следующие основные стадии: раскисление карбонатных растворов серной кислотой до pH=1; совместную экстракцию урана и молибдена; селективную реэкстракцию молибдена; нейтрализацию реэкстрактов и получение парамолибдата аммония. Разработанный процесс позволяет эффективно извлекать молибден из оборотных растворов и получать его в виде высококачественного товарного продукта, востребованного на рынке.

Библиографический список:

1. Виноградов А.П. Геохимия. – М.: Акад. наук СССР, 1962 г. – С. 555.
2. Зеликман А.Н., Вольдман Г.М., Булгаков В.Н. Закономерности экстракции молибдена из азотнокислых и сернокислых растворов полиалкилфосфорной кислотой // Цветная металлургия. № 2. – М.: Недра, 1977 г. – С. 87-92.
3. Агринская Н.А., Золотов Ю.А. и др. Способ выделения молибдена. Авторское свидетельство СССР № 456792, 1974 г.
4. Рустамов Х.Р., Исмаилов Н.Н., Нурулаев Ш.Н. Доклады А.Н. УзССР. – № 3. – Ташкент: Изд-во «ФАН», 1979 г. – С. 54-56.
5. Бродская Г.А., Экстракция молибдена три-Н-октиламином из растворов ортофосфорной кислоты. – Ташкент, 1960 г. – С. 124-127.
6. The recovery of molybdenum from spent mandrel acid by solvent extraction., R. Flett D.S., Melling L., West D.W.
7. Карачезов Л.К., Васильев Х.Р. Реэкстракция молибдена из насыщенных экстрактов гипохлоритом натрия // Цветная металлургия. – № 3. – М.: Известие вузов, 1961 г. – С. 44-46.
8. Extraction and selective stripping of uranium and molybdenum in sulfate solution using amines., Huilino G., Vignol E., Michel P., Vial J. International solvent extraction conference. Ontario, Canada, 9-16 September 1977.
9. Problems in the hydrometallurgical extraction of uranium in the U.S.A. and South Africa., J.P. McDonald., P.L. Mattison and J.M.W. Mackenzie. Journal of the south african institute of mining and metallurgy. No. 10. 1981. – Pp. 303-308.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 43-46

BY-PROCESS EXTRACTION OF MOLYBDENUM FROM PROCESSING PRODUCTS OF RESISTIVE BLACK SHALE ORES OF KIZILKUM

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

¹Kurbanov M.A., Deputy Head of the Central Research Laboratory for Uranium and Rare Earth Metals, Doctor of Engineering.

¹Ruziev B.T., Head of the Geotechnological Laboratory of the Central Research Laboratory.

¹Utaev S.M., Engineer-technologist of the Geotechnological Laboratory of the Central Research Laboratory.

¹Joint-stock company "Navoi Mining and Metallurgical Combine". Navoi, Uzbekistan.

The article presents the results of a study of the possibility of extracting molybdenum from the products of processing refractory black shale ores. The analysis showed high concentrations of molybdenum in the recycled ammonia-carbonate solutions used at the stripping stage. To extract molybdenum from these solutions, a liquid extraction method was studied. A process flow chart for extracting molybdenum is described, including the following main stages: deoxidation of carbonate solutions with sulfuric acid to pH = 1, joint extraction of uranium and molybdenum, selective stripping of molybdenum, neutralization of strips and production of ammonium paramolybdate.

Keywords: black shales, molybdenum, ammonia-carbonate solution, organic phase, extract, strip, molybdenum trioxide, molybdenum strip, precipitation, ammonium paramolybdate.

Bibliography:

1. Vinogradov A.P. Geochemistry. – M.: USSR Academy of Sciences, 1962. – Pp. 555.
2. Zelikman A.N., Vol'dman G.M., Bulgakov V.N. Regularities of molybdenum extraction from nitric and sulfuric acid solutions with polyalkylphosphoric acid // Non-ferrous metallurgy. No. 2, 1977. – Pp. 87-92.
3. Agrinskaya N.A., Zolotov Yu.A. et al. Method of molybdenum extraction. USSR Author's Certificate No. 456792, 1974.
4. Rustamov Kh.R., Ismailov N.N., Nurulaev Sh.N. Reports of A.N. UzSSR. Tashkent. Publishing house "FAN". 1979. – No. 3, pp. 54-56.
5. Brodskaya G.A., Extraction of molybdenum with tri-H-octylamine from solutions of orthophosphoric acid. – Tashkent, 1960, pp. 124-127.
6. The recovery of molybdenum from spent mandrel acid by solvent extraction., R. Flett D.S., Melling L., West D.W.
7. Karachezov L.K., Vasiliev H.R. Reextraction of molybdenum from saturated extracts with sodium hypochlorite // Non-ferrous metallurgy. – M.: News of universities. 1961. – No. 3. – Pp. 44-46.
8. Extraction and selective stripping of uranium and molybdenum in sulfate solution using amines., Huilino G., Vignol E., Michel P., Vial J. International solvent extraction conference. Ontario, Canada, 9-16 September 1977.
9. Problems in the hydrometallurgical extraction of uranium in the U.S.A. and South Africa., J.P. McDonald., P.L. Mattison and J.M.W. Mackenzie. Journal of the south african institute of mining and metallurgy. No. 10. 1981. – Pp. 303-308.

ВОЗМОЖНОСТИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ЗОЛОТА ИЗ КРУПНОГАЛЕЧНЫХ КОНГЛОМЕРАТОВ БАЯНКОЛА (УЧАСТОК КОНУСНЫЙ, ЮЖНЫЙ КАЗАХСТАН)



Воробьев А.Е.,
профессор

Грозненского государственного нефтяного
технического университета (РФ), д.т.н.



Перегудов В.В.,
директор
КРИЦ-НТК, РК



Индюков Ю.В.,
директор
ТОО «ИНТЭК 2012», РК



Воробьев К.А.,
аспирант
Института проблем комплексного
освоения недр РАН,
ассистент Российского университета
дружбы народов, РФ

Nozik oltinni qazib olishning innovatsion usulini sinovdan o'tkazish jarayonlari tavsiflangan. Namunalarda nozik disperslangan oltinni oshkor qilish ular kimyoviy va mineralogiya laboratoriyalariga kelgunga qadar namuna tayyorlash bosqichida amalga oshirildi. Maqolada avtogen silliqlash tegirmoni va termal faollashtiruvchi (muallifning ishlanmasi) yordamida namuna tayyorlash usullari tasvirlangan, bu avval chuqur nam parchalanishiga imkon berdi, so'ngra boyitish qoldiqlaridan namunalarni «tashqaridan» qizdirib, nano o'lchamdagi zarrachalarni kattalashtirishga imkon berdi. mahalliy oltindan mikron o'lchamdagilarga markazdan qochma qurilmalar tomonidan tortiladi. Shuningdek, boyitish kontsentratlarning mineralogik va geokimyoviy tadqiqotlari natijalari keltirilgan.

Kalit so'zlar: oltin, qazib olish, konglomeratlar, usullar, samaradorlik, boyitish.

Описаны процессы испытания инновационного метода извлечения тонкого золота. Раскрытие тонкодисперсного золота в пробах осуществлялось на стадии пробоподготовки до их поступления в химическую и минералогическую лаборатории. В статье описаны способы пробоподготовки с использованием мельницы самоизмельчения и термоактиватора (авторская разработка), позволившие сначала провести глубокую мокрую дезинтеграцию, а затем нагревом «извне» проб из хвостов обогащения укрупнить наноразмерные частицы самородного золота до микронных гравитируемых центробежными аппаратами. Также приводятся результаты минералогического и геохимического изучения концентратов обогащения.

Ключевые слова: золото, добыча, конгломераты, методы, эффективность, обогащение.

Извлечение золота из природных рудных образований остается важной задачей в области горнодобывающей промышленности в связи со значительной ценностью этого металла и его широким спектром применений. Развитие новых технологий и методов добычи золота является важным направлением для обеспечения устойчивого развития этой отрасли.

В контексте поиска эффективных подходов к извлечению золота, особый интерес представляет возможность извлечения тонкодисперсного золота из крупногалечных конгломератов. Однако, проблема состоит в том, что традиционные методы добычи не обеспечивают достаточную эффективность при обработке такого типа рудных материалов.

Полученные результаты данного исследования представляют важный вклад в дальнейшее развитие технологий извлечения золота из крупногалечных конгломератов и оптимизации процессов его добычи. Это открывает перспективы для повышения эффективности и экономической целесообразности процесса добычи золота в таких типах рудных формаций.

Извлечение мелкозернистого золота перед проведением минералогического и химического анализов.

Достигнуты следующие усредненные параметры обработки проб, позволившие увязать данные от зерна (в концентрате доводки) до пробы в целом (з) (рис. 1):

- концентрат доводки (Кд здесь и далее выход) – 2;
- концентрат перечистки черного концентрата вибровинтового сепаратора (КПКВ) – 60-100;

- концентрат центробежного аппарата (КЦА) – 160-180;
- хвосты перечистки черного концентрата вибровинтового сепаратора (ХПКВ) – 1500-2500;
- окончательные хвосты – 33278-32218;
- исходная средняя проба – 35000 (35 кг).

В результате для «шлихового» золота по каждой пробе было получено в концентратах центробежных аппаратов разноразмерное свободное самородное золото с размером золотинок от 10 мк (при извлечении более 90%), в хвостах перечистки винтового сепаратора сосредоточено самородное золото в его минералах-носителях (пирит, арсенопирит, кварц, и другие, т.е. богатые рудные микрососты) [1-3]. В окончательных хвостах находится, главным образом, связанное тонкодисперсное золото, которое вскрывается специально разработанными нами методами обработки.

В методике исследований тонкодисперсного золота выделены три стадии:

- 1) пробоподготовка материала пробы;
- 2) обогащение для получения представительных навесок (продуктов обогащения) для минералогического и химического и других видов анализов, выполнявшихся в лабораториях ТОО «КРИЦ – НТК», ТОО «ПромТехГруппСт» (г. Степногорск);
- 3) химико-, физико- и электронно-микроскопические исследования с привлечением лабораторий Института геологических наук им. К.И. Сатпаева и Института ядерной физики (г. Алматы).

При изучении микро- и наноразмерного золота, определяющее значение имеет пробоподготовка. Именно на этой стадии осуществ-

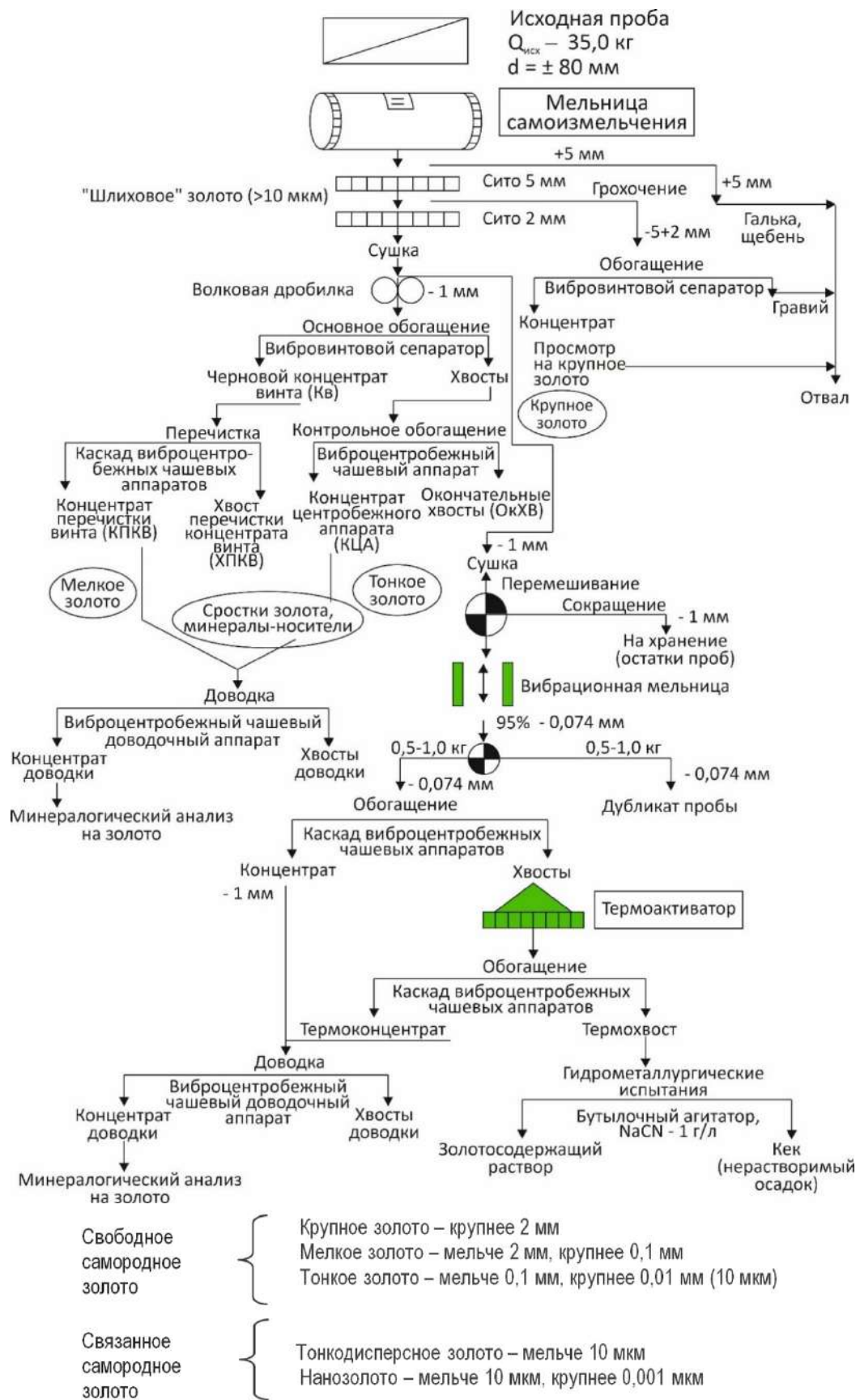


Рис. 1. Развернутая технологическая схема обработки проб на золото размером до 0,001 мкм (нанозолото)

ляется его активация (вскрытие) до проведения обогащения, анализов в химических и минералогических лабораториях. На стадии пробоподготовки были применены следующие виды активации: механическая, гидравлическая, термическая.

1. **Механическая активация:** традиционная с применением серийно выпускаемого оборудования и нетрадиционная с использованием нестандартного оборудования собственного изготовления. Механическая активация традиционного типа заключалась в последовательном физическом разрушении всего материала пробы с уменьшением размера обломков и увеличением их выхода. Сначала осуществлялось тонкое дробление до класса крупности $-2+0$ мм на щековой дробилке, затем до класса $-1+0$ мм на валковой. Измельчение тонкодробленного материала производилось до размерности грубого помола ($-0,1 + 0$ мм) на жерновой и тонкого ($-0,071+0$ мм) – на вибрационной мельнице и дисковых истирателях. В результате достигалось раскрытие укрытий нанозолота – микротрещины в минеральных агрегатах, межзернового цемента в микробрекчиях. Происходило массовое растрескивание особенно хрупких минералов – носителей нанозолота (кварца, карбонатов, гематита, пирита, магнетита и др.), вскрытие газово-жидких включений.

При механической активации нетрадиционного типа применялось специально сконструированное оборудование, работающее по типу мельницы самоизмельчения – аппарат барабанного типа с периодической разгрузкой центрального типа. Данный аппарат был использован для мокрой мягкой оттирки с галечников и зерен песчистой фракции, новообразованных в виде «рубашек», корок минералов, с которыми связано, по нашему мнению, нанозолото. Производительность применявшейся мельницы в лабораторном исполнении до 100 кг/ч.

2. **Гидравлическая активация** осуществлялась в ручном режиме промывкой под давлением в струе воды на сите, затем в центробежных полях при мокром обогащении и мокрой оттирки материала пробы в мельнице самоизмельчения. После отстаивания хвостов обогащения из жидкой фазы отбирались пробы воды на химический анализ золота и сопутствующих элементов.

3. **Термоактивация** проводилась в специально разработанном и изготовленном нами термоактиваторе доменного типа. В термоактиватор закладывалась большеобъемная аналитическая навеска исследуемой силикатно-карбонатной руды, весом от 450 до 1000 г. В термоактиваторе проходили процессы, приводящие к массовому образованию микропор и термодислокаций за счёт разложения доломита (температура 400°C), куда устремлялись капельки наночастиц золота (размером 1-5 нм) и где происходило их укрупнение (самоблокировка).

Качество процесса термоактивации контролировалось рентгенофазовым анализом с количественным определением карбонатов (доломита, кальцита) в термопродуктах. Содержание золота определялось химическим анализом (растворением в царской водке, атомной абсорбцией).

По каждой пробе, прошедшей активационный анализ хвостов обогащения центробежной гравитации, получаем следующие характеристики:

- выход и содержание «летучего» золота в углеродсодержащем сорбенте;
- выход и содержание золота в гравитационных продуктах (концентраты и хвосты), обогащенного на центробежных аппаратах термообработанного материала;
- в отдельных случаях, содержание воднорастворимого нанозолота.

Пробоподготовка глин. Пробы замачивались в воде и в ручном режиме на барабанных грохотах и сите дезинтегрировались с выделением песчаной ($-2-0$ мм) и гравийно-галечной фракции ($+2$ мм). Песчаная фракция обогащалась на виброцентробежных чашевых аппаратах. В продуктах обогащения атомно-абсорбционным анализом определялось золото. Всего было обработано восемь проб.

Пробоподготовка современных (четвертичных) пойменных глин и песков. Обработка проб проводилась с оттиркой глинистых «рубашек» в мельнице самоизмельчения и последующим обогащением песков на каскаде вибровинтового сепаратора – виброцентробежного аппарата.

Результаты технологических исследований композитных проб. После доизмельчения на валковой дробилке до класса крупности $-1+0$ мм из остатков рядовых проб данной крупности были составлены две композитные пробы Т-1 и Т-2, которые были подвергнуты гравитационному обогащению и термальной обработке.

Проба Т-1 характеризует верхнюю и среднюю часть разреза конгломератов. Материал представлен серовато-белым песком ($-1+0$ мм). Пески состоят (в %) из кварца – 21,6; калиевого полевого шпата – 24,3; альбита – 18,0; амфибола (тремолит) – 14,5; карбоната (кальцит – 6,1; доломит – 3,8); хлорита – 6,2 и слюды – 5,6. Содержание золота по данным технологического опробования в песках 0,99 г/т.

Результаты гравитационного обогащения (по схеме вибровинтовой сепаратор – виброцентробежный аппарат) приведены в табл. 1, из которой следует:

- отсутствие свободного самородного золота (размерностью 10 мкм и более), на что указывают низкие показатели извлечения золота в концентраты перечистки черного концентрата винтового сепаратора и центробежного аппарата (соответственно 0,20 и 0,10 %);
- преобладание связанного, тонкодисперсного золота в хвостах перечистки черного концентрата винтового сепаратора и окончательных хвостах (соответственно 14,54 и 85,10 %).

Продукты обогащения зернистые, по составу близкие к исходным пескам, т.е. сохраняется кварц – полевошпат – амфиболовый матрикс, но впервые удалось выявить в хвостах перечистки черного концентрата и окончательных хвостах – пирит (табл. 1).

Из рудных минералов в концентратах доводки главными являются гематит, магнетит, пирит, в качестве редких минералов наблюдаются циркон, самородная сурьма, микросферы магнетита. Электроннозондовым микроанализом (20 зёрен) в составе магнетита,

Таблица 1

Проба Т-1. Результаты гравитационного обогащения композитной пробы тонкодроблённых ($-1+0$ мм) песков из остатков химической лаборатории

| Продукты обогащения | Выход | | Содержание золота, г/т | Извлечение золота, % |
|------------------------------------------------------------|-------|-------|------------------------|----------------------|
| | кг | % | | |
| Черновой концентрат винтового сепаратора | 2,79 | 8,97 | 1,63 | 14,74 |
| Концентрат перечистки черного концентрата | 0,09 | 0,29 | 0,53 | 0,20 |
| Хвосты перечистки черного концентрата винтового сепаратора | 2,70 | 8,68 | 1,66 | 14,54 |
| Концентрат центробежного аппарата | 0,117 | 0,38 | 0,11 | 0,10 |
| Окончательные хвосты | 28,19 | 90,65 | 0,93 | 85,10 |
| Исходная проба | 31,10 | 100 | 0,99 | 100 |

гематита установлены примеси титана, марганца, циркония, а также цинка (1,17%), мышьяка (2,40%) и сурьмы (1,75%). Для количественной оценки тонкодисперсного (невидимого) золота хвосты обогащения термоактивировались.

В результате происходило укрупнение тонкодисперсных частиц самородного золота с нанометровой размерности до микронной и они становились гравитируемыми.

В термоактиваторе (авторская разработка) аналитическая навеска весом 720 г нагревалась при сжигании углей «извне» в течении одного часа при температуре 750-800°C. Исследуемый материал находился во время нагрева под углеродной подушкой, которой улавливалось «летучее» золото (табл. 2).

Полученный термпродукт обогащался на каскаде виброцентробежных аппаратов, позволяющих все укрупненное (>10 мкм) самородное золото извлекать в гравикоцентрат и, соответственно, количественно оценить гравитируемое (микронное) золото. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Приведенные данные в табл. 3 позволили выделить:

- «летучее» золото, содержание – 1,30 г/т, выход – 4,61 %;
- микронное (гравитируемое) золото, содержание – 6,0 г/т, выход – 16,80%;
- нанозолото (негравитируемое) золото, содержание – 3,8 г/т, выход – 78,59%;
- общее содержание золота в песках – 3,69 г/т.

Исходя из полученных данных по пескам (выход 20 %), содержание золота в исходных конгломератах по результатам технологического опробования с термоподготовкой составит 3,69 г/т, где

20% (выход песков в конгломератах) составляет 0,74 г/т. Минеральный состав продуктов термообработки примерно соответствует исходному, но при нагреве полностью «исчезли» доломит, пирит; уменьшились содержания полевых шпатов и увеличились кварца.

Таким образом, при термальном разложении карбонатов и пирита, выделялись раскаленные газы CO₂ и SO₃, с которыми могло происходить удаление «летучего» золота и других элементов.

По данным минералогического анализа в концентрате доводки термоконцентрата выявлены единичные зерна – сростки глобалов самородного золота в виде розеток (0,05 мм). Совместно с золотом выявлены циркон, гранат, магнетит (гематит).

Таким образом, в результате применения термоактивации песков удалось повысить содержания золота с 0,99 г/т до 3,69 г/т и, практически, его пятую часть (17,69 %) перевести в гравитируемую, технологически извлекаемую форму.

Проба Т-2 характеризует среднюю и нижнюю часть разреза конгломератов. Материал представлен серовато-белым песком (-1+0 мм). Пески состоят (в %) из кварца – 29,3; калиевого полевого шпата – 10,3; альбита – 22,6; амфибола (тремолита) – 19,1; хлорита – 2,8; кальцита – 7,8; слюды – 2,0; доломита – 6,1. По минеральному составу проба аналогична пробе Т-1.

Результаты гравитационного обогащения этих песков приведены в табл. 4. Пески обогащались по схеме вибровинтовой сепаратор-виброцентробежный аппарат, позволяющей извлекать в гравикоцентраты все свободное самородное золото и получить хвосты обогащения со связанным, тонкодисперсным (мельче 10 мкм) самородным золотом.

Таблица 2

Проба Т-1 (окончательный хвост). Технологические параметры термоактивации

| Продукт | Вес исходный, г | Вес после нагрева, г | Потери при нагревании | |
|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-------|
| | | | г | % |
| Анализируемые навески | 720 | 577 | 143* | 19,86 |
| Материал покрывки для улавливания «летучего» золота | 450 | 87 | 363 | 80,67 |

Примечание: * – с учетом потери при промывке навески при обогащении на центробежных аппаратах

Таблица 3

Проба Т-1 (окончательный хвост). Количественная оценка в термоактивированной навеске золота – гравитируемое, концентрат (микронное) и негравитируемое, хвосты (нанозолото)

| Продукты обогащения и нагрева | Выход | | Содержание золота, г/т | Извлечение золота, % | Выход | | Содержание золота, г/т | Извлечение золота, % | Тип тонкодисперсного золота |
|--------------------------------------|-------|-------|------------------------|----------------------|-------|-------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| | г | % | | | г | % | | | |
| Углеродсодержащий сорбент | 69 | 11,96 | 6,03 | 17,69 | 87 | 13,1 | 1,30 | 4,61 | «летучее» |
| Термоконцентрат | 508 | 88,04 | 3,80 | 82,31 | 69 | 10,39 | 6,0 | 16,80 | гравитируемое (микронное) |
| Термохвост | 577 | 100 | 4,07 | 100 | 508 | 76,51 | 3,8 | 78,59 | негравитируемое (нанозолото) |
| Термоактивированный материал (пески) | | | | | 664 | 100 | 3,69 | 100 | общее золото |

Таблица 4

Проба Т-2. Результаты гравитационного обогащения композитной пробы тонкодисперсных (-1+0 мм) песков из остатков химической лаборатории

| Продукты обогащения | Выход | | Содержание золота, г/т | Извлечение золота, % |
|------------------------------------------------------------|-------|-------|------------------------|----------------------|
| | кг | % | | |
| Черновой концентрат винтового сепаратора | 2,56 | 10,66 | 0,69 | 12,91 |
| Концентрат перечистки черного концентрата | 0,09 | 0,38 | 0,52 | 0,35 |
| Хвосты перечистки черного концентрата винтового сепаратора | 2,47 | 10,28 | 0,70 | 12,56 |
| Концентрат центробежного аппарата | 0,12 | 0,50 | 0,35 | 0,35 |
| Окончательные хвосты | | 88,84 | 0,56 | 86,74 |
| Исходная проба песков | 24,0 | 100 | 0,57 | 100 |

Достигнуты следующие технологические показатели:
– гравикоцентраты с низкими содержаниями золота (0,69 и 0,35 г/т) и низкими показателями извлечения (0,35 % и 0,35 %), что указывает на отсутствие свободного самородного золота;

– главным и преобладающим является связанное, тонкодисперсное золото гравитационно неизвлекаемое и находящееся в виде включений в породообразующих и других минералах.

По данным технологического опробования содержание золота в песках 0,57 г/т.

Продукты обогащения зернистые, по составу близкие к исходным пескам, сохраняется кварц – полевошпат – амфиболовый матрикс.

По данным количественного спектрального анализа в концентрате доводки концентрата центробежного аппарата содержания Re – 15 г/т, в аномальных концентрациях рений обнаружен в концентрате центробежного аппарата – 1,4 г/т и окончательных хвостах 1,8 г/т. Золото до 15 г/т обнаружено в концентрате доводки концентрата перешлифки концентрата винта.

Из других элементов (спектральный анализ) в продуктах обогащения выявлены (г/т): Ag – 1,5-2,0; Mo – 20-25; Sc – 20; P – 0,3-0,7; W – 20-100; Y – 30-150; Yb – 3-10; La – 100; Ce – 200; Gd – 30. Выявлены повышенные содержания редких земель, вольфрама, указывающие на присутствие в продуктах обогащения вольфрамовой (шеелит и др.) и редкоземельной (монацит – Се, ксенотим) минерализации. Минералогическим анализом в концентратах доводки свободное самородное золото не установлено. Преобладающими минералами являются магнетит, гематит. В качестве примеси встречаются шеелит, циркон, гранат, монацит, представляющие минералогический интерес [4].

Для количественной оценки тонкодисперсного золота, находящегося в окончательных хвостах обогащения, как и в пробе Т-1, была проведена термоактивация в отобранной из них навески весом 750 г при нагревании «извне» в течении 1 ч при температуре 750-800°С.

В табл. 5 приводятся технологические параметры эксперимента, а в табл. 6 и 7 – результаты количественной оценки

всех видов тонкодисперсного золота с использованием гравитационных методов обогащения термопродуктов.

Анализ данных, приведенных в табл. 7, позволил выделить в термообработанных песках:

- «летучее» золото, содержание – 5,02 г/т, выход – 13,94 %;
- микронное (гравитируемое) золото, содержание – 10,84 г/т, выход – 22,22 %;
- нанозолото (негравитируемое) золото, содержание – 4,59 г/т, выход – 61,39 %;
- смешанное (шлаки), содержание – 3,92 г/т, выход – 2,45 %;
- общее содержание золота – 5,31 г/т.

Исходя из полученных данных по термоактивационному анализу песков, содержание золота в исходных конгломератах составляет – 1,06 г/т.

В целом, по всей толщине конгломератов, на основании выполненных технологических экспериментов, среднее содержание золота составило:

- в песках $5,31 + 3,69 = 9,0/2 = 4,5$ г/т;
- в конгломератах $4,5$ г/т $\times 20$ % = 0,90 г/т;
- с учётом установленных объёмов конгломератов ожидаемые ресурсы золота в млрд. $m^3 \sim 10$ млрд. $t = 9000$ т золота.

Выполненные предварительные технологические исследования по перколяционному выщелачиванию цианидом натрия тонкодисперсного золота из валовых проб конгломератов дали положительные результаты. Золото переходит в раствор с сохранением в исходном физическом состоянии вторичных корок на гальках.

Золото в известняках. Известняки представляют собой плотные, осколчатого облика, брекчированные породы с криптозернистой серой, серо – коричневой основной массой. Рассечены многочисленными разнонаправленными, пересекающимися маломощными (от первых мм до 3 мм) прожилками белого кальцита и просечками ярко красных «киноварных» охр и оранжевых сурьмяных (рис. 2).

Проба весом 17,65 кг из коренных известняков была отобрана в районе перемычки реки. По данным пробирного и химических

Таблица 5

Проба Т-2 (окончательные хвосты). Технологические параметры термоактивации

| Продукт | Вес исходный, г | Вес после нагрева, г | Потери при нагревании | |
|-----------------------------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-------|
| | | | г | % |
| Анализируемые навески | 750 | 628 | 122* | 16,26 |
| Материал покрывки для улавливания «летучего» золота | 450 | 109 | 341 | 75,78 |

Примечание: * – с учетом потери при промывке навески при обогащении на центробежных аппаратах

Таблица 6

Проба Т-2 (окончательные хвосты). Количественная оценка золота – гравитируемое, концентрат (микронное) и негравитируемое, хвосты (нанозолото) после термической обработки песков

| Продукты обогащения | Выход | | Содержание золота, г/т | Извлечение золота, % | Тип тонкодисперсного золота |
|------------------------------------|-------|-------|------------------------|----------------------|-----------------------------|
| | г | % | | | |
| Термоконцентрат | 80 | 13,26 | 10,84 | 16,26 | микронное |
| Термохвост | 523 | 86,74 | 4,59 | 73,74 | нанозолото |
| Термоактивированная навеска песков | 603 | 100 | 5,42 | 100 | тонкодисперсное |

Таблица 7

Проба Т-2 (окончательные хвосты). Баланс золота в песках продуктов термоактивации с учетом сорбированного «летучего» углеродной

| Продукты обогащения и нагрева | Выход | | Содержание золота, г/т | Извлечение золота, % | Тип тонкодисперсного золота |
|--------------------------------------|-------|-------|------------------------|----------------------|------------------------------|
| | г | % | | | |
| Углеродсодержащий сорбент | 109 | 14,79 | 5,02 | 13,94 | «летучее» |
| Термоконцентрат | 80 | 10,85 | 10,84 | 22,22 | гравитируемое (микронное) |
| Термохвост | 523 | 70,96 | 4,59 | 61,39 | негравитируемое (нанозолото) |
| Шлаки | 25 | 3,40 | 3,92 | 2,45 | микронное |
| Термоактивированный материал – пески | 737 | 100 | 5,31 | 100 | общее золото |

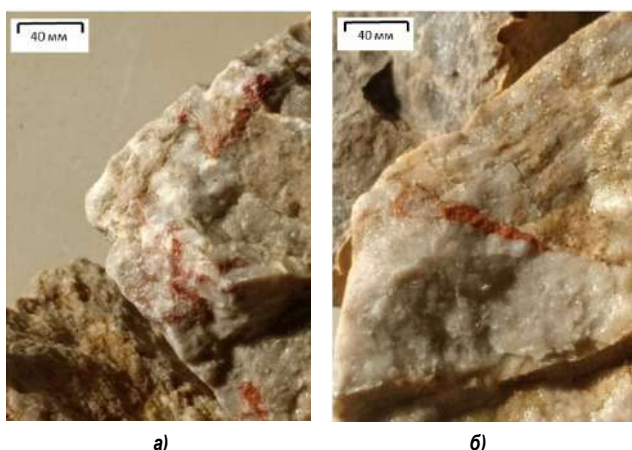


Рис. 2. Образцы катаклазированных известняков (прожилки кальцита, яркокрасных ртутьсодержащих минералов и других гидроксидов железа, сурьмы (а, б))

анализов (единичные пробы) в известняках установлены повышенные до рудных содержания Au от 0,05 – 0,07 до 1,16 $г/т$, Hg – 1,77 $г/т$ и Sb – 2,37 $г/т$. Из элементов – спутников золота выявлены ртуть, лантан, серебро, медь, никель, барий, подчеркивающие перспективы обнаружения золотосульфидного оруденения. По данным полуквантитативного рентгенофазового и химического анализов известняки сложены (в %) кальцитом (87,4-91,3) с примесями доломита (5,0-9,0) и тонкодисперсного кварца (~3,6). Рассекающие их прожилки белого карбоната состоят из кальцита (78,4) и кварца (21,6).

Гравитационное обогащение показало, что исходный, природный тонкодробленный

(-1+0 мм) материал практически не обогащается, извлечение в гравикоцентрат низкое, указывающее на отсутствие свободного самородного золота. Содержание золота в исходной пробе составило 0,97 $г/т$. В концентратах обнаружены тонкозернистые магнетит, пирит, арсенопирит и самородный серебристо – белый металл. Термоактивация материала хвостов позволила поднять содержания золота до 1,55 $г/т$, перевести до 40 % золота из нано- в микронное и выделить летучую фракцию нанозолота (10 %). В тонкоизмельченном материале известняков (-0,074+0 мм) при тех же исходных содержаниях золота – 0,96 $г/т$, термической активацией содержание золота повысили до 1,87 $г/т$, а содержание «летучей» фракции увеличилось до 40 %.

Таким образом, золотая минерализация представлена тонкодисперсным золотом негравитируемым, устанавливаемым только опробованием. Подвижное, «летучее» золото составляет 40,56 %, тонкодисперсное самородное наноразмерное золото – 59,44 % (табл. 3).

Минералогические и геохимические данные анализов позволили выявить в известняках тонкодисперсную золотую минерализацию, сопровождающуюся устойчивым геохимическим набором ртути, сурьмы. Необходимость постановки поисково-оценочных работ на выявление золото-сульфидной минерализации карлинского типа очевидна.

Золото в красных глинах. Результаты гравитационного обогащения на золото песчано-глинистой фракции из проб красных глин участка Конусный представлены в табл. 4.

Содержание золота в концентратах от 1,18 до 4,06 $г/т$. Состав концентратов кварцевый, из рудных минералов преобладает магнетит, ильменит. В виде единичных зерен обнаружено свободное самородное золото пылевидной (~40-50 мкм) размерности с рваными, изрезанными очертаниями, свидетельствующими об остаточ-

ном (кора выветривания – зона окисления) происхождении [5]. С учётом anomalно высоких содержаний золота (0,25-0,39 $г/т$) в красных глинах, необходимо провести детализацию на возможность выявления золотого оруденения в глинах (корах выветривания на известняках), о чем свидетельствует устойчивый шлиховый ореол золота в приплотиковой части известняков.

Золото в «древних» конгломератах. Выход песков (-2 мм) совместно с оттертыми карбонатными корками после обработки проб в мельнице самоизмельчения находился в интервале от 17,56 до 23,35 %, в среднем составлял около 20 % (19,22 %) от общей массы. По составу пески аналогичны к пробам конгломератов, но отличаются относительно повышенным содержанием карбонатов (кальцит 10,0 %, доломит 7,3 %) 17,3 %. Содержания других минералов (в %) находятся в близких значениях (кварц – 29,3; альбит – 15,6; амфибол (тремолит) – 15,4; калиевый полевой шпат – 13,0; слюда – 5,1 и хлорит – 4,2). Валовый химический состав (нормированный к 100 %) песков приводится в табл. 6.

Содержание золота в рядовых пробах песков и валовой конгломератов приводятся в табл. 7. Из всех видов анализа, только атомноабсорбционный (без прокалывания аналитической навески) выявил значимые содержания золота. Содержание золота в песках (класс крупности -2+0 мм) колеблется от 0,05 до 0,77 $г/т$, среднее – 0,34 $г/т$, а в валовых пробах конгломератов – 0,03 $г/т$ (инструментальный нейтронно-активационный анализ).

Нарастающие на гальки конгломератов вторичные корки. Внутреннее строение карбонатных корок изучалось под электронным микроскопом. Выделяются два типа зерен карбонатов: лапчатые, неправильной формы кальцита и ромбоздрические, ровные разноразмерные доломита, вместе создающие пористую структуру [6]. Отмечаются следы метасоматического замещения доломита по периферии каемок новообразований кальцита.

Золото в современных (четвертичных) пойменных глинах и песках. Продукты обогащения анализировались на золото (атомная абсорбция) с холодной обработкой навесок. Все концентраты доводки, главным образом, из концентратов центробежного аппарата исследовались под электронным микроскопом. Всего было проведено 165 определений состава и получено множество фотографий зерен минералов. Определен химический состав концентратов доводки.

Золотая минерализация в четвертичных пойменных глинах и песках. Исследовалось свободное самородное золото: форма и состав золотин, химический состав концентратов доводки и распределение общего золота (по данным атомноабсорбционного анализа) в продуктах обогащения (табл. 8). Из приведенных в таблице 8 данных можно сделать вывод об отсутствии свободного самородного золота, на что указывают низкие содержания золота в концентратах центробежного аппарата и перечистки концентрата винтового сепаратора, высокие содержания (от 0,39 до 1,90 Ш) в хвостах обогащения. Среднее содержание золота в песках 0,97 Ш при вариациях от 0,40 до 2,0 $г/т$. Таким образом, в глинистых песках преобладает связанное, тонкодисперсное (меньше 10 мкм) негравитируемое самородное золото.

Попутно выявленные минерализации. При электроннозондовом изучении концентратов пойменных глин и песков попутно был выявлен природный минерал - оксид рения (пробы 3, 35, 36), представленный микронной размерности зернами, чаще всего осколчатой неправильной формы, реже правильными октаэдрическими выделениями (рис. 3 а). Механический ореол рениевой минерализации прослежен приблизительно на 2,5 км. Кроме рениевой минерализации благодаря изучению концентратов доводки были обнаружены редкоземельная (рис. 3 б, в) и редкометалльная (рис. 3 г) минерализации. Нарастающие на кристалл циркона новообразования ксенотимового состава (рис. 3 в) являются прямым поисковым признаком на возможность

Таблица 8 Результаты
гравитационного обогащения шлиховых проб глинистых песков (класс крупности -2+0 мм)

| Номер пробы | Содержание золота, г/т | | | | Извлечение золота, % | |
|-------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------------|--------|----------------------|---------|
| | Исходная проба | Концентрат центробежного аппарата | Концентрат перемешки концентрата винтового сепаратора | Хвосты | Концентрат | Хвосты* |
| 1 | 0,61 | 0,70 | 1,0 | 0,60 | 6,04 | 93,96 |
| 2 | 2,0 | 2,40 | 2,70 | 1,99 | 4,22 | 95,78 |
| 3 | 0,40 | 0,27 | 0,46 | 0,39 | 3,62 | 96,38 |
| 4 | 0,72 | 0,95 | 0,40 | 0,71 | 3,81 | 96,19 |
| 5 | 0,75 | 0,90 | 1,02 | 0,74 | 5,33 | 94,67 |
| 6 | 0,83 | 0,95 | 0,49 | 0,82 | 3,78 | 96,22 |
| 7 | 1,49 | 0,26 | 0,67 | 1,48 | 2,47 | 97,53 |
| 8 | 0,62 | 0,25 | 0,44 | 0,61 | 1,49 | 98,51 |
| 9 | 1,11 | 0,27 | 0,77 | 1,10 | 2,74 | 97,26 |
| 10 | 0,92 | 1,30 | 1,64 | 0,91 | 1,54 | 98,46 |
| 35 | 0,80 | 1,57 | 0,47 | 0,77 | 7,63 | 92,37 |
| 36 | 0,51 | 0,69 | 1,18 | 0,37 | 32,94* | 67,06 |
| 37 | 0,94 | 0,79 | 0,35 | 0,92 | 6,93 | 93,07 |
| 38 | 1,91 | 2,91 | 0,26 | 1,90 | 3,51 | 96,49 |

Примечание: * – Au в хвостах перемешки концентрата винтового сепаратора (связанное)

выявления эпигенетического редкоземельного оруденения, что вероятнее всего находится в связке с наноразмерным золотом и ренийевой минерализацией.

Обсуждение результатов. Главным результатом проведенных исследований является выявление и количественная оценка тонкодисперсного золота в хорошо изученном классическом Баянкольском россыпном районе, что стало возможным благодаря введению в обработку проб стадии механо- (мельница самоизмельчения) и термоактивации (термоактиватор), с привлечением инструменталь-

ных методов анализа (электронная микроскопия, рентгенофазовый, атомноабсорбционный и другие виды анализов) продуктов обогащения. В результате исходные содержания золота (технологическое опробование) в оттертых песках конгломератов повысились с 0,57-0,99 г/т до 3,69-5,31 г/т, а средние содержания золота в конгломератах составляют 0,90 г/т (табл. 9).

Причем выявленная золотая минерализация ничем не отличается от рудной, а рудосопровождающим процессом является карбонитизация и пиритизация [7, 8]. В качестве источника золота рассмат-

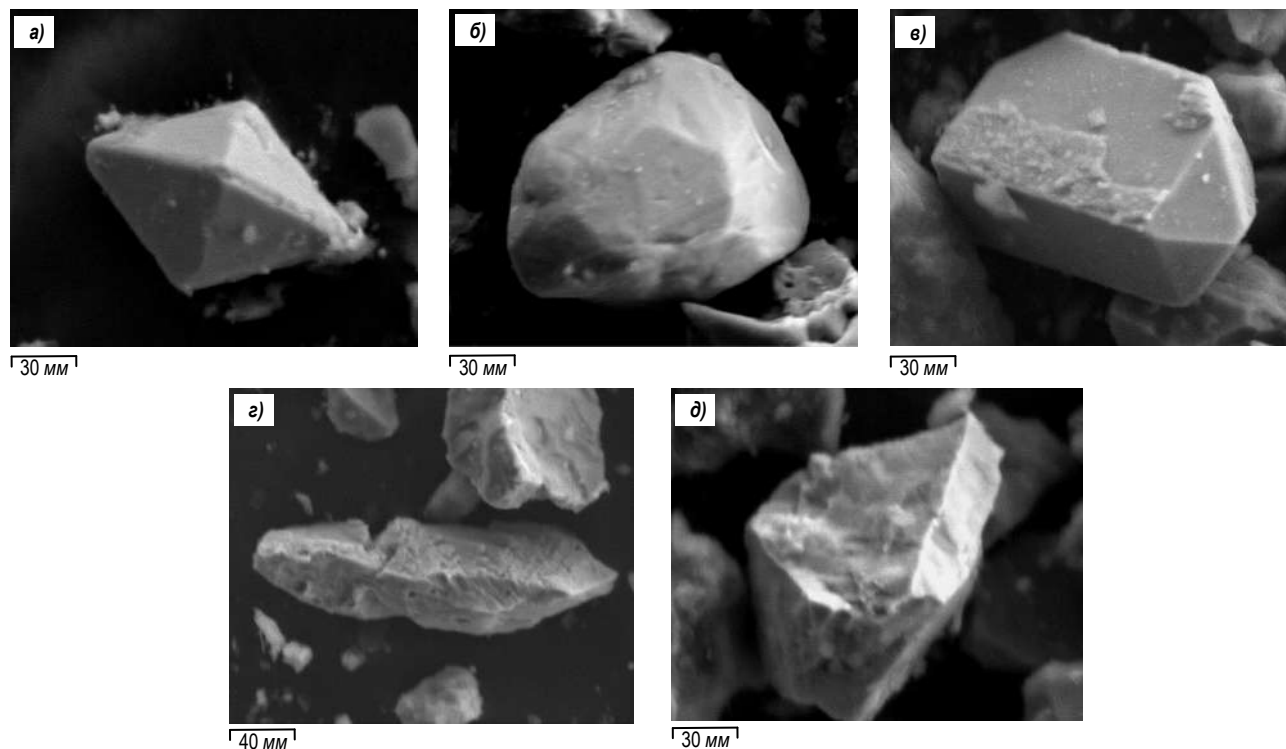


Рис. 3. Изображения сопутствующих минералов, обнаруженных на участке Конусный: а) – кристалл оксида рения, BEI; б) – полуокатанные кристаллы торийсодержащего монацита, SEI; в) – пленка ксенотимового состава (фосфата иттрия) на кристалле циркона, SEI; г) – кристалл шеелита (в центре) (WO_3 78,29; FeO 2,35; CaO 19,05 (%), BEI; д) – кристалл касситерита (SnO_2 100 %), BEI

Таблица 9

Изменение средних содержаний золота в пробах из конгломератов и песков на различных стадиях механо- и термоактивации

| Механоактивация | | |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|
| Мельница самоизмельчения | | |
| Пески цемента + новообразованные корки (-2+0 мм) | | |
| Валковая дробилка (-1+0 мм) | | |
| Рядовое опробование, г/т | Технологическое опробование композитные пробы, г/т | |
| Пробы № 11-29 | Т-1 | Т-2 |
| 0,34 | 0,99 | 0,57 |
| | 0,78 | |
| Термоактивация | | |
| Не проводилась | 3,69 | 5,31 |
| | 4,50 | |

риваются подстилающие конгломераты карбонатные известняки с тонкодисперсной золотосульфидной минерализацией карлинского типа. Индикатором минерагенических событий района являются пойменные глинистые пески, в которых в законсервированном виде на микроминеральном уровне выделяются эпигенетические образования золота, редких земель и, возможно, рениевая минерализация. Четко вырисовывается редкометально – редкоземельный набор кластогенной минерализации, указывающий на возможность нахождения в районе месторождений данного типа.

Геоморфологическое положение участка Конусный определило нахождение здесь трех типов золотой минерализации:

Первый – классический, аллювиальный долинного и террасового типа россыпей кластогенного, т.н. шлихового золота, связанный с современными (четвертичными) пойменными преимущественно глинистыми отложениями и гравийно – галечными русловыми ручья Конусный (приток р. Баянкол).

Отработан древними старателями, возможно обнаружение целиков в обводненных участках.

Второй – новый, типичный представитель горного аллювия, установлен авторами этой статьи в древних (неоген) конгломератах, слагающих вершины и склоны гор. В них выявлена наложенная, тонкодисперсная золотая минерализация, ничем не отличающаяся от рудного золота. Связана с новообразованиями карбонатов (пирита), обрастающих в виде корок обломки галек, валунов. Содержание золота в этих рудах традиционными методами анализов (пробирный, атомно-абсорбционный, инструментальный нейтронно-активационный) занижается, либо не определяется совсем.

Разработанные и введенные нами специальные операции механико- и термоактивации в пробоподготовку позволили установить среднее содержание золота в конгломератах на уровне 0,90 г/т при вариациях от 0,74 до 1,06 г/т.

Третий – рудное золото, представленное тонкодисперсной золотой – сульфидной минерализацией карлинского типа в известняках. Содержания золота по данным штучного опробования (6 проб) от 1,16 г/т и до 13,98 г/т.

Распределение «шлихового» и тонкодисперсного золота в исследуемом районе, в одних случаях, совместно формируют минерализованные зоны, в других образуют самостоятельные (например, конгломераты, известняки).

Поэтому в обработке (методике) проб учтены самые крайние варианты, когда встречаются одновременно шлиховое и тонкодисперсное золото.

При детальном исследовании впервые в истории изучения россыпей Казахстана получены новые данные по минералогии, которые позволили раскрыть минерагенический облик не только участка Конусный, но и всего рудного района [9].

Алгоритм исследований выглядит следующим образом: сначала определяется состав концентратов доводки, а затем по выявленным элементам отыскиваются минералы – концентраты, выясняется их форма, состав и, по степени окатанности и «чистоты» поверхности, производится их классификация – на региональные и местные. К региональным мы относим торийсодержащий монацит, торит и к местным – бесториевый монацит, шеллит, касситерит, молибденит, уранинит, галенит, барит и другие.

Заключение:

Впервые удалось увязать в едином технологическом ключе все геологические минералогические данные, спуститься на микронный уровень минералогического изучения шлихов, получить совершенно новые данные, позволяющие заново оценить и переосмыслить не только минералогию, но и минерагению района. По сути, это технологический прорыв в поисковой минералогии, позволяющий выделить новое научное направление.

Разработать и внедрить технологию обработки геологических проб, ввести дополнительные операции по глубокой дезинтеграции материала проб в мельнице самоизмельчения и термоактивации крупнообъемных (450-1000 г) аналитических навесок с целью количественного определения микро- и нанозолота.

Выделить эпигенетический характер тонкодисперсной золотой минерализации, связанной с карбонатизацией (пиритизацией) обломочного материала.

В результате удалось в нижней части разреза конгломератов участка Конусный выделить:

- «летучее» золото, содержание – 5,02 г/т, выход – 13,94%;
- микронное (гравитируемое) золото, содержание – 10,84 г/т, выход – 22,22%;
- нанозолото (негравитируемое) золото, содержание – 4,59 г/т, выход – 61,39%;
- смешанное (шлаки), содержание – 3,92 г/т, выход – 2,45%;
- общее, содержание золота – 5,31 г/т.

Исходя из полученных данных по термоактивационному анализу песков, расчетное содержание золота в исходных конгломератах составляет – 1,06 г/т.

В целом по всей толщ конгломератов на основании выполненных технологических экспериментов, среднее содержание золота составило:

- в песках $5,31 + 3,69 = 90 : 2 = 4,5$ г/т;
- в конгломератах $4,5$ г/т $\times 20\% = 0,90$ г/т;
- с учетом установленных объемов конгломератов ожидаемые ресурсы золота в млрд. $m^3 \sim 10$ млрд. $m = 9000$ т золота.

Выполненные предварительные технологические исследования по выщелачиванию цианидом натрия тонкодисперсного золота дали положительные результаты и требуется дальнейшее их проведение.

Библиографический список:

1. Воробьев А.Е., Аникин А.В., Чекушина Т.В. Практические основы организации повышения эффективности переработки золотосодержащей руды на ЗИФ ЗАО «Васильевский рудник» // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия Инженерные исследования. – М.: Изд-во РУДН, № 2. 2013. – С. 74-81.
2. Воробьев А.Е., Перегудов В.В. Влияние нанозолота на технологии обогащения золотосодержащих природных и техногенных руд // Горный вестник Узбекистана № 2 (89). – Навои, 2022. – С. 95-99.
3. Воробьев А.Е., Перегудов В.В., Бекенова Г.К., Воробьев К.А. Тонкодисперсное и нанозолото в крупногалечных конгломератах Баянкола (участок Конусный, Южный Казахстан) // Горный вестник Узбекистана № 4 (95). – Навои, 2023. – С. 79-84.
4. Амдур А.Н., Ватолин Н.А. Содержание примесей в дисперсных частицах Au в зависимости от их размера. Докл. РАН, том 470, № 6. – М.: ФГБУ «Издательство «Наука», 2016. – С. 471-472.
5. Зубков А.А., Шуленина З.М., Воробьев А.Е. Эффективный метод обогащения окисленных руд // Маркшейдерия и недропользование. № 5. – М.: учред. ООО «Геомар Недра», 2009. – С. 59-63.
6. Амдур А.Н., Ватолин Н.А., Федоров С.А., Матушкина А.Н. Движение дисперсных капель золота в пористых телах и окисных расплавах при нагреве. Докл. РАН, том 465, № 3. – М.: ФГБУ «Издательство «Наука», 2015. – С. 307-309.
7. Воробьев А.Е., Перегудов В.В., Жуганов А.М., Чекушина Т.В., Кargino K.G. Технология переработки и обогащения мезозойско-кайнозойских кор выветривания // Материалы II Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр». – М.: Изд-во РУДН. – 2003. – С. 191-195.
8. Воробьев А.Е., Чекушина Т.В. Способ внутриотвального обогащения горной породы: А.с. 1818468 СССР, МПК5 E 21 C 41/26, БИ №20, 1993.
9. Абишев В.М., Беспяев Х.А., Глоба В.А., Гуляева Н.Я. Золотые прииски Казахстана. Справочник. – Алма-Ата, 1996. – 144 с.

«GORNII VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 47-55

THE POSSIBILITIES OF EXTRACTING FINE GOLD FROM LARGE-PEBBLE BAYANKOL CONGLOMERATES (KONUSNY UCH-STOCK, SOUTH KAZAKHSTAN)

¹Vorobyov A.E., Professor, Doctor of Technical Sciences.

²Peregudov V.V., Director.

³Indukov Yu.V., Director.

⁴Vorobyov K.A., graduate student, assistant.

¹Grozny State Petroleum Technical University. RF.

²LIMITED LIABILITY PARTNERSHIP "KRITS-NTK", Stepnogorsk, Kazakhstan.

³LIMITED LIABILITY PARTNERSHIP "INTEK 2012". Semey, Kazakhstan.

⁴Institute for Problems of Integrated Development of Subsoil of the Russian Academy of Sciences, Peoples' Friendship University of Russia, Russian Federation.

The processes of testing an innovative method for extracting fine gold are described. The disclosure of fine gold in the samples was carried out at the sample preparation stage before they were received by the chemical and mineralogical laboratories. The article describes methods of sample preparation using a self-grinding mill and a thermoactivator (author's development), which first allowed deep wet disintegration to be carried out, and then by heating samples from the tailings of enrichment from the outside to enlarge nanoscale particles of native gold to micron gravitated by central apparatus. The results of mineralogical and geochemical studies of enrichment concentrates are also presented.

Keywords: gold, mining, conglomerates, methods, efficiency, enrichment

Bibliographic list:

1. Vorobyov A.E., Anikin A.V., Chekushina T.V. Practical foundations of organizing the efficiency improvement of gold-containing ore processing at the ZIF of JSC "Vasilievsky Rudnik" // Herald of the Russian University of Friendship of Peoples. Series Engineering Research. – Moscow: RUDN Publishing House, No. 2, 2013, pp. 74-81.
2. Vorobyov A.E., Peregudov V.V. The influence of nano-gold on the technology of enrichment of gold-containing natural and technogenic ores // Gornyy vestnik Uzbekistana. No. 2 (89). – Navoi, 2022, pp. 95-99.
3. Vorobyov A.E., Peregudov V.V., Bekenova G.K., Vorobyov K.A. Fine-dispersed and nano-gold in coarse-gravel conglomerates of Bayankola (Konusny section, South Kazakhstan) // Gornyy vestnik Uzbekistana. No. 4 (95). – Navoi, 2023, pp. 79-84.
4. Amdur A.N., Vatin N.A. Impurity content in dispersed gold particles depending on their size. Reports of the Russian Academy of Sciences, Vol. 470, No. 6. – Moscow: FGBU "Publishing House "Nauka", 2016, pp. 471-472.
5. Zubkov A.A., Shuleniina Z.M., Vorobyov A.E. An effective method of enriching oxidized ores // Surveying and Mineral Resource Use. No. 5. – Moscow: Published by "Geomar Nedra" LLC, 2009, pp. 59-63.
6. Amdur A.N., Vatin N.A., Fedorov S.A., Matushkina A.N. Movement of dispersed gold droplets in porous bodies and oxide melts during heating. Reports of the Russian Academy of Sciences, Vol. 465, No. 3. – Moscow: FGBU "Publishing House "Nauka", 2015, pp. 307-309.
7. Vorobyov A.E., Peregudov V.V., Zhuganov A.M., Chekushina T.V., Kargino K.G. Technology of processing and enrichment of Mesozoic-Cenozoic weathering crust ores // Proceedings of the II International Conference "Resource-reproducing, low-waste, and environmentally-friendly technologies for mineral exploration". – Moscow: RUDN Publishing House, 2003, pp. 191-195.
8. Vorobyov A.E., Chekushina T.V. Method of in-pit enrichment of rock: Soviet invention No. 1818468, IPC5 E 21 C 41/26, Bulletin No. 20, 1993.
9. Abishev V.M., Bespaev H.A., Globa V.A., Gulyaeva N.Ya. Gold deposits of Kazakhstan. Handbook. – Alma-Ata, 1996. – 144 p.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ДИНАМИКУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ГОРЯЧЕБРИКЕТИРОВАННОГО ЖЕЛЕЗА



Халикулов У.М.,
доцент кафедры
«Металлургия» Алмалыкского филиала
НИТУ «МИСИС», PhD

Maqolada po'lat eritish pechida (DSP) po'lat eritishda GBJdan foydalanishning o'ziga xos xususiyatlari o'rganilib, natijada ayniqsa toza, yuqori sifatli va maxsus po'latlarni, xususan, O'zbekiston iqtisodiyotining sanoat sektorida keng qo'llaniladigan, to'liq import qilinadigan xrom-molibden po'latini eritishning qo'shimcha imkoniyatlari ta'minlanadi. Zararli aralashmalar miqdori bo'yicha olingan yarim mahsulotning sifati 100 % metall qoldiqlaridan foydalangandan yuqori bo'lganligi sababli, GBJ metalolom bilan taqqoslaganda transport va saqlash uchun qulay sharoitlarga ega.

***Kalit so'zlar:** issiq briketlangan temir, boshq po'lat eritish pechi, elektr po'lat eritish sexi, zaryad tarkibi, yuqori harorat, metallolom, oksidlanish davri, deoksidlanish.*

В статье исследованы особенности использования ГБЖ при выплавке стали в дуговой сталеплавильной печи (ДСП), в результате которого обеспечиваются дополнительные возможности выплавки особо чистых высококачественных и специальных сталей, в частности хромомолибденовую сталь которая широко применяется в индустриальном секторе экономики Узбекистана, при этом полностью импортируемая. Поскольку качество получаемого полупродукта по содержанию вредных примесей выше, чем при использовании 100% металлического лома, ГБЖ имеет более благоприятные условия транспортирования и хранения по сравнению с ломом.

***Ключевые слова:** горячебрикетированное железо, дуговая сталеплавильная печь, электросталеплавильный цех, состав шихты, высокая температура, металлолом, окислительный период, раскисление.*

В процессе индустриального развития Узбекистана, особенно в горно-металлургической промышленности и машиностроении, растёт потребность в специальных сплавах и высококачественной стали, одной из которых является хромомолибденовая сталь. Однако технология выплавки этого вида стали с использованием вторичного лома и металлизированной шихты в виде горячебрикетированного железа (ГБЖ) пока отсутствует.

При выплавке полупродукта в ДСП в последнее время на металлургических заводах Узбекистана применяют добавку ГБЖ российского производства в металлошихту, что отражается на технико-экономических показателях плавки, в том числе и на стойкости футеровки. Преимущества использования такого сырья хорошо известны, но не в полной мере освещаются проблемы, связан-

ные с его использованием, ограничена информация об особенностях работы с таким сырьем. Нет единого мнения о влиянии ГБЖ на технологические показатели электроплавки – расходы энергоносителей, шлакообразующих добавок, стойкость футеровки и другие показатели.

Все это зависит от ряда факторов: конструкции ДСП, энерготехнологических режимов, характеристик ГБЖ, способа загрузки ГБЖ в печь и других. При этом ряд предприятий используют этот материал в различном соотношении с ломом и чугуном.

Решения по этим вопросам требуют анализа имеющегося опыта. Мало изучено влияние повышенной доли ГБЖ на состояние футеровки большегрузной ДСП, окисленность системы в печи, отсутствуют стандартные рекомендации по ведению шлакового режима при использовании ГБЖ [1].

Важно и то, что использование ГБЖ способствует «зелёной металлургии». Производство прямовосстановленного железа с последующим брикетированием может осуществляться с использованием природного газа или водорода, уменьшая углеродный след по сравнению с доменным процессом.

Полученная таким образом сталь не только чище по экологии, но и по металлургическому качеству – в ней меньше сернистых и фосфорных включений. Многие мировые производители стали (например, в США, на Ближнем Востоке, в России) инвестируют в производство ГБЖ именно для получения чистой стали высокого качества.



Рис. 1. Брикеты ГБЖ

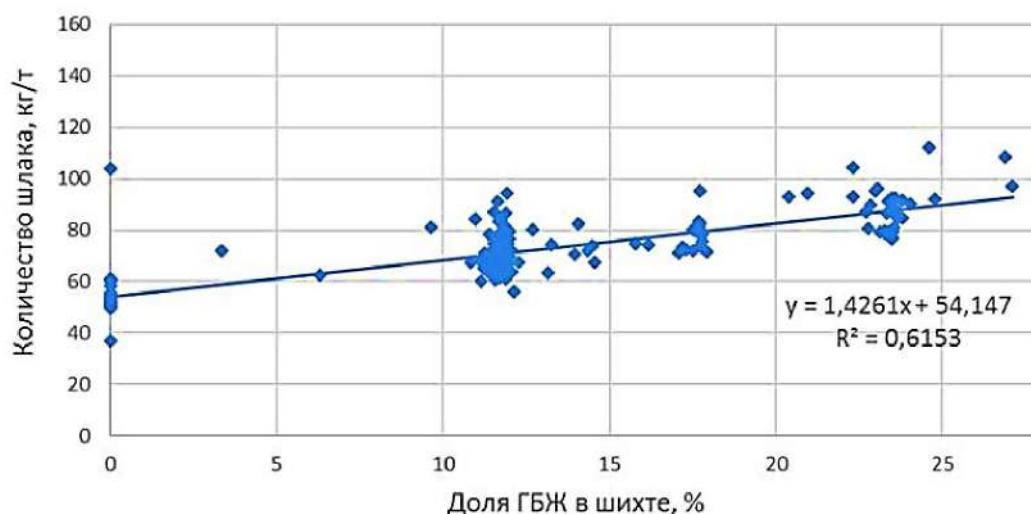


Рис. 2. Количество шлака при увеличении доли ГБЖ в шихте

Таким образом, горячешлакованное железо стало стратегическим сырьем, позволяющим совмещать требования высокой чистоты стали по включениям с задачами устойчивого, экологически чистого металлургического производства.

Оптимизация процесса электроплавки с применением ГБЖ зависит от множества факторов, включая конструкцию печи, энерготехнологический режим, характеристики ГБЖ и способ его загрузки. Различные предприятия используют ГБЖ в разных пропорциях с ломом и чугуном, но для принятия обоснованных решений необходим анализ существующего опыта.

Особенно мало изучено влияние высокой доли ГБЖ на футеровку крупнотоннажных ДСП, степень окисленности системы и ведение шлакового режима. Это подтверждает необходимость системного изучения применения ГБЖ в металлошихте дуговых электропечей с твёрдой завалкой. Развитие исследований в этом направлении позволит повысить эффективность производства высококачественной стали.

Особенно мало изучено влияние высокой доли ГБЖ на футеровку крупнотоннажных ДСП, степень окисленности системы и ведение шлакового режима. Это подтверждает необходимость системного изучения применения ГБЖ в металлошихте дуговых электропечей с твёрдой завалкой [2]. Развитие исследований в этом направлении позволит повысить эффективность производства высококачественной стали при использовании ГБЖ в металлошихте.

Работа, нацеленная на выявление значений технологических параметров, приводящих к повышению технико-экономических показателей процессов и повышение качества получаемого металла является актуальной.

Металлизированное сырьё оказывает значительное влияние на качество и свойства стали. Прежде всего, его преимущество заключается в отсутствии примесей цветных металлов (Cu, Zn, Ni, Sn и др.). Увеличение доли железа прямого восстановления в шихте способствует снижению концентрации этих примесей в полупродукте. Кроме того, при соблюдении определённых условий применения ГБЖ позволяет получать полупродукт с низким содержанием азота, а с применением ковшевого легирования и рафинирования — также низкое содержание азота в готовой стали.

Влияние добавки металлизированного сырья, в том числе ГБЖ, на энерготехнологические показатели плавки проявляется по-разному [3, 4] и зависит от разных факторов - способа загрузки ГБЖ в печь, конструкцией печи, ведения энерготехнологического режима, физико-химических характеристик ГБЖ и других.

При увеличении добавки ГБЖ в шихту с 0 до 25 % наблюдается снижение выхода годного в среднем с 91 % до 86 %, что обусловлено содержанием значительного количества пустой породы в ГБЖ, а также потерями железа со скачиваемым шлаком.

При этом на рис. 2 видно, что при увеличении доли ГБЖ в шихте повышается количество шлака в печи.

Добавление ГБЖ в металлошихту оказывает неоднозначное влияние на энерготехнологические показатели плавки, что обусловлено такими факторами, как способ загрузки, конструкция печи, физико-химические свойства ГБЖ и параметры энерготехнологического режима.

Например, при увеличении доли ГБЖ в шихте с 0 до 25 % выход годного металла снижается в среднем с 91 % до 86 %. Это связано с наличием пустой породы в ГБЖ и потерями железа со скачиваемым шлаком. Также при увеличении доли ГБЖ с 0 до 25 % масса шлака в печи возрастает с 53 до 90 кг/т, что повышает расход электроэнергии.

Расчёты показали, что на производство 1 т жидкого полупродукта затрачивается энергия для плавления металлошихты (металлического лома и ГБЖ) и её перегрева до 1570°C, а также для расплавления извести и MgO-флюса. С увеличением доли ГБЖ в шихте с 0 до 27 % средний удельный расход электроэнергии повышается с 400 до 465 кВт·ч/т.

Это обусловлено наличием оксидов железа в ГБЖ, требующих дополнительной энергии на восстановление, а также увеличением количества образующегося шлака.

Кроме того, наличие пустой породы снижает коэффициент теплопроводности шихты, что дополнительно увеличивает расход электроэнергии. Фактические данные по расходу электроэнергии подтверждают расчётные значения, однако возможны отклонения, вызванные задержками выпуска плавки и необходимостью дополнительного ввода тепла.

На рис. 3 показано изменение удельного расхода электроэнергии в зависимости от расчетного количества шлака в печи, которое рассчитывали с учётом прихода оксидов (CaO, MgO) из шлакообразующих добавок, прихода оксида кремния из ГБЖ, а также с учётом фактического содержания оксидов железа, марганца и алюминия в шлаке (массив из 201 плавки с использованием ГБЖ).

При увеличении количества шлака с 75 до 155 кг/т средний расход электроэнергии повышается с 400 до 450 кВт·ч/т.

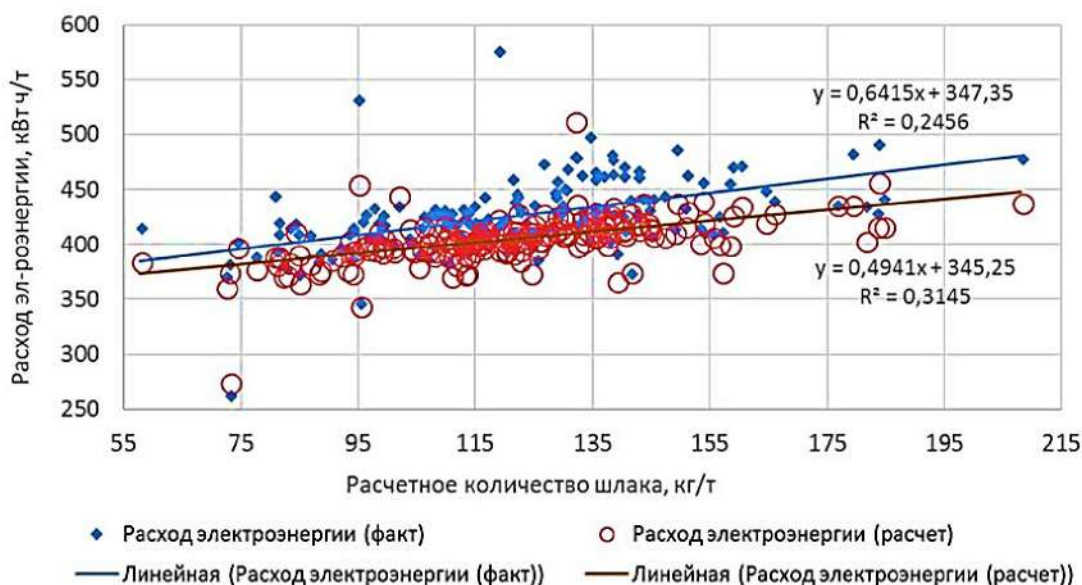


Рис. 3. Удельный расход электроэнергии в зависимости от количества шлака в ДСП-100 при использовании ГБЖ в шихте

Основные характеристики способов производства стали

Таблица 1

| № | Показатель | Режим работы ДСП-100 | | Откло-нение, % |
|-----|----------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------|
| | | на 100 %-ом ломе | с использованием ГБЖ | |
| 1. | Процент ГБЖ в завалке, % | 0 | 12,9 | - |
| 2. | Расход электроэнергии, кВт·ч/т | 387 | 426 | 10,2 |
| 3. | Расход кислорода, м³/т | 37,0 | 41,9 | 13,1 |
| 4. | Расход природного газа, м³/т | 5,56 | 5,76 | 3,6 |
| 5. | Расход извести, кг/т | 51,5 | 55,9 | 8,5 |
| 6. | Расход магнезиально-известкового флюса, кг/т | 10,40 | 10,55 | 1,4 |
| 7. | Температура металла на выпуске, °С | 1643 | 1632 | -0,7 |
| 8. | Вес завалки, т | 162,9 | 168,5 | 3,3 |
| 9. | Вес плавки, т | 151,6 | 147,6 | -2,7 |
| 10. | Расходный коэффициент | 1,0745 | 1,1416 | 6,2 |
| 11. | Длительность цикла плавки, мин | 76,0 | 75,9 | -0,14 |

В табл. 1 представлено сравнение средних удельных технологических показателей работы печи при использовании ГБЖ и работе на 100 % ломе при выплавке стали в ДСП-100УМК.

Из табл. 1 видно, что при эксплуатации ДСП со средним содержанием ГБЖ в шихте 12,9 %, по сравнению с работой ДСП на 100 % металлическом ломе, возрастают средние удельные технологические показатели: расход электроэнергии – на 10,2 %, кислорода на 13,1 %, природного газа – на 3,6 %.

Вместе с этим увеличивали расход извести и магнезиально-известкового флюса.

Средний удельный расход извести вырос на 8,5 %, магнезиально-известкового флюса – на 1,4 %.

Средняя температура металла на выпуске из ДСП при использовании добавки ГБЖ составила 1632°С, что ниже температуры металла на выпуске при работе на 100 % ломе – 1643°С.

Длительность цикла плавки при разных режимах находилась на одном уровне.

Средний вес плавки при использовании ГБЖ в шихте снизился на 2,7 %. Максимальное количество ГБЖ в завалке за анализируемый период составило 40,8 т (24 % от массы завалки).

Выводы. Применение горячебрикетированного железа (ГБЖ) в металлшихте дуговых сталеплавильных печей (ДСП) обеспечивает дополнительные технологические возможности для выплавки особо чистых, высококачественных и специальных марок сталей, в том числе хромомолибденовых сталей, востребованных в промышленном секторе Узбекистана. Использование ГБЖ вместо или в дополнение к металлическому лому позволяет снизить содержание вредных примесей (Cu, Sn, Zn и др.) в полупродукте за счёт высокой чистоты исходного сырья, а также обеспечивает благоприятные условия транспортировки и хранения по сравнению с ломом.

Установлено, что увеличение доли ГБЖ в шихте приводит к росту массы шлака и снижению выхода годного металла, что связано с наличием пустой породы в составе брикетов и потерями железа со шлаком. При доле ГБЖ 25 % масса шлака возрастает до 90 кг/т, а выход годного снижается с 91 % до 86 %.

Добавка ГБЖ увеличивает удельный расход электроэнергии на плавку стали. При росте содержания ГБЖ с 0 до 27 % расход электроэнергии возрастает с 400 до 465 кВт·ч/т, что связано с необходимостью восстановления оксидов железа, ухудшением теплопередачи в шихте и повышенным шлакообразованием.

Средние удельные расходы кислорода, природного газа, извести и магнезиально-известкового флюса также возрастают при применении ГБЖ, что обусловлено увеличением степени окисленности системы и необходимостью корректировки шлакового режима. Влияние добавки ГБЖ на температуру металла на выпуске незначительно (снижение на 11 °С), при этом продолжительность плавки остаётся стабильной. Однако наблюдается снижение веса готовой плавки, что также требует учёта при расчёте технико-экономических показателей.

Полученные результаты подтверждают необходимость комплексного подхода к оптимизации режимов электроплавки с ГБЖ, включая разработку рекомендаций по шлакообразующим материалам, энергоподаче и способам загрузки брикетов в печь.

Систематизация опыта эксплуатации ДСП с различной долей ГБЖ позволяет повысить эффективность производства стали и качество конечного продукта.

Библиографический список:

1. Коровин Б.М., Громков В.Ю., Куликов В.В., Шепелев Д.С., Арсланов В.Г. Интенсификация процесса выплавки стали в дуговой электропечи // Чёрная металлургия. – № 5.– Москва, 2015. – С. 19-21.
2. Кожухов А.А., Семин А.Е., Котельников Г.И. Исследование условий и факторов образования вспененных шлаков в дуговой сталеплавильной печи // Сборник трудов 13 конгресса сталеплавателей. 2014. – С. 93-98.
3. Касьян Г.И., Павленко А.В., Попик Н.И., Кодак А.В. Опыт использования железа горячебрикетированного в шихтовке плавки современной высокопроизводительной электродуговой печи в условиях ЭСПЦ АО (частное) "ДЭМЗ" // Сборник трудов 11 конгресса сталеплавателей. 2011. – С. 255-259.
4. Коростелёв А.А., Котельников Г.И., Семин А.Е., Божесков А.Н. и др. Анализ влияния добавки горячебрикетированного железа в завалке на технологические показатели плавки в электропечи // Чёрные металлы. – № 10. – М.: Руда и металлы, 2017. – С. 33-40.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 56-59 STUDY OF THE REGIME OF DETONATION WAVES IN BOREHOLE CHARGES OF EXPLOSIVES

Khalikulov U.M., Associate Professor of the Department of Metallurgy, PhD.

Almalyk branch of National University the Science and Technology MISIS. Uzbekistan.

The detonation speed of explosive charges is one of its main characteristics. The article examines the regime of detonation waves in borehole explosive charges. The detonation characteristics of explosives were calculated and formulas were recommended for determining the speed of detonation of explosives, detonation pressure, the density of explosion products in the detonation wave and the speed of expansion of explosion products.

Key words: hot briquetted iron, arc steelmaking furnace, electric steelmaking workshop, charge composition, high temperature, scrap metal, oxidation period, deoxidation.

Bibliographic list:

1. Korovin B.M., Gromkov V.Yu., Kulikov V.V., Shepelev D.S., Arslanov V.G. Intensification of the steelmaking process in an electric arc furnace // Ferrous Metallurgy. – No. 5. – Moscow, 2015. – Pp. 19-21.
2. Kozhukhov A.A., Semin A.E., Kotelnikov G.I. Study of conditions and factors for the formation of foamy slags in an electric steelmaking furnace // Proceedings of the 13th Steelmakers Congress. 2014. – Pp. 93-98.
3. Kasyan G.I., Pavlenko A.V., Popik N.I., Kodak A.V. Experience in using hot-briquetted iron in the charge of modern high-performance electric arc furnaces at the EAF of the private company "DEMZ" // Proceedings of the 11th Steelmakers Congress. 2011. – Pp. 255-259.
4. Korostelyov A.A., Kotelnikov G.I., Semin A.E., Bozheskov A.N., et al. Analysis of the effect of adding hot-briquetted iron to the charge on technological parameters of melting in an electric furnace // Ferrous Metals. – No. 10. – Moscow: Ruda i Metally, 2017. – Pp. 33-40.

НФ-1200

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫЙ СТАНОК



NMZ
ЎЗБЕКА ЭКСПАН-И МЕТАЛЛОЛ

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

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙТРАЛИЗУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ КИСЛЫХ СТОКОВ ТЕХНОЛОГИИ БАКТЕРИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ



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



Шарипов С.Ш.,
заведующий кафедрой «Химическая технология» НГТУ,
PhD, доцент



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

Ushbu ishning maqsadi mahalliy reagentlardan foydalanish orqali kislotali oqova suvlarni neytrallash imkoniyatlarini aniqlashdan iborat. Ishda neytrallovchi reagent sifatida ohaktosh, ohak, kaustik soda va kalsinatsiyalangan soda qo'llanilgan. Kislotali oqova suvlarning pH muhitining o'zgarishiga qarab neytrallovchi reagentlar sarfi aniqlangan. Rentgenofazali tahlil yordamida neytrallash jarayonidan keyin hosil bo'lgan qattiq fazaning mineralogik tarkibi o'rganilgan.

Kalit so'zlar: ohaktosh, ohak, kaustik soda, kalsinlangan soda, kislotali oqova suv, biooksidlanish, sulfid rudasi.

Целью данной работы является определение возможностей нейтрализации кислых стоков за счёт применение местных реагентов. В качестве нейтрализующего реагента в работе использованы известняк, известь, едкий натр и кальцинированная сода. Определены расходы нейтрализующих реагентов в зависимости изменения pH среды кислых стоков. Установлен минералогический состав твёрдой части нейтрализационного стока после нейтрализации путём проведения рентгенофазовых исследований.

Ключевые слова: известняк, известь, каустическая сода, кальцинированная сода, кислый сток, биоокисление, сульфидная руда.

Золотосодержащие руды в мире существуют по своему вещественному составу и минеральной ступени, а также по взаимному расположению и связям минералов. Золотосодержащие руды относятся к типу труднообогатимых минеральных руд [1-2]. Окисленные, легко перерабатываемые формы рудных ресурсов, содержащие золото, начали уменьшаться. Промышленное использование бактериального окисления [3], автоклавного обогащения и других методов переработки золотосодержащих руд позволяет внедрять передовые технологии в этой области [3-5].

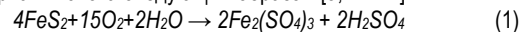
В настоящее время в мире увеличение мощностей производства золотодобывающих предприятий привело к «переворужению» технологий заводов.

В связи с этим важным является нахождение возможностей переработки новых видов полезных ископаемых.

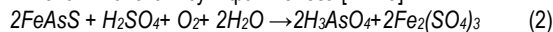
АО «Навоийский горно-металлургический комбинат» по технологии бактериального окисления перерабатывает сульфидные золотосодержащие руды. Сульфидные руды в основном добываются из карьеров «Кокпатас» и «Даугызтау». Само по себе производство требует очень большого количества технической воды для технологических нужд. Используемая техническая вода загрязняется определёнными видами химических ионов. Актуальным является нахождение оптимальных вариантов нейтрализации сбросных стоков, разработка способов по экологическому обеззараживанию и водоборотных циклов. В процессе бактериального окисления упорного золота основными составляющими выщелачивающего раствора обычно являются мышьяк, серная кислота (H_2SO_4) и железо. Сутью процесса нейтрализации является нейтрализация токсичных химических веществ, осаждение железа и мышьяка в виде осадков [6-10].

В настоящее время в существующих установках для биологического выщелачивания применяется нейтрализация известняком в условиях температуры окружающей среды.

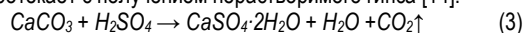
При бактериальном окислении пирита образуются сульфат железа и серная кислота следующим образом [3, 11-12]:



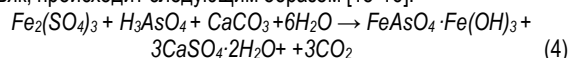
В результате бактериального окисления арсенопирита образуются мышьяковая кислота и сульфат железа [12-13]:



Нейтрализация серной кислоты с применением реагента известняка, протекает с получением нерастворимого гипса [14]:



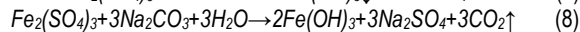
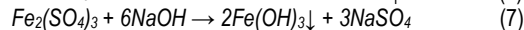
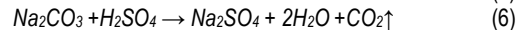
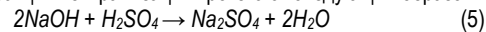
Осаждение продукта после биокисления, содержащего железо и мышьяк, происходит следующим образом [15-16]:



Этот метод осаждения в последнее время становится не выгодным, потому что совместно с гипсом, Ca, осаждаются золотосодержащие продукты [17].

Чтобы избежать образования гипса мы предлагаем в качестве нейтрализующего агента $NaOH$ или Na_2CO_3 .

При этом, реакции нейтрализации протекают следующим образом:



Образующийся Na_2SO_4 в отличие от гипса не осаждается. По себестоимости $NaOH$ дороже, чем Na_2CO_3 , поэтому для нейтрализации более выгодным является Na_2CO_3 [18-19].

Гидролиз сульфата окиси железа при $pH > 2,8$ протекает с образованием гидроокислов, а при более низком pH с образованием ярозита:

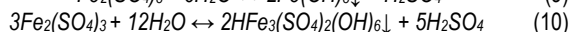
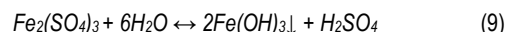


Таблица 1

Содержание элементов в исходном растворе в ГМЗ-3 (мкг/л)

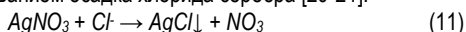
| № | Li | Be | B | Na | Mg | Al | P | K | Ca | Sc |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. | 610 | 46,0 | 860 | 1000 | 1800 | 79000 | 22000 | 200000 | 1400 | 320 |
| | <i>Ti</i> | <i>V</i> | <i>Cr</i> | <i>Mn</i> | <i>Fe</i> | <i>Co</i> | <i>Ni</i> | <i>Cu</i> | <i>Zn</i> | <i>Ga</i> |
| | 230 | 710 | 1900 | 98000 | 40000 | 15000 | 33000 | 27000 | 49000 | 59,0 |
| | <i>Ge</i> | <i>As</i> | <i>Se</i> | <i>Br</i> | <i>Rb</i> | <i>Sr</i> | <i>Y</i> | <i>Zr</i> | <i>Nb</i> | <i>Mo</i> |
| | 2300 | 2900 | 2300 | 5000 | 290 | 7300 | 350 | 140 | 3,30 | 290 |
| | <i>Ru</i> | <i>Rh</i> | <i>Pd</i> | <i>Ag</i> | <i>Cd</i> | <i>In</i> | <i>Sn</i> | <i>Sb</i> | <i>Te</i> | <i>I</i> |
| | <0,01 | <0,01 | 185 | 0,280 | 350 | 10,0 | 18,0 | 250000 | 230 | 170 |
| | <i>Cs</i> | <i>Ba</i> | <i>La</i> | <i>Ce</i> | <i>Pr</i> | <i>Nd</i> | <i>Sm</i> | <i>Eu</i> | <i>Gd</i> | <i>Tb</i> |
| | 25,0 | 580 | 220 | 500 | 63,0 | 300 | 90,0 | 19,0 | 120 | 15,0 |
| | <i>Dy</i> | <i>Ho</i> | <i>Er</i> | <i>Tm</i> | <i>Yb</i> | <i>Lu</i> | <i>Hf</i> | <i>Ta</i> | <i>W</i> | <i>Re</i> |
| | 74,0 | 13,0 | 33,0 | 3,90 | 22,0 | 3,60 | 6,00 | 0,250 | 36,0 | <0,01 |
| <i>Os</i> | <i>Ir</i> | <i>Pt</i> | <i>Au</i> | <i>Hg</i> | <i>Tl</i> | <i>Pb</i> | <i>Bi</i> | <i>Th</i> | <i>U</i> | |
| <0,01 | <0,01 | <0,01 | 26,0 | 0,840 | 33,0 | 3900 | 72,0 | 130 | 260 | |

Объекты и методы исследования. Изучение нейтрализации кислых стоков, образующихся в технологии бактериального окисления проводили на образцах заводской технологической цепочки.

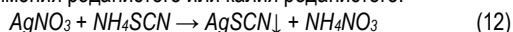
Основные характеристики технологического процесса, определяли в соответствии с методиками качественного, количественного, а также современными физико-химическими методами анализа. Качественные и количественные анализы были выполнены на основе методик Крешкова А.П. [20-21].

Измерение массовой концентрации хлорид-, нитрат-, сульфат-ионов в технологических растворах выполняли титриметрическими методом.

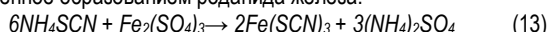
Количество хлорид ионов. Метод измерений – титриметрический, основан на количественном взаимодействии хлорид-ионов, с ионами серебра, содержащимися в добавленном к анализируемой пробе, точно отмеренном и взятом в избытке объёме нитрата серебра, с образованием осадка хлорида серебра [20-21]:



Избыток ионов серебра оттитровывают в азотнокислой среде раствором аммония роданистого или калия роданистого:

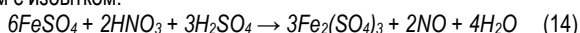


Точку эквивалентности определяют в присутствии железоаммонийных квасцов, применяемых в качестве индикатора. После полного связывания ионов серебра появляется исчезающее красновато-коричневое окрашивание анализируемого раствора, обусловленное образованием роданида железа:



По разности израсходованных объёмов роданида аммония, пошедшего на титрование точно отмеренного объёма нитрата серебра (V_x) и на титрование избытка нитрата серебра (V), оставшегося после взаимодействия с хлорид-ионами анализируемой пробы определяют объём роданида аммония эквивалентного объёму нитрата серебра, израсходованного на реакцию осаждения хлорид-ионов ($V_x - V$).

Количество нитрат ионов. Метод основан на реакции восстановления в сернокислой среде нитрат-ионов ионами железа (II), содержащимися в точно отмеренном объёме раствора соли Мора, взятом с избытком:



Избыток ионов железа (II) окисляется ионами хрома (VI) в процессе титрования раствором дихромата калия в присутствии индикатора дифениламиносульфоната натрия.

Количество сульфат ионов. Выполнение измерений массовой концентрации сульфатов титриметрическим методом основано на образовании труднорастворимого сульфата бария при прибавлении раствора хлорида бария к анализируемому раствору.

Таблица 2

Результаты количественной характеристики обнаруженных анионов в образцах биоокисления

| № | Наименование образца | Ионный состав жидкой фазы образцов | | |
|-----|------------------------------|--------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| | | SO ₄ ²⁻ , мг/л | Cl ⁻ , мг/л | NO ₃ ⁻ , мг/л |
| 1. | Классификатор верхнего слива | 1493 | 283 | 15,6 |
| 2. | Флотоконцентрат из УПС | 2872 | 320 | 12,4 |
| 3. | Реактор 2-1 | 2548 | 155 | 29,4 |
| 4. | Реактор 2-2 | 2453 | 164 | 35,7 |
| 5. | Реактор 2-3 | 2215 | 124 | 47,5 |
| 6. | Реактор 2-4 | 1955 | 145 | 35,6 |
| 7. | Реактор 2-5 | 1877 | 159 | 29,1 |
| 8. | Реактор 2-6 | 1785 | 164 | 19,8 |
| 9. | ПТД-1 | 2065 | 305 | 15,6 |
| 10. | ПТД-3 | – | – | – |
| 11. | Питание КЕМИКС | – | – | – |
| 12. | Хвосты цианирования | – | – | – |
| 13. | Хвосты цианирования огарка | – | – | – |

После практически полного осаждения сульфатов избыток ионов бария реагирует с индикатором с образованием комплексного соединения. При этом окраска раствора изменяется от сине-фиолетовой (фиолетовой) до голубой. Для уменьшения растворимости осадка сульфата бария титрование проводят в водно-спиртовой или водно-ацетоновой среде.

Первоначально образующиеся частицы сульфата бария слишком малы, чтобы их можно было фильтровать и промывать. Поэтому важным этапом является созревание осадка, в процессе которого формируются более крупные кристаллы:



Сульфат бария осаждают из кислого раствора, что повышает избирательность осаждения. Однако если кислотность раствора слишком велика, часть осадка сульфата бария растворяется.

Для того чтобы осаждение считалось количественным, потеря массы сульфата бария за счёт растворимости не должна превышать величину абсолютной погрешности взвешивания используемых аналитических весов. Для уменьшения растворимости осадка вводят небольшой избыток осадителя (хлорида бария).

Тонкий кристаллический осадок сульфата бария обычно фильтруют через плотный беззольный бумажный фильтр и промывают несколько раз декантацией. Этот осадок не пептизируется, поэтому его можно промывать чистой водой. Чтобы потери в массе сульфата бария за счёт растворимости при промывании были незначимы, сле-

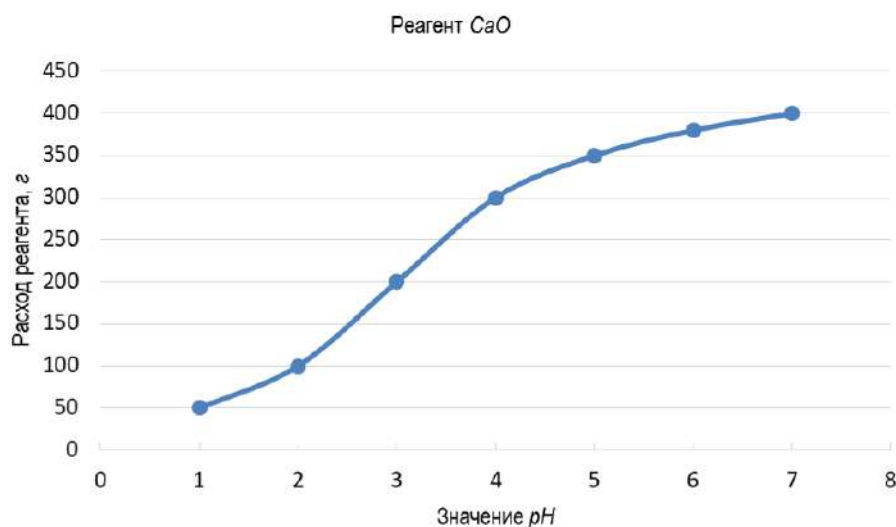


Рис. 1. Сравнительные расходы CaO

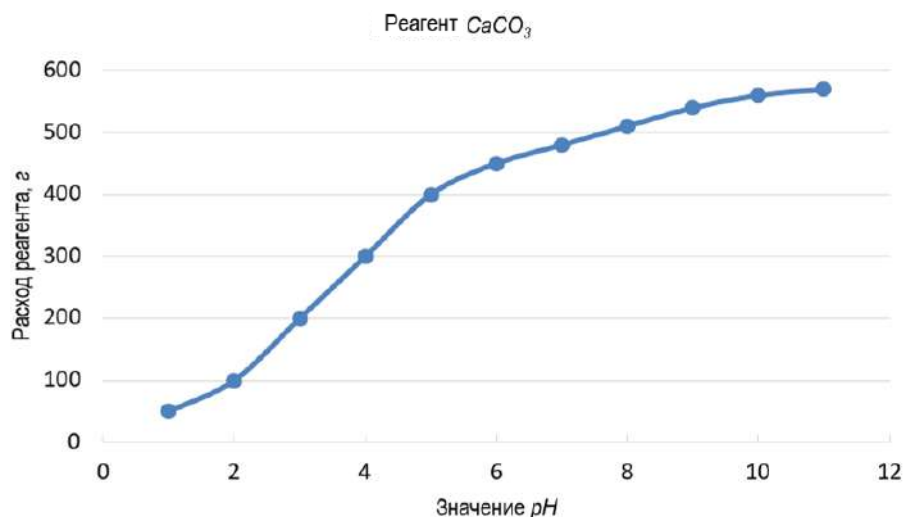


Рис. 2. Сравнительные расходы CaCO₃

дует избегать слишком долгого промывания осадка и прибавления больших объемов промывной жидкости. Для окончательного удаления следов примесей с поверхности осадка, находящегося на фильтре, сульфат бария несколько раз промывают на фильтре до отрицательной реакции на присутствие хлорид-ионов в промывных водах [20-21].

Рентгеноструктурный анализ. Исследование проводилось на порошковых рентгеновских дифрактометрах «Panalytical Empyrean» и «Shimadzu XRD-6100». Порошки образца тщательно перемешивались для получения образца со средним содержанием. Полуколичественный рентгенофазный анализ методом Риетвелда производился на программном обеспечении «Profex – Open source XRD and Reitveld Refinement» [22].

Масспектральный метод анализа. Качественные и количественные характеристики ионов, находящихся в растворах, определяли на приборе ISP-MS марки ИС-ICP-MS-7500.

Полученные результаты и их обсуждение. При анализе образцов, отобранных из 13 точек технологического процесса ГМЗ-3, нами обнаружено максимальное количественное изменение 70-ти хими-

ческих элементов, которые в наибольшей степени были подвержены растворению и отмечены в жидкой фазе изученных образцов (табл. 1). В табл. 1 отмечены химические элементы, имеющие наиболее высокое содержание в составе сульфидных минералов. При бактериальном выщелачивании в реакторах биоокисления содержание этих элементов несколько увеличивается. Возможно, не перешедшие ранее в раствор в кислой среде дополнительно выщелачивались из породообразующих минералов – форстерита $Mg[SiO_4]$, фаялита $Fe_2[SiO_4]$, анортита $Ca[Al_2Si_2O_8]$, альбита $Na[AlSi_2O_6]$, кварца SiO_2 или полевого шпата $K[AlSi_3O_8]$ и серпентина $Mg_3[Si_2O_5](OH)_4$.

Проведён анализ качественного и количественного содержания анионов в растворах бактериального окисления. При титриметрическом и фотоколориметрическом анализе количество хлорид-ионов в растворе в среднем составило 283 мг/л, нитрат ионов – около 15,6 мг/л. Возможно, хлорид- и нитрат ионы в кислой среде способны образовывать соляную и азотную кислоты, которые также в виде царской водки могут участвовать в растворении золота и выделять

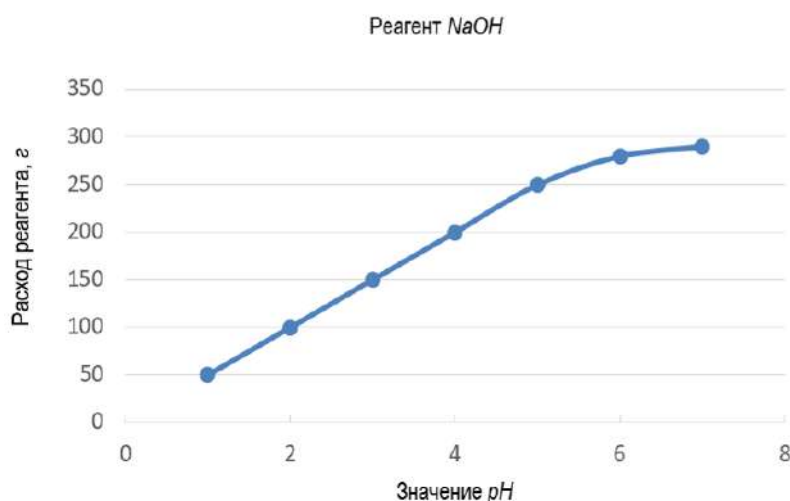


Рис. 3. Сравнительные расходы NaOH

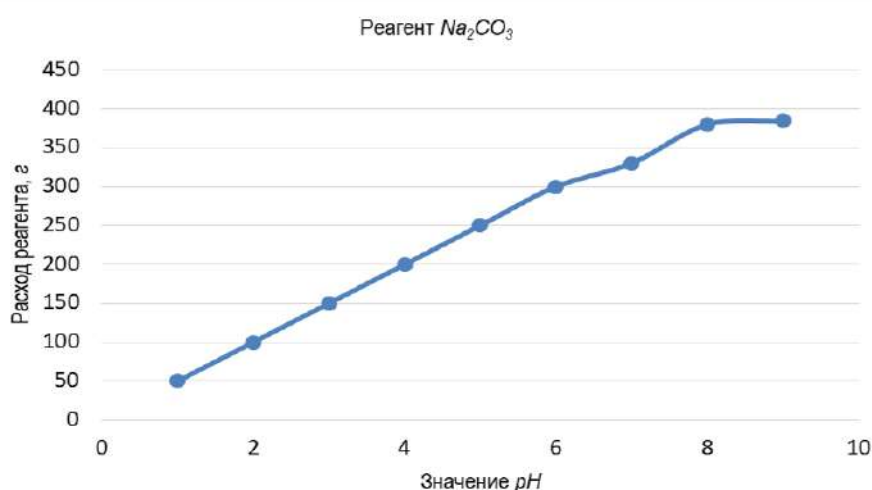


Рис. 4. Сравнительные расходы Na₂CO₃

его в раствор. Кроме того, в растворах были обнаружены селенат- и сульфат-ионы.

Для нейтрализации кислого стока был выбран раствор, полученный после процесса противоточной декантации. Количественное и качественное содержание ионов в составе кислого стока представлено на рис. 1-4. Раствор изначально был отфильтрован от механических примесей. Кислый сток после механического фильтрования имел pH – 1,2, ρ=1021 г/л.

Для сравнения расхода нейтрализующих реагентов нами был выполнен следующий эксперимент. Нейтрализационный сток отбирался из верхнего слива ПТД-1 в объеме 5 л (ρ=1045 г/л, pH=1,3, Fe²⁺=0,05 г/л, Fe³⁺=10,3 г/л). В качестве нейтрализующих реагентов экспериментально выбраны CaO, CaCO₃, NaOH, Na₂CO₃ (табл. 3). Зависимость расхода реагентов от времени приведена в таблице.

Для определения минералогического состава на каждый отдельный пачук было влито по 3 л раствора верхнего слива ПТД-1. Каждые 30 мин добавляли определённое количество нейтрализующих реагентов (табл. 3). По результатам исследования установлено, что для нейтрализации существующих объемов кислого растворов ПТД-1 требуется ежесуточно 2016 т известняка, что составит 725,76 тыс. т в год, а известняка в сутки 2873 т, что составит 1034,28 тыс. т в год. Для этой цели необходимо использовать 1462 т щёлочи в сутки что составляет 526,32 тыс. т в год. Расход

Таблица 3
Влияние природы нейтрализующих реагентов на pH среды раствора

| № | Наименование реагента | pH | Расход, г | pH | Расход, г | pH | Расход, г |
|-------|---------------------------------|------|-----------|-----|-----------|------|-----------|
| 1. | CaCO ₃ | 1,98 | +65 | 2,8 | +50 | 6,0 | +30 |
| 2. | Na ₂ CO ₃ | 2,4 | +60 | 3,3 | +25 | 7,3 | +5 |
| 3. | CaO | 1,8 | +100 | 2,5 | +70 | 13,3 | +20 |
| Объём | | | 3 л | 2 л | 1 л | | |

сода кальцинированной за аналогичный период составит 1940 т и 698,4 тыс. т, соответственно. Однако, стоит отметить, что при нейтрализации известняком, в реакторах происходит образование гипсовых отложений, которые могут оседать на рабочих частях баков нейтрализации, мешалках, перегородках, аэраторах и на внутренней части корпусов самих баков. При этом происходит уменьшение рабочего объема баков, затрудняется работа механического оборудования и снижается эффективность процесса.

Если не учитывать стоимость реагентов, по результатам минералогических анализов твёрдой фазы, полученной при нейтрализации слива ПТД-1, кальцинированная сода является самым хорошим образцом нейтрализующих реагентов. Предлага-

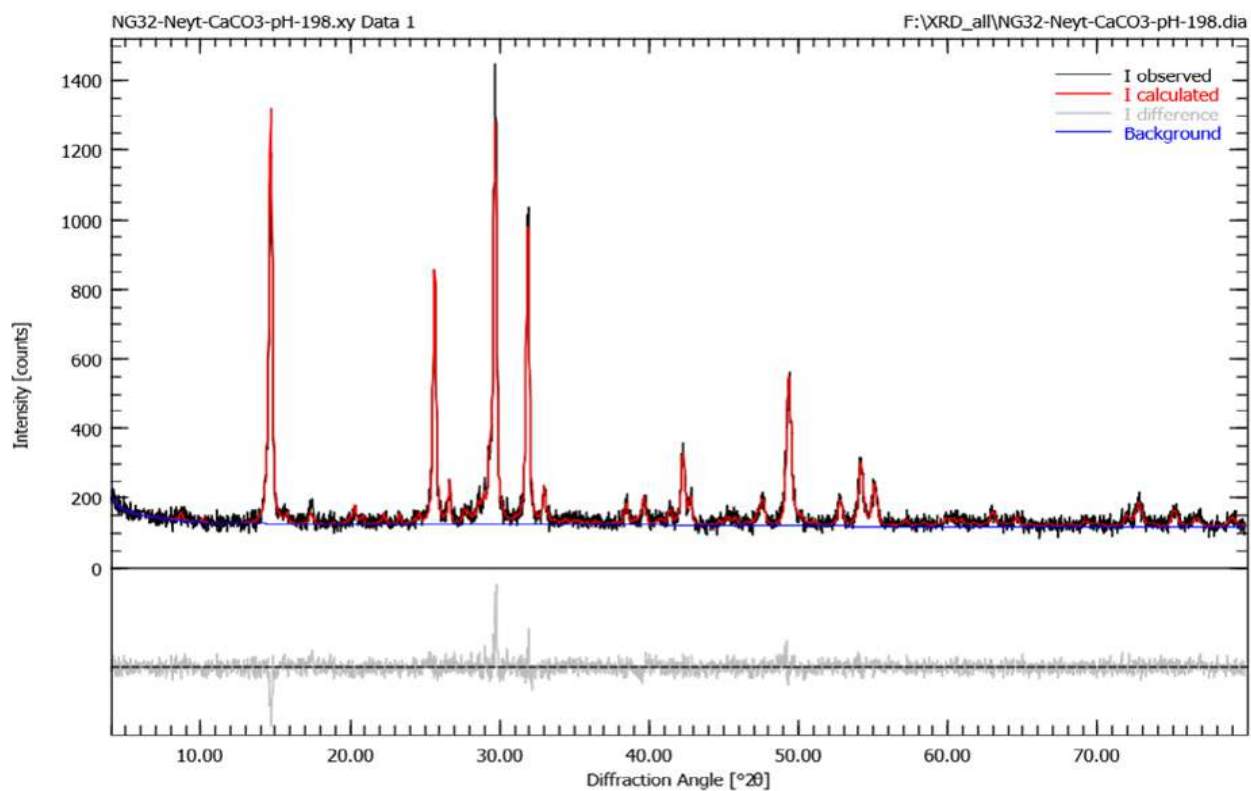


Рис. 5. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1 с известняком при pH = 1,98

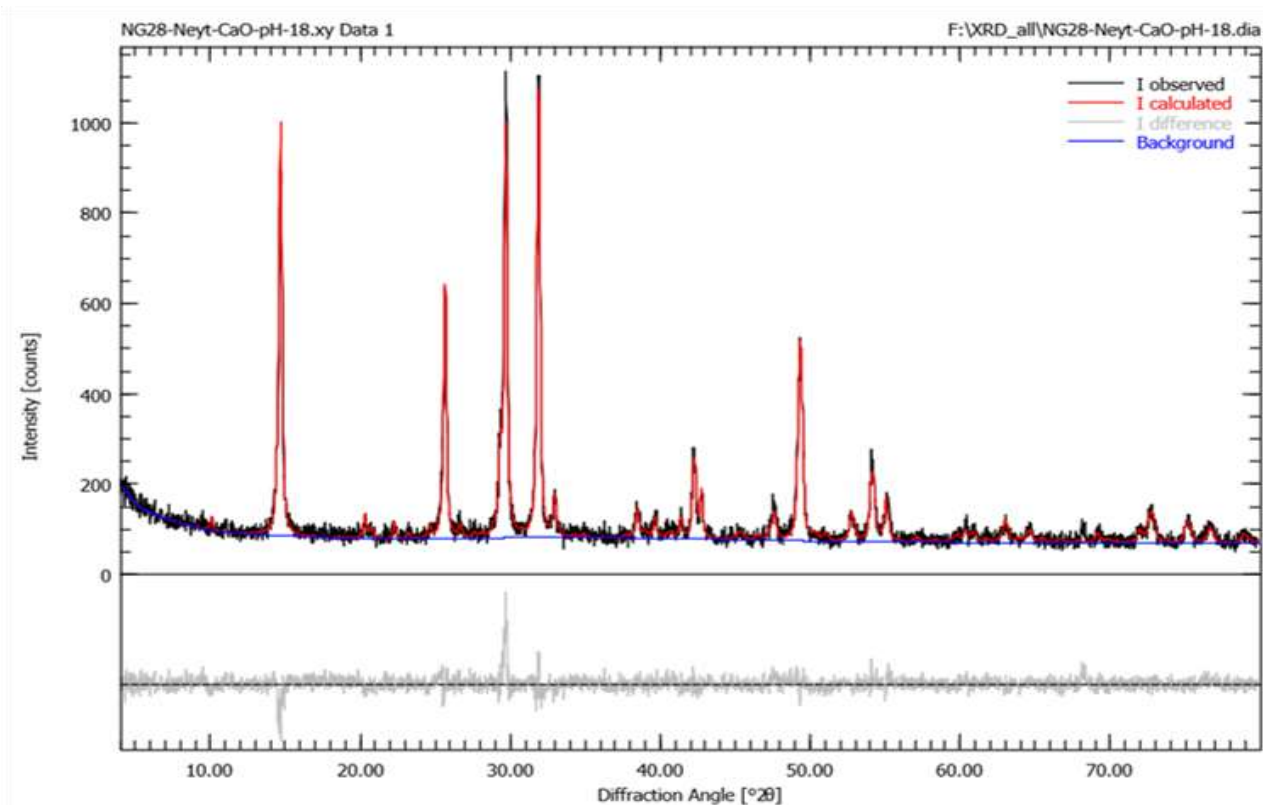


Рис. 6. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1 с известью при pH = 1,8

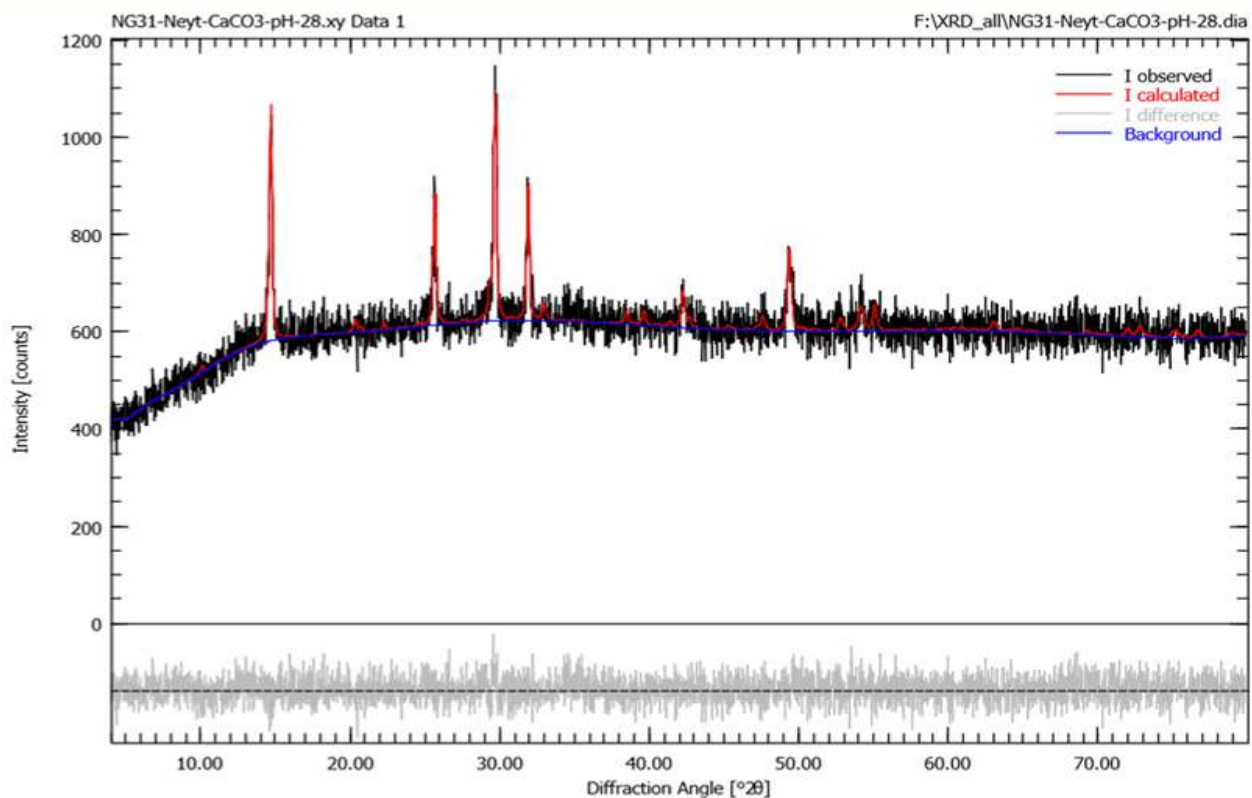


Рис. 7. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1 с известняком при pH = 2,8

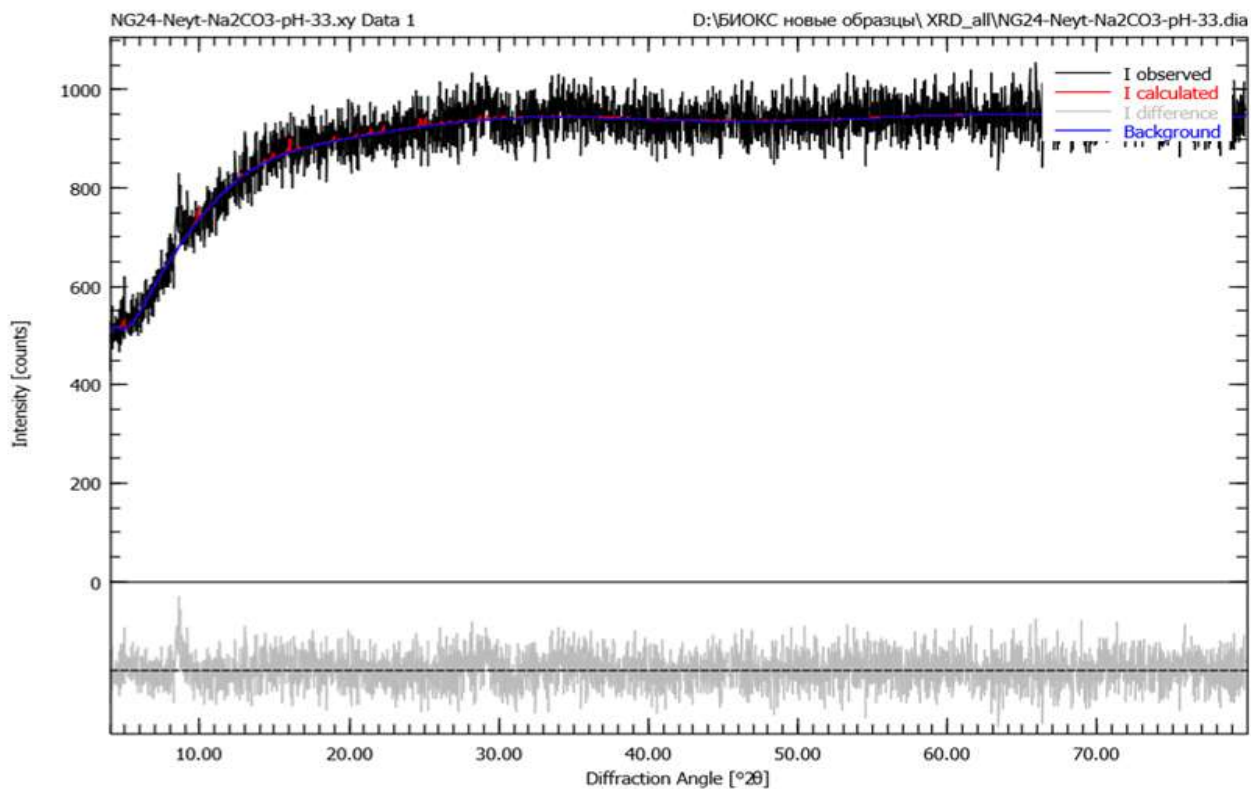


Рис. 8. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1с содой при pH = 3,3

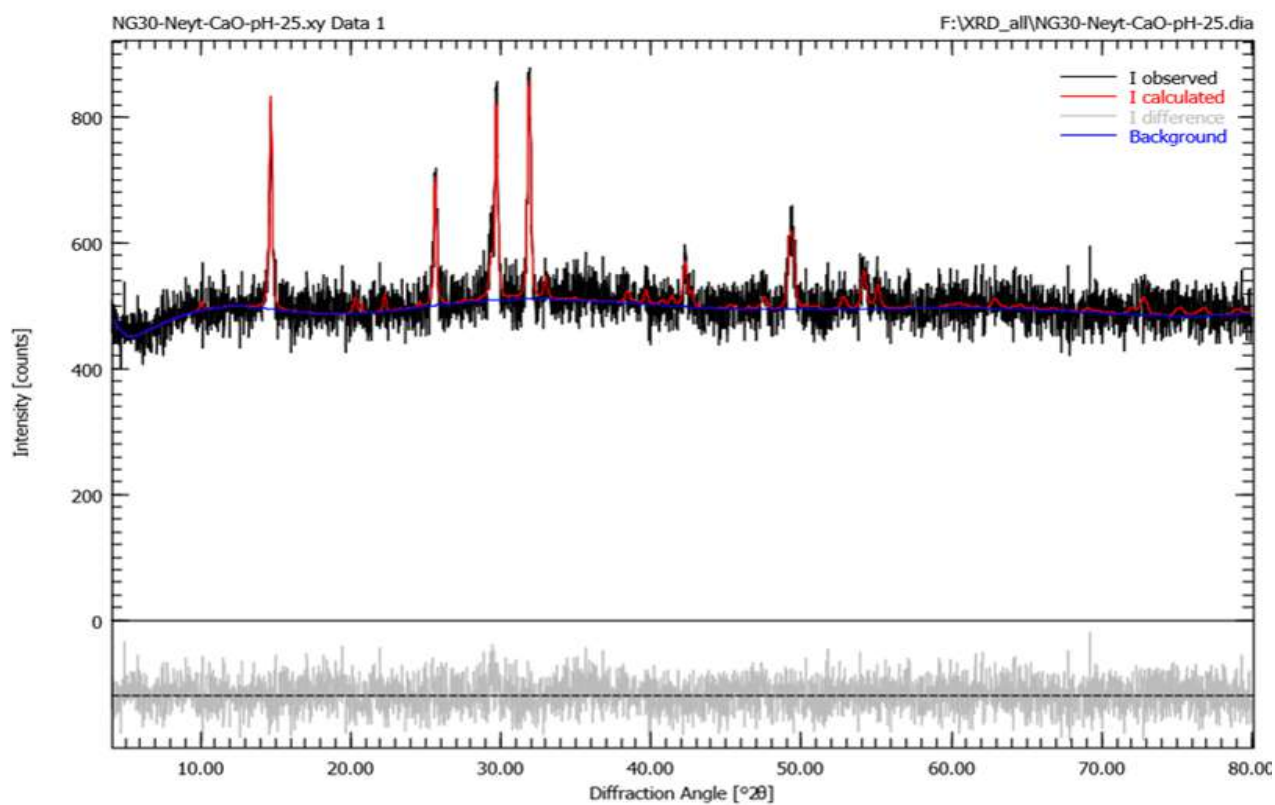


Рис. 9. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1с известью при pH = 2,5

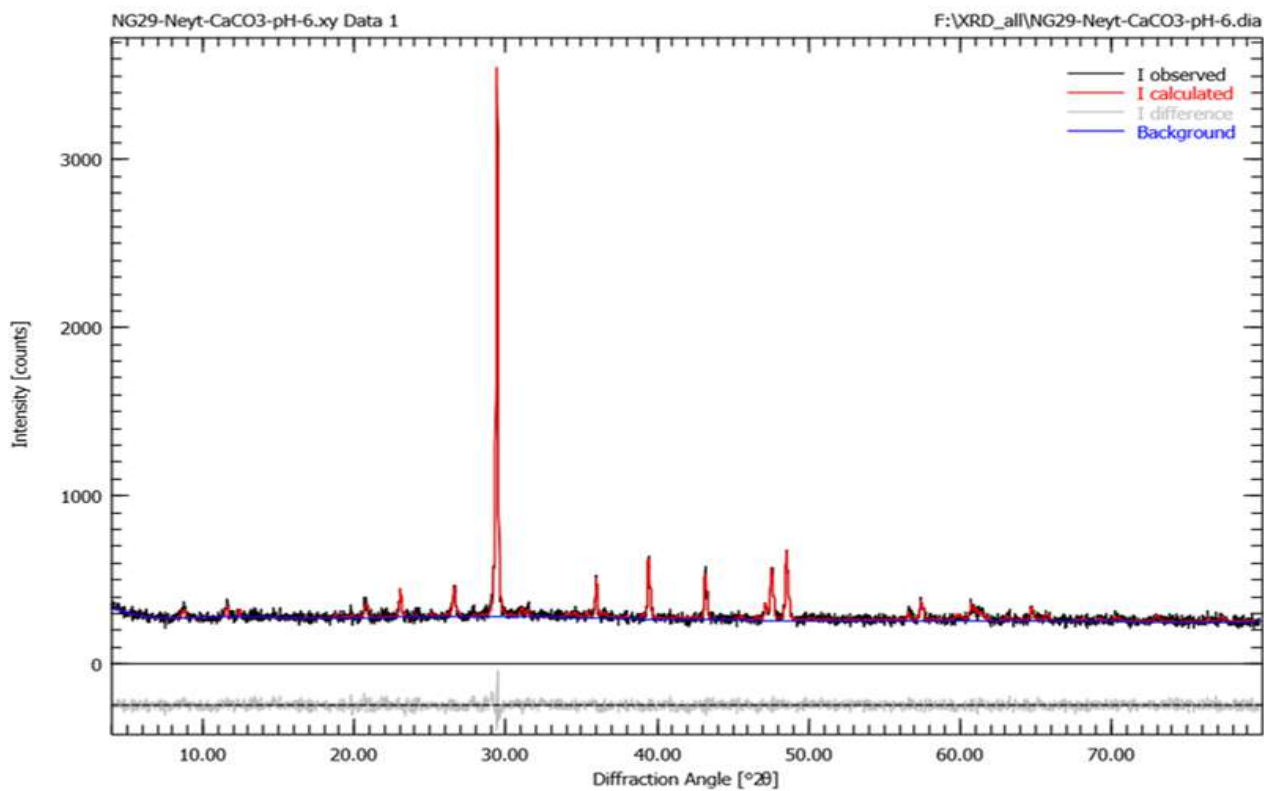


Рис. 10. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1 с известняком при pH = 6,0

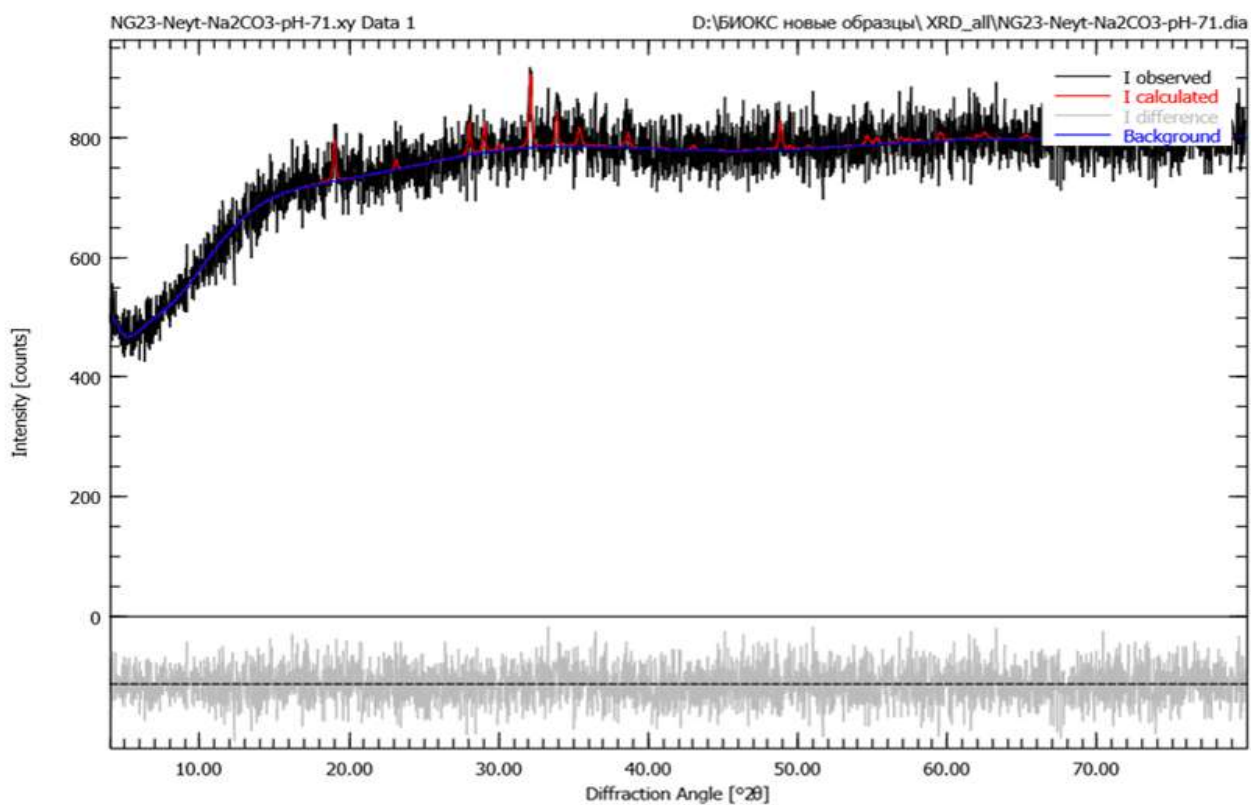


Рис. 11. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1 с содой при pH = 7,3

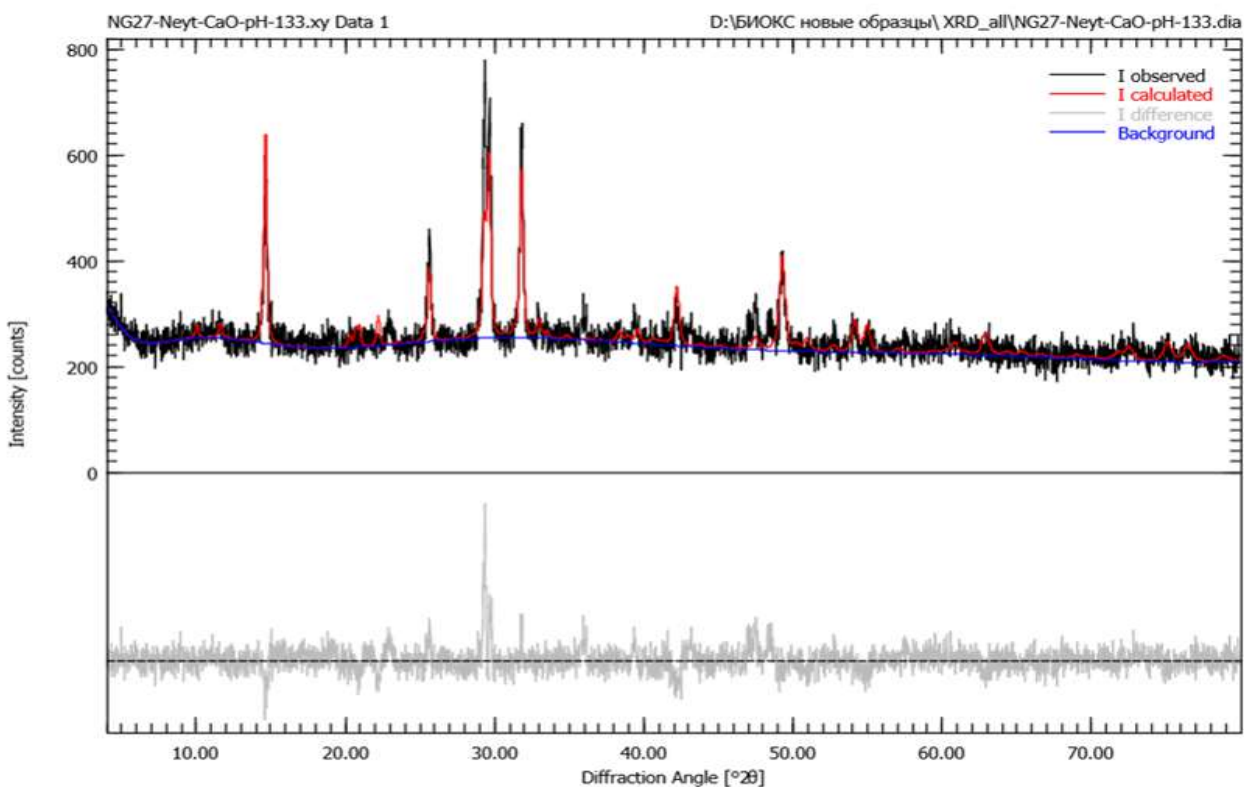


Рис. 12. Рентгенограмма образца нейтрализации ПТД-1 с известью при pH = 13,3

Таблица 4

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с известняком при pH 1,98

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|------------------------------------|---------------|
| 1. | Бассанит | $CaSO_4 \cdot H_2O$ | 89 |
| 2. | Кварц | SiO_2 | 2,5 |
| 3. | Глауберит | Na_2SO_4 | 1,2 |
| 4. | Ярозит | $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ | 3,34 |
| 5. | Скородит | $Fe^{3+}AsO_4 \cdot 2H_2O$ | 1,99 |
| 6. | Биотит-1М | $K(Mg,Fe)_3[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$ | 1,98 |

Таблица 5

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с известью при pH 1,8

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. | Бассанит | $CaSO_4 \cdot H_2O$ | 98,88 |
| 2. | Кварц | SiO_2 | 1,12 |

Таблица 6

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с известняком при pH 2,8

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. | Бассанит | $CaSO_4 \cdot H_2O$ | 100 |

Таблица 7

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. | Сульфат натрия | Na_2SO_4 | 88,80 |
| 2. | Магнетит | Fe_3O_4 | 11,20 |

ПТД-1 с содой при pH 3,3

Таблица 8

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с известью при pH 2,5

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. | Бассанит | $CaSO_4 \cdot H_2O$ | 100 |

ется использовать кальцинированную соду, которая даст возможность избежать образование гипсовых отложений при нейтрализации слива ПТД-1.

Таблица 9

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с известняком при pH 6,0

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|--------------------------------------------------------|---------------|
| 1. | Кальцит | $CaCO_3$ | 75,1 |
| 2. | Кварц | SiO_2 | 7,76 |
| 3. | Гидроталькит | $Mg_6Al_2(OH)_{16}[CO_3] \cdot 4H_2O$ | 3,34 |
| 4. | Доломит | $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ | 4,25 |
| 5. | Биотит-1М | $K(Mg, Fe)_3[Si_3AlO_{10}](OH,F)_2$ | 3,98 |
| 6. | Хлорит 2b | $(Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg,Fe)_3(OH)_6$ | 2,87 |
| 7. | Мусковит 2М1 | $KAl_2[AlSi_5O_{10}](OH)_2$ | 2,69 |

Таблица 10

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с содой при pH 7,3

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|---------------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. | Сульфат натрия Na_2SO_4 | Na_2SO_4 | 88,8 |
| 2. | Магнетит | Fe_3O_4 | 11,2 |

Таблица 11

Полуколичественный минералогический состав нейтрализации ПТД-1 с известью при pH 13,3

| № | Наименование минерала | Химическая формула минерала | Содержание, % |
|----|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1. | Гипс | $CaSO_4$ | 4,51 |
| 2. | Ангидрит | $CaSO_4$ | 0,61 |
| 3. | Бассанит | $CaSO_4 \cdot H_2O$ | 94,88 |

В проделанной работе рассмотрены способы нейтрализации сильно сернокислотного стока, с применением кальцинированной соды, едкого натрия, извести и известняка. Определены расходы нейтрализующих реагентов в зависимости от изменения pH среды. При использовании традиционного, действующего реагента известняка удалось поднять среду pH до 5,95 расходуя 570 г нейтрализующего реагента. Дальнейшая подача реагента сопровождалась без изменения pH среды и образованием гипсовых отложений на дне ёмкости. Использование извести для нейтрализации стока позволило установить среду pH=6,22 при расходе 400 г извести. А применение едкого натрия и кальцинированной соды способствовало достижению pH=6,26 и 6,08 при расходах 290 и 385 г соответственно. Среди предложенных вариантов на основе проделанных работ оптимальным является применение едкого натрия либо кальцинированной соды, которые при малых расходах способствуют достижению нейтральных сред и не образуют гипсовые отложения.

Библиографический список:

1. Меретуков М.А. Золото, химия, минералогия, металлургия. – М.: Руда и металлы», 2008. – 528 с.
2. Нерадовский Ю.Н. Рудная минераграфия. – Мурманск: Издательство МГТУ, 2009. – С. 38-42.
3. Воробьев Н.И., Новик Д.М. Обогащение полезных ископаемых. – Минск: БГТУ, 2008. – С. 4-5.
4. Бобылев С.Н. Экономика природопользования // Бобылев С.Н., Хаджаев С.Н. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 36 с.
5. Лобанов Д. З., Верникова Л.М. Микробиологическое выщелачивание металлов. – М.: Московский геологоразведочный институт, 2005. – 192 с.
6. Глубокая и комплексная переработка минерального сырья: определение и экономический смысл // Анисимова А.Б. // Вестник Евразийской науки, 2019. № 6. <https://esj.today/PDF/32ECVN619.pdf>.
7. Классификация золотосодержащих руд с дисперсным золотом по технологической упорности // Шумилова Л.В. // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. Научный журнал. № 2(18) 2008. – С. 62-69.
8. Секисов А.Г. Дисперсное золото. Геологические и технологические аспекты // Секисов А.Г., Зыков Н.В., Королёв В.С. – Чита: ЧитГУ, 2007. – 104 с.
9. Термодинамические и минералогические характеристики образования серной кислоты в процессе бактериального окисления флотоконцентрата // Мухиддинов Б.Ф., Санакулов К., Шарипов С.Ш., Алиев Т.Б. // Горный вестник Узбекистана. № 3 (81). – Навои, 2020. – С. 105-108.
10. Совмен В.К., Гуськов В.Н., Белый А.В. и др. Переработка золотосодержащих руд с применением бактериального окисления в условиях Крайнего Севера. – Новосибирск: Наука, 2007. – 144 с.

11. Переработка золотосодержащих рудных концентратов (обзор методов) // Чекушин В.С., Олейникова Н.В. // Известия Челябинского научного центра. – Вып. 4 (30). – г. Челябинск; Издатель, Челябинский научный центр Уральского отделения Российской академии наук, 2005. – С. 94-95.
12. Махоркина Т.И., Тюкова Е.Э. Арсенопирит: зависимость параметров кристаллической структуры от состава. ЭВМО, 1990. – 55 с.
13. Обзор способов переработки сульфидов металлов с выделением элементарной серы // Колесников А.С., Наторхин М.И., Нараев В.Н., Саипов А.А., Абиляннова Е.А. // European Student Scientific Journal. – 2018. – № 5.; URL: <http://sjes.esrae.ru/ru/article/view?id=447> (дата обращения: 07.02.2021).
14. Douglas E. Rawlings, D. Barrie Johnson "Biomining" 2006, Springer, pp. 17.
15. Crystal Structures of Sulfides and Other Chalcogenides // Makovicky E. // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 61 (1): 7-125 DOI: 10.2138 // RMG.2006.61.2.
16. Formation of amino acids in the process of bacterial oxidation of flotation concentrate and their effect on the extraction of precious metals // Sharipov S. Sh., Sanakulov K.S., Mukhiddinov B.F., Vapoev Kh. // Journal Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 2020, No. 5, pp. 48-54.
17. Бактериальное выщелачивание упорных руд и концентратов // Гудков С.С., Шкетова Л.Е. Михайлова А.Н. // Горный журнал. № 4. – М.: Руда и металлы, 2011. – С. 27-28.
18. Захаров Б. А., Меретуков М. А. Золото: упорные руды. – М.: Руда и Металлы, 2013. – 452 с.
19. Современные гидрометаллургические технологии переработки упорного золотосодержащего сырья // Бодуэн А.Я., Фокина С.Б., Петров Г.В., Серебряков М.А. // Современные проблемы науки и образования. – № 6. – М.: Издательский дом «Академия естествознания», 2014. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15619> (дата обращения: 07.02.2023).
20. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Теоретические основы. Качественный анализ. Книга 1, 4-е изд., перераб. – М.: Химия, 1976. – 472 с.
21. Крешков А.П. Основы аналитической химии. Том 2. Теоретические основы. Количественный анализ. – М.: Химия, 1971. – 456 с.
22. Döbelin N., Kleeberg R. «Profex: a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN», Journal of Applied Crystallography 48 (2015), pp. 1573-1580.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 60-69

APPLICATION OF NEUTRALIZING REAGENTS FOR ACIDIC WASTEWATER IN BACTERIAL OXIDATION TECHNOLOGY

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

²Sharipov S.Sh., Associate Professor, Head of the Department of "Chemical Technology", PhD.

³Mukhiddinov B.F., Professor, Professor of the Department of "Chemical Technology", Doctor of Chemical Sciences.

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

²Navoi State Mining and Technology University. Navoi, Uzbekistan.

The aim of this work is to determine the possibilities of neutralizing acidic effluents by using local reagents. The neutralizing reagents used in the study are limestone, lime, caustic soda, and calcined soda. The consumption of neutralizing reagents is determined depending on the pH change of the acidic effluent. The mineralogical composition of the solid phase of the neutralized effluent is established by conducting X-ray phase analysis.

Keywords: Limestone, lime, caustic soda, calcined soda, acidic effluent, biooxidation, sulfide ore.

Bibliographic list:

1. Meretukov M.A. Gold, Chemistry, Mineralogy, Metallurgy. – Moscow: Ruda i Metally, 2008. – 528 p.
2. Neradovsky Y.N. Ore Mineralogy. – Murmansk: MGTU Publishing House, 2009. – Pp. 38-42.
3. Vorobyov N.I., Novik D.M. Mineral Ore Enrichment. – Minsk: BGTU, 2008. – Pp. 4-5.
4. Bobylev S.N. Economics of Natural Resource Use // Bobylev S.N., Khadjaev S.N. – Moscow: INFRA-M, 2004. – 36 p.
5. Lobanov D.Z., Vernikova L.M. Microbiological Leaching of Metals. – Moscow: Moscow Geological Survey Institute, 2005. – 192 p.
6. Deep and Complex Processing of Mineral Raw Materials: Definition and Economic Significance // Anisimova A.B. // Herald of Eurasian Science, 2019. No. 6. <https://esj.today/PDF/32ECVN619.pdf>.
7. Classification of Gold-bearing Ores with Dispersed Gold by Technological Refractoriness // Shumilova L.V. // Modern Technologies. Systems Analysis. Modeling. Scientific Journal. No. 2(18), 2008. – Pp. 62-69.
8. Sekisov A.G. Dispersed Gold. Geological and Technological Aspects // Sekisov A.G., Zykov N.V., Korolev V.S. – Chita: Chita State University, 2007. – 104 p.
9. Thermodynamic and Mineralogical Characteristics of Sulfuric Acid Formation in the Process of Bacterial Oxidation of Flotation Concentrate // Mukhiddinov B.F., Sanakulov K., Sharipov S.Sh., Aliev T.B. // Mining Journal of Uzbekistan. No. 3 (81). – Navoi, 2020. – Pp. 105-108.
10. Sovmen V.K., Guskov V.N., Bely A.V., et al. Processing of Gold-bearing Ores Using Bacterial Oxidation in the Conditions of the Far North. – Novosibirsk: Nauka, 2007. – 144 p.
11. Processing of Gold-bearing Ore Concentrates (Review of Methods) // Chekushin V.S., Oleinikova N.V. // Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center. – Vol. 4 (30). – Chelyabinsk: Chelyabinsk Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2005. – Pp. 94-95.
12. Makorkina T.I., Tyukova E.E. Arsenopyrite: Dependence of Crystal Structure Parameters on Composition. ЭВМО, 1990. – 55 p.
13. Review of Methods for Processing Metal Sulfides with the Extraction of Elemental Sulfur // Kolesnikov A.S., Natorkhin M.I., Naraev V.N., Saipov A.A., Abilhanova E.A. // European Student Scientific Journal. – 2018. – No. 5.; URL: <http://sjes.esrae.ru/ru/article/view?id=447> (accessed on: 07.02.2021).
14. Douglas E. Rawlings, D. Barrie Johnson "Biomining" 2006, Springer, pp. 17.
15. Crystal Structures of Sulfides and Other Chalcogenides // Makovicky E. // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 61 (1): 7-125 DOI: 10.2138 // RMG.2006.61.2/.
16. Formation of Amino Acids in the Process of Bacterial Oxidation of Flotation Concentrate and Their Effect on the Extraction of Precious Metals // Sharipov S. Sh., Sanakulov K.S., Mukhiddinov B.F., Vapoev Kh. // Journal Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, 2020, No. 5, pp. 48-54.
17. Bacterial Leaching of Refractory Ores and Concentrates // Gudkov S.S., Shketova L.E., Mikhaylova A.N. // Mining Journal. No. 4. – Moscow: Ruda i Metally, 2011. – Pp. 27-28.
18. Zakharov B.A., Meretukov M.A. Gold: Refractory Ores. – Moscow: Ruda i Metally, 2013. – 452 p.
19. Modern Hydrometallurgical Technologies for Processing Refractory Gold-bearing Raw Materials // Boduen A.Ya., Fokina S.B., Petrov G.V., Serebryakov M.A. // Current Problems of Science and Education. – No. 6. – Moscow: Publishing House "Academy of Natural Sciences", 2014. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15619> (accessed on: 07.02.2023).
20. Kreshkov A.P. Foundations of Analytical Chemistry. Theoretical Foundations. Qualitative Analysis. Book 1, 4th ed., revised. – Moscow: Khimiya, 1976. – 472 p.
21. Kreshkov A.P. Foundations of Analytical Chemistry. Volume 2. Theoretical Foundations. Quantitative Analysis. – Moscow: Khimiya, 1971. – 456 p.
22. Döbelin N., Kleeberg R. "Profex: a graphical user interface for the Rietveld refinement program BGMN", Journal of Applied Crystallography 48 (2015), pp. 1573-1580.

ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ЛЕЖАЛЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ МАРДЖАНБУЛАКСКОГО ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНОГО ЦЕХА



Жабборов Э.Ю.,
младший научный сотрудник
ГУ «Институт минеральных ресурсов»



Бадалов Ф.А.,
начальник лаборатории
технологии переработки нерудного
сырья ГУ «Институт минеральных
ресурсов», PhD



Нормуродов А.А.,
младший научный сотрудник
ГУ «Институт минеральных ресурсов»

Marjonbuloq oltin saralash sexi (MOSS) eski chiqindixonasida to'plangan chiqindilarining moddiy tarkibini o'rganish maqsadida laboratoriya tadqiqotlari o'tkazildi. Namunaning moddiy tarkibi spektral, kimyoviy atom-adsorbsion, mineralogik, ratsional, granulometrik va boshqa tahlilusullarida o'rganildi. Kimyoviy tahlillar natijalariga ko'ra, namunadagi oltinning o'rta miqdori 0,61 o'.b, kumush 11,61 o'.b. Chiqindilarning texnologik namunasi aralash (oksidli va sulfid-kvarsli) turiga kiradi. Texnologik chiqindilarning qimmatbaho komponentlari oltin va kumushdir. Oltinning boyitish texnologiyasiga ta'sir etuvchi o'ziga xos xususiyatlari: oltinning paydo bo'lishi tabiiy sof holatda va goetitdagi electrum shaklida (oksidli qismi). Izolyatsiyalangan tabiiy sof oltin kvartslarda bo'lishi mumkin, ammo sulfidlarda yaqqol ko'rinmaydigan holatda; Boyitiluvchanlik holatiga ko'ra chiqindidagi oltin o'rta va past navlidir. Asosiy noyem metall mineralar kvarts, dalashpati, karbonatlar, seritsit va xloritlardir. Aksessor mineralar apatit, rutil + ilmenite va epidot bilan ifodalangani. Chiqindilarning kontsentratsiyasiga salbiy ta'sir ko'rsatadigan salbiy omil – bu slyuda - seritsit (37 %) va gil moddalarining (7 %) ko'pligi. Chuqur ishlov berishda madaniy mineralar va qimmatbaho metallarning xarakterli xossalari, sifati va miqdori bo'yicha ular dastlabki chiqindida ancha past bo'lib, bu esa uni boyitish jarayonini murakkablashtiradi va past texnologik ko'rsatkichlarni oldindan belgilab beradi. Oltin uchun ratsional tahlil natijalariga ko'ra, dastlabki chiqindilardagi kvarts, alumino silikatlar va boshqa kislotada erimaydigan mineralar tarkibidagi "ajratib bo'lmaydigan" oltinning miqdori 32,79 % va sulfidlar bilan bog'liq 26,23 % ni tashkil qiladi.

Kalit so'zlar: oltin, kumush, element, mineral, qimmatbaho komponent, texnogen chiqindilar, ikkilamchi chiqindilar, spektral, dala kimyoviy, optik emission spektral tahlil, ma'danni tayyorlash.

Проведены лабораторные исследования, целью которых являлось изучение вещественного состава из лежалых хвостов Марджанбулакского золотоизвлекательного цеха (МЗИЦ). Вещественный состав пробы анализировался спектральным, химическим атомно-абсорбционным, пробирным, минералогическим, рациональным, гранулометрическим и другими методами анализов. По результатам химических анализов среднее содержание золота в пробе составило 0,61 у.е. и серебра 11,61 у.е. Технологическая проба хвостов относится к смешанному (окисленному и сульфидно-кварцевому) типу. Ценными компонентами являются хвосты золота и серебра. Характерные особенности золота, влияющие на технологию обогащения: форма нахождения золота – самородная и в виде электрума в гетите (окисленная часть). Возможно, обособленное самородное золото находится в кварце, а в сульфидах оно невидимое; по отражательной способности золото является средне и низкопробное. Основными нерудными минералами являются кварц, полевые шпаты, карбонаты, серицит и хлориты. Акцессорные минералы представлены апатитом, рутилом+ильменитом и эпидотом. Отрицательно влияющим фактором на обогатимость хвостов являются высокие содержания слюд – серицита (37 %) и глинистых веществ (7 %). По характерным свойствам, качеству, а также количеству рудных минералов и благородных металлов лежалые хвосты переработки намного уступают исходной руде, что затрудняет процесс обогащения хвостов и предопределяет невысокие технологические показатели. По результатам рационального анализа содержание «неизвлекаемого» золота в кварце, алюмосиликатах и других кислотонерастворимых минералах в исходных хвостах составляет 32,79 % и связанные сульфидами 26,23 %.

Ключевые слова: золото, серебро, элемент, ценный компонент, техногенные отходы, вторичные отходы, спектральный, полный химический, оптико-эмиссионный спектральный, минерал.

За последние десятилетия в золотодобывающей отрасли отмечается сокращение геологических изысканий месторождений, дефицит качественного сырья за счет резкого сокращения легкодоступных запасов золота в коренных рудах и россыпях, истощение резервных запасов рудной базы в целом, что отрицательно сказывается на объеме производства золота и серебра. В настоящее время существует большое количество техногенных и вторичных отходов, содержащих золото и серебро. Каждый тип такого сырья требует определенного подхода к извлечению благородного металла в связи с особенностями вещественного состава и формой нахождения в нем золота.

Интенсивное развитие золотодобывающей промышленности в предыдущие десятилетия привело к накоплению больших объемов техногенных отвалов, в которых содержится 0,5-2,3 г/т золота. Недоизвлечение ценных компонентов объясняется несовершенством технологий извлечения золота из рудного сырья, таких как гравитация, амальгамация, перколяция. Некоторые хвостохранилища в настоящее время можно рассматривать как отдельные месторождения [1].

Выделено нескольких типов техногенного и вторичного сырья, которые производятся четырьмя основными комплексами: горно-обогатительным, металлургическим, бытовым и энергетическим.

Таблица 1

Результаты спектрального анализа средней пробы хвостов

| Название элементов | Содержание, 10 ⁻³ % | Название элементов | Содержание, 10 ⁻³ % |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Ba | 30 | Ni | 2 |
| Be | 0,7 | Sn | 0,7 |
| V | 100 | Pb | 100 |
| Bi | <0,2 | Ag | 10 |
| W | 7 | Sb | 30 |
| Ga | 3 | Ti | 700 |
| Ge | 1 | Cr | 100 |
| Cd | <0,1 | Zn | 100 |
| Co | 5 | Au | 0,07 |
| Mn | 100 | Nb | 5 |
| Cu | 20 | Ta | 10 |
| Mo | 5 | Li | <3 |
| As | <1,1 | | |

Они условно разделены на три большие группы: обогатительные, гидрометаллургические (химическое воздействие) и пирометаллургические (термическое воздействие). Наиболее активно применяются гидрометаллургические методы (в частности, цианирование), так как они выдают высокие показатели извлечения золота – 80-99 %. В свою очередь, такие методы нередко оказывают негативное влияние на окружающую среду, они довольно затратные, продолжительные по времени и имеют низкие показатели извлечения микро и ультрадисперсного золота, доля которого значительна, особенно в отходах горно-обогатительного и металлургического комплексов. Обогащительные методы, в свою очередь, показывают эффективность извлечения мелкого золота из отходов горно-обогатительного комплекса [2].

Развитие горного дела привело к образованию больших объёмов добычи и переработки, с последующим накоплением отходов: пустая порода, бедные руды, хвосты и т. д. Хранение отходов своего производства на горнодобывающих предприятиях; объём которых с каждым годом увеличивается, занимает огромные территории. Это приводит не только к исчезновению ландшафтов, но и влечёт за собой загрязнение окружающей среды. Основой современной гидрометаллургии золота является цианидный процесс, который чрезвычайно широко распространён в отечественной и зарубежной промышленности.

Практически, в мире нет ни одного предприятия, работающего по производству товарного металла и не проходящего бы стадию цианирования руды или ее продуктов переработки [3]. В связи с истощением россыпных месторождений золота и серебра, необходимы современные и высокоэффективные технологии извлечения для переработки сырья с низким содержанием ценных компонентов и сложным составом [10].

В настоящее время запасы золотосодержащих руд Марджанбулакского рудного поля практически истощены, при этом объём лежалых хвостов на хвостохранилище №1 МЗИЦ, накопленных в период с 1980 по 2017 гг. составляет около 20 млн т. Данные техногенные отходы в ближайшей перспективе могут рассматриваться в качестве сырьевого ресурса Марджанбулакского золотоизвлекательного цеха. Для вовлечения в переработку хвостов МЗИЦ требуется разработка рациональной и комплексной технологии извлечения золота для их переработки в условиях МЗИЦ.

Рудоподготовка является начальным и важным этапом в технологии переработки золотосодержащего сырья и золотосодержащих техногенных отходов. Рудоподготовка включает операции грохочения, дробления, измельчения и классификации. В лабораторных исследованиях к вышеперечисленным операциям добавляется операция перемешивания, необходимая для получения представительной пробы исследуемого материала, что не маловажно, так как в рудном сырье золото распределено неравномерно.

Вещественный состав пробы хвостов МЗИЦ изучался с применением спектрального, химического, пробирного, рационального, оптико-эмиссионного спектрального, минералогического и др. видов анализов. При проведении исследований процессы отбора, опробования, обработки и подготовки проб, а также постановка и интерпретация проведенных опытов являются одними из важных моментов, от которых зависят дальнейшие результаты исследований. Подготовка представительной пробы техногенных золотосодержащих отходов хвостов МЗИЦ проводилась методом ручного опробования, который состоит из следующих этапов: отбор пробы, усреднение ее методом «кольца и конуса», квартование [4]. Несмотря на значительные исследования по повышению эффективности извлечения золота, флотационное извлечение тонкодисперсного золота, ассоциированного с сульфидами и кварцем, не превышает 60-80 %, а в ряде случаев 30-40 %. Таким образом, исследования по повышению извлечения благородных металлов из минерального сырья являются актуальными задачами [5].

Спектральный анализ.

Полуколичественный спектральный анализ выполнялся в лаборатории ЦАИ ВСМС ГУ «ИМР» результаты, которых приведены в табл. 1.

Польный химический анализ.

Польный химический анализ выполнялся в лаборатории ЦАИ ВСМС ГУ «ИМР» результаты, которых приведены в табл. 2.

Оптико-эмиссионный спектральный анализ.

По результатам оптико-эмиссионного спектрального анализа исходных хвостов, содержание редкоземельных элементов (РЗМ) составило 169,2 г/т, основная часть которого приходится на лёгкую группу РЗМ. Требования промышленности к редкоземельному сырью за последние 10 лет изменились коренным образом. Если до начала 90-х годов более 90 % РЗМ использовались в виде смешанных соединений, то в последней декаде наиболее интенсивно рос спрос на индивидуальные РЗМ и их оксиды. В настоящее время доля использования индивидуальной РЗ-продукции составляет порядка 30 % по объёму и более 70 % по стоимости. При этом мировой спрос на РЗМ в целом только за 90-е годы увеличился в 1,7 раза – до 79 тыс. т РЗО в 2000 г., спрос на отдельные РЗЭ за тот же период возрос от 5 до 9 раз [9].

Рациональный анализ на золото и серебро.

Формы нахождения благородных металлов в пробе руды изучались с помощью рационального анализа, который проводился по стандартной методике, основанной на последовательном выщелачивании измельченной пробы (крупность 85 % кл. -0,074 мм) цианистым раствором после предварительного освобождения золота и серебра от ассоциации с другими рудными и породообразующими компонентами. В схему анализа были включены следующие опера-

Таблица 2

Результаты химического анализа средней пробы хвостов

| Компоненты | Содержание, % | Компоненты | Содержание, % |
|--------------------------------|---------------|-------------------------|---------------|
| SiO ₂ | 65,7 | Na ₂ O | 0,46 |
| Fe ₂ O ₃ | 9 | K ₂ O | 2,96 |
| FeO | 2,27 | С _{общ.} | 2,04 |
| TiO ₂ | 0,59 | SO ₃ | 2,32 |
| MnO | 0,09 | С _{сульфидная} | 1,11 |
| Al ₂ O ₃ | 14,2 | CO ₂ | 3,74 |
| CaO | 1,95 | H ₂ O | 0,16 |
| MgO | 1,60 | п.п.п. | 4,58 |

Таблица 3

Результаты оптико-эмиссионного спектрального анализа исходных хвостов

| № | Элементы | Содержание, г/т | № | Элементы | Содержание, г/т |
|-----|----------|-----------------|----|----------|-----------------|
| 1. | Ag | 3,42 | 31 | Na | 8290 |
| 2. | Al | 65600 | 32 | Nb | 14,1 |
| 3. | As | 546 | 33 | Nd | 26,4 |
| 4. | Au | 0,663 | 34 | Ni | 51,2 |
| 5. | Ba | 914 | 35 | P | 503 |
| 6. | Be | 2,39 | 36 | Pb | 13,3 |
| 7. | Bi | 1,64 | 37 | Pr | 6,15 |
| 8. | Ca | 5090 | 38 | Rb | 63,5 |
| 9. | Cd | 0,1 | 39 | S | 19900 |
| 10. | Ce | 62,5 | 40 | Sb | 0,674 |
| 11. | Co | 17,2 | 41 | Sc | 12,5 |
| 12. | Cr | 178 | 42 | Se | 12,5 |
| 13. | Cs | 7,95 | 43 | Sm | 4,19 |
| 14. | Cu | 24,3 | 44 | Sn | 4,96 |
| 15. | Dy | 3,44 | 45 | Sr | 152 |
| 16. | Er | 2,61 | 46 | Ta | 0,375 |
| 17. | Eu | 1,04 | 47 | Tb | 0,1 |
| 18. | Fe | 48300 | 48 | Te | 0,129 |
| 19. | Gd | 19,9 | 49 | Th | 9,2 |
| 20. | Ga | 19,9 | 50 | Ti | 3220 |
| 21. | Hf | 1,85 | 51 | Tl | 0,469 |
| 22. | Ho | 0,527 | 52 | Tm | 0,292 |
| 23. | In | 0,221 | 53 | U | 3,68 |
| 24. | K | 28700 | 54 | V | 148 |
| 25. | La | 28,8 | 55 | W | 3,1 |
| 26. | Li | 15,5 | 56 | Y | 18,4 |
| 27. | Lu | 0,323 | 57 | Yb | 2,1 |
| 28. | Mg | 6550 | 58 | Zn | 265 |
| 29. | Mn | 743 | 59 | Zr | 86,2 |
| 30. | Mo | 22,9 | 60 | ΣREE | 169,2 |

Таблица 4

Результаты рационального анализа пробы на золото и серебро

| Форма нахождения золота, серебра и характер их связи с рудными компонентами | Распределение металлов | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
| | Au | | Ag | |
| | у.е. | % | у.е. | % |
| Золото и серебро самородное, в сростках с другими минералами: хлориды, сульфаты, простые сульфиды серебра (цианируемые) | 0,17 | 27,87 | 3,79 | 32,64 |
| Золото и серебро, связанные с минералами и химическими соединениями сурьмы и мышьяка (кроме арсенопирита и соединений пятивалентной сурьмы; сульфосоли серебра, пираргирит, прустит и др.), (цианируемые после NaOH – обработки) | 0 | 0 | 0,02 | 0,17 |
| Золото и серебро, связанные с кислоторастворимыми минералами, оксидами, гидрооксидами и карбонатами железа и марганца (цианируемые после HCl – обработки) | 0,08 | 13,11 | 1,76 | 15,16 |
| Золото и серебро тонковкрапленные в сульфидах (пирите и арсенопирите) (цианируемые после HNO ₃ – обработки) | 0,16 | 26,23 | 2,5 | 21,54 |
| Золото и серебро в кварце, алюмосиликатах и др. кислотонерастворимых минералах | 0,20 | 32,79 | 3,54 | 30,49 |
| Итого: | 0,61 | 100 | 11,61 | 100 |

Таблица 6

Результаты ситового анализа пробы руды

| Класс крупности, мм | Выход, % | Содержание, у.е. | | Распределение по классам, % | |
|---------------------|----------|------------------|-------|-----------------------------|------|
| | | Au | Ag | Au | Ag |
| +0,2 | 1,8 | 0,61 | 8,69 | 1,8 | 1,3 |
| -0,2+0,08 | 21,6 | 0,69 | 10,42 | 24,4 | 19,4 |
| -0,08+0,044 | 23,4 | 0,95 | 10,48 | 36,4 | 21,1 |
| -0,044+0 | 53,2 | 0,43 | 12,68 | 37,4 | 58,1 |
| Исходные хвосты | 100 | 0,61 | 11,61 | 100 | 100 |

Таблица 7

Содержания ценных компонентов в исходных хвостах

| Наименование проб | Содержание | | | | |
|-------------------|------------|-------|------|-------|-------------------|
| | у.е. | | % | | |
| | Au | Ag | As | Sb | S _{общ.} |
| Исходные хвосты | 0,61 | 11,61 | 0,16 | 0,002 | 2,04 |

ции: цианирование пробы, щелочная обработка хвостов I цианирования с последующим очередным цианированием, солянокислотная обработка хвостов II цианирования и затем III цианирование, азотнокислотная обработка хвостов III цианирования с последующим цианированием нерастворимого остатка. Результаты рационального анализа пробы приведены в (табл. 4.)

Как видно из приведенных данных в табл. 4, содержание цианируемого свободного золота в пробе хвостов составляет 27,87 % и серебра 32,64 %; с минералами и химическими соединениями сурьмы и мышьяка связано 0,17 % серебра; с карбонатами, гидроксидами железа и марганца связано 13,11 % золота, 15,16 % серебра; с сульфидными (пирит, арсенопирит) связано 26,23 % золота и 26,54 % серебра; 32,79 % золота и 30,49 % серебра находится в кварце, алюмосиликатах и других кислотонерастворимых минералах. В настоящее время для извлечения золота и серебра из минерального сырья после обогатительного передела используют цианидное выщелачивание. Процесс интенсивного цианирования основан на использовании высоких концентраций цианида, окислителя (кислород) и щелочи [7].

Гранулометрический анализ.

Для выяснения распределения основных ценных компонентов по классам крупности исходные хвосты крупности -0,315+0 мм подвергались ситовому анализу. Гранулометрический анализ выполнен мокрым способом с применением сит ГОСТ 6613-86 [8]. Результаты ситового анализа приведены в (табл. 6)

Результаты ситового анализа средней пробы исходных хвостов показали, что в более крупных классах крупности хвостов содержание золота незначительно высокое, а с серебром наблюдается обратная корреляция.

При снижении класса крупности содержание серебра повышается до 12,68 у.е. Как известно, золото в техногенных отходах МЗИЦ во многих случаях присутствует в тонкодисперсном виде, к которому принято относить зерна размером от долей микрометра до 10 мкм. В таких размерах золото может присутствовать в сульфидных, карбонатных, силикатных, оксидных и гидроксидах.

В последнее время имеются научные работы, свидетельствующие о наличии тонкодисперсного золота в кварце, слоистых алюмосиликатах и органическом веществе, в которых оно распределено крайне неравномерно и присутствует в переменном количестве [5].

Минералогические исследования лежалых хвостов МЗИЦ

Минералогический анализ исходных хвостов и продуктов переработки проводился с помощью химического атомно-абсорбционного, спектрального, рационального, пробирного анализов, на основании которых составлен список минералов вышеописанных проб.

Для определения вещественного состава исходных хвостов и продуктов переработки, поведения золота и золотосодержащих сульфидов, а также, главных отрицательно влияющих факторов на обогащение хвостов, кроме микроскопического наблюдения, требовались и др. вспомогательные нижеописанные виды исследований:

а) Изучение минерального состава (рудных и нерудных минералов) продуктов переработки, в том числе:

- изучение продуктов переработки под бинокулярным микроскопом (увеличение 16-56 раз);
- изготовление полированных брикетов;
- изучение рудных минералов под рудным микроскопом «ORTOLUX» при увеличении 100-1250 раз. Поиск золотинок с применением иммерсионных жидкостей.

б) Пересчет силикатного химического анализа продуктов переработки из хвостов на минеральный состав с учетом всех материалов изучения.

в) Фотографирование полированных брикетов продуктов переработки цифровым фотоаппаратом (морфология минералов и их ассоциации) и получение цветных снимков.

Содержание ценных компонентов и вредных примесей в исходной пробе хвостов МЗИЦ приведены в (табл. 7).

Минералогический анализ исходных хвостов.

По результатам минералогического анализа в исходной пробе выявлены рудные и нерудные минералы. Рудные минералы состоят в основном из сульфидов, которые замещаются вторичными минералами зоны окисления, от частичной до полной псевдоморфозы. Это также наиболее распространенный минерал, содержащий золото. Золото часто тесно связано с пиритом как упорной золотой рудой, которую невозможно извлечь традиционным цианированием. Следовательно, для выделения золота из пирита необходимо эффективное окисление. Перед выщелачиванием окисление сульфидов может обнажить завернутое золото, увеличивая площадь контакта золота с агентом для выщелачивания золота и таким образом, повышая эффективность выщелачивания золота [11].

Пересчет на вещественный состав производился по результатам полного химического анализа исходной пробы (табл. 8).

К золотосульфидно-кварцевому геолого-промышленному типу относятся месторождения, где сульфиды (пирит, халькопирит, блеклые руды, галенит, сфалерит), сульфосоли свинца, меди, серебра, теллуриды золота, серебра, висмута и другие рудные минералы составляют в сумме от 6 до 25 % мас. (чаще всего – от 10 до 15% мас.). Золото в рудах как свободное (в кварце), так и связанное с сульфидными, теллуридами и сульфосолями. По указанным выше признакам в золото-сульфидно-кварцевом типе выделено три подтипа: 1) марджанбулакский (Марджанбулак) со столбо- и грибообразными штокверковыми, платито- и лентовидными крутопадающими рудными телами в углеродистых алевролитах, песчанниках, сланцах, гравелитах; 2) кочбулакский (Кочбулак, Каулды, Кайрагач) – с трубчатými крутопадающими телами, приуроченными к взрывным отслоениям, и минерализованными зонами межформационных отслоений и разломов; 3) балпантауский (Балпантау) – с минерализованными вдоль разломов зонами и лестничными кварцевыми жилами в расланцованных вулканогенно-осадочных породах [12].

Таблица 8
Примерные количественные соотношения минералов исходной пробы

| Наименование минералов | Содержание, % |
|--------------------------------|---------------|
| Самородное золото | Ед. зн. |
| Сульфиды | |
| Пирит | ~1,9-2 |
| Арсенопирит | ~0,3-0,4 |
| Халькопирит | Ед. зн. |
| Сфалерит | Ед. зн. |
| Пирротин | Ед. зн. |
| Блеклая руда | |
| Тетраздрит+фрейбергит | Ед. зн. |
| Антимонит | Ед. зн. |
| Второстепенные рудные минералы | |
| Халькозин + ковеллин | Ед. зн. |
| Гидроксиды железа | ~2,5 |
| Породообразующие минералы | |
| Кварц | ~43-43,5 |
| Плагиоклаз | |
| Ортоклаз | Ч. зн. |
| Серицит | ~37 |
| Хлорит | ~1,3 |
| Карбонаты | ~6,2-6,3 |
| Глинистые вещества | ~6,5-7 |
| Акцессорные минералы | |
| Рутил+ильменит | ~0,6 |
| Апатит | ~0,2 |
| Эпидот | Р. зн. |

Технологическая проба хвостов МЗИЦ относятся к смешанному (окисленному и сульфидно-кварцевому) типу. Ценными компонентами хвостов являются золото и серебро.

Характерные особенности золота, влияющие на технологию обогащения:

– форма нахождения золота - самородная и в виде электрума в гетите (окисленная часть). Возможно, обособленное самородное золото находится в кварце, а в сульфидах оно невидимое;

– форма выделений - изометричная, округлая, овальная, вытянутая, линзовидная и др.;

– по размерности золото относится в основном к тонкодисперсному и пылевидному классам с размером микрочастиц 0,001-0,05 мм;

– по отражательной способности золото является средне- и низкопробное.

– в исходной пробе хвостов видимого золота не обнаружено.

Основными нерудными минералами являются кварц, полевые шпаты, карбонаты, серицит и хлориты. Акцессорные минералы представлены апатитом, рутилом+ильменитом и эпидотом.

Отрицательно влияющим фактором на обогатимость хвостов является высокое содержание слюд – серицита (37 %) и глинистых веществ (7 %).

По характерным свойствам, качеству, а также количеству рудных минералов и благородных металлов в лежалых хвостах переработки намного уступают исходной руде, что затрудняет процесс обогащения хвостов и предопределяет невысокие технологические показатели.

По результатам рационального анализа содержание «неизвлекаемого» золота в кварце, алюмосиликатах и других кислотонерастворимых минералах в исходных хвостах составляет 32,79 % и связанные сульфидами 26,23 %.

По результатам минералогического анализа частота встречаемости самородного золота в огарках намного выше, чем в других продуктах переработки. Освобожденные золотинки из сульфидов, а также связанные нерудными минералами золотинки при высокой температуре подвергаются процессу купеляции. В связи с этим, вторичное золото становится видимым и высокопробным.

На основании результатов минералогических исследований продуктов переработки хвостов МЗИЦ для вскрытия «заклученного» золота в сульфидах рекомендуется проведение окислительного обжига с подачей воздуха.

Библиографический список:

1. Гурин К. К., Исследование и разработка процесса извлечения золота из отходов золотоизвлекательных фабрик // Диссертация Россия. – Москва-2013. – С. 25-26.
2. Федоров С.А., Малышев А.Н., Каримова П.Ф. Обзор техногенных и вторичных золотосодержащих отходов и способы извлечения из них золота // ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень. – Екатеринбург, 2021; (11-1):346*-365 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_111_0_346.
3. Samadov A U., Nosirov N.I., Umirzoqov A.A. Overview of the concepts of gold recovery from stale tailings of a gold recovery plant // Journal of Advanced research and stability Volume: Onlayn ilmiy jurnal 02 Issue: 01/2022, pp. 4-8.
4. ГОСТ 14180-80 Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения влаги.
5. Zhi-Gao Wang, Jin Liu, Wen-Liang Xu, Hong-Yan Quan, Xiang-Jiang Yu. (Netherlands, Amsterdam-2023). Geochronology (U-Pb and Re-Os) and HOS isotopes reveal ore fluid origin and crucial role of meteoricwater for Laozuoshan quartz-vein-hosted gold metallogeny in Jiamusi, NE China. Ore Geology Reviews, (153-154), 105267.
6. Toktar G., Kaumetova D. S., Koizhanova A. K., Magomedov D. R., Atanova O. V.1, Abdyldayev N. N. Исследования обогатимости золотосодержащей руды // Казахстанский национальный технический университет имени Сатпаева, АО «Институт металлургии и обогащения», Казахстан, г. Алматы-2022. – 1 с.
7. Магомедов Д.Р., Коижанова А.К., Извлечение золота из сульфидных руд и концентратов обогащения // А (Satbayev University; 050013, Республика Казахстан, г. Алматы-2019, ул. Сатпаева, 22а. – С. 86-88
8. ГОСТ 6613-86 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия.
9. Полякова Марина Александровна. Элементный состав редкоземельных руд и его влияние на оценку месторождений // Диссертация. Россия. Москва-2002. – С. 20-22.
10. Abubakriev A.T., Koizhanova A.K., Magomedov D.R., Erdenova M.B., Abdyldayev N.N. Leaching of gold-containing ores with application of oxidationactivators. // Satbayev University, Institute of Metallurgy and Ore Beneficiation, Almaty, Republic of Kazakhstan. 2019. – С. 2-3
11. Zaizheng Dong, Yimin Zhu, Yuxin Han, Xiaotian Gu Kai Jiang. Study of pyrite oxidation with chlorine dioxide under mild conditions // Minerals Engineering. 2019. 106-114. <https://doi:10.1016/j.mineng.2019.01.018> (inEng).
12. Самадов А.С., Хамидуллаев Б.Н., Алпатов М., Нормуродов А.А. Результаты обогащения золотосодержащей руды участка «Северо-западный» Кызылалмасайского рудного поля // Обогащение руд. Научно-технический журнал. Санкт-Петербург, 2023 (4). – С. 3-4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА РАЗМЕР ЗЕРНА ВЫСОКОМАРГАНЦОВИСТОЙ СТАЛИ 120Г17ХРЛ



Расулов И.Б.,
заместитель главного инженера
ПО «НМЗ» АО «НГМК»



Улугов Г.Д.,
инженер-металловед
ПО «НМЗ» АО «НГМК», PhD



Ашуров Х.Х.,
докторант
кафедры «локализация промышленного производства» НГТУ



Салимдонов Х.А.,
председатель
Совета молодёжных лидеров
ПО «НМЗ» АО «НГМК»

Ushbu maqolada tarkibida bor elementini o'z ichiga olgan quyma holatdagi 120G17XRЛ markali yuqori marganesli po'latining mikro tuzilishiga sovutish tezligining ta'sirini o'rganish natijalari keltirilgan. Austenit donasi hajmining kristallanish jarayonida sovutish tezligiga bog'liqligi aniqlandi. Optimal donadorlik o'lchamiga ega bo'lgan yagona mikrostruktura 4-5°C/s oralig'ida sovutish tezligida hosil bo'lishi aniqlandi. Tajribalar uchun turli xil quyma qoliplar (quruq va nam qum-gil, kokil qoliplari) va og'irligi 0,5 dan 2 kg gacha bo'lgan quymalar ishlatilgan. Haroratning o'zgarishi termopara yordamida qayd etilgan va optik mikroskop va kompyuter tasvirini qayta ishlash tizimi yordamida mikro tuzilma tahlili amalga oshirilgan.

Austenit donalarining notekis o'sishi tufayli past sovutish tezligi (4°C/s dan kam) donadorlikning turli o'lchamda bo'lishi ko'rsatilgan. 5°C/s dan yuqori sovutish tezligida, o'zgaruvchan mayda va yirik donalar bilan kristallangan strukturaning shakllanishi kuzatiladi. Sovutish tezligini oshirish o'rtacha donadorlik hajmini kamaytirishga yordam beradi, ammo ta'sir 5°C/s dan yuqori tezlikda kamroq aniqlanadi. Optimal mikro tuzilishga yadrolanish tezligi va qattiq fazaning o'sish tezligi o'rtasidagi muvozanat orqali erishiladi.

Tadqiqot natijalari quyma texnologiyasini takomillashtirish va 120G17XRЛ po'latidan tayyorlangan mahsulotlarning ishlash xususiyatlarini yaxshilash uchun ishlatilishi mumkin.

Kalit so'zlar: yuqori marganesli po'lat, kristallanish, sovutish tezligi, donadorlik hajmi, turli donadorlik o'lchamlari.

В статье представлены результаты исследования влияния скорости охлаждения на микроструктуру высокомарганцевистой борсодержащей стали 120Г17ХРЛ в литом состоянии. Определена зависимость размера зерен аустенита от скорости охлаждения при кристаллизации. Установлено, что равномерная микроструктура с оптимальным размером зерен формируется при скорости охлаждения в диапазоне 4-5°C/s. Для экспериментов использовались различные литейные формы (сухие и сырые песчано-глинистые, кокиль) и отливки массой от 0,5 до 2 кг. Температурные изменения регистрировались с помощью термопары, а анализ микроструктуры проводился с использованием оптического микроскопа и системы компьютерной обработки изображений.

Показано, что низкая скорость охлаждения (менее 4°C/s) приводит к разноразмерности, обусловленной неравномерным ростом зёрен аустенита. При скоростях охлаждения выше 5°C/s наблюдается формирование неоднородной структуры с чередованием мелкозернистых и крупных зерен. Увеличение скорости охлаждения способствует снижению среднего размера зерен, однако эффект становится менее выраженным при скоростях свыше 5°C/s. Оптимальная микроструктура достигается за счет баланса между скоростью зарождения и скоростью роста твердой фазы.

Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования технологии литья и улучшения эксплуатационных свойств изделий из стали 120Г17ХРЛ.

Ключевые слова: высокомарганцевистая сталь, кристаллизация, скорость охлаждения, величина зерна, разноразмерность.

Высокомарганцевистая борсодержащая сталь 120Г17ХРЛ является одним из наиболее востребованных материалов для производства изделий, работающих в условиях интенсивного абразивного износа и высокой контактных нагрузок. Благодаря уникальному сочетанию высокой износостойкости и прочностных характеристик, данная сталь активно применяется в горнодобывающей, строительной и металлургической отраслях. Основными областями её использования являются изготовление брони для дробилок, футеровок мельниц, элементов землеройной и карьерной техники, где критически важны стойкость к износу и надежность в эксплуатации.

Особенностью высокомарганцевистых сталей является их способность к упрочнению под воздействием внешних нагрузок, что значительно увеличивает срок службы изделий. Однако механические и эксплуатационные характеристики материала в

значительной степени зависят от его микроструктуры, которая формируется в процессе кристаллизации. Одним из ключевых факторов, влияющих на структуру стали, является скорость охлаждения в процессе литья. В частности, размер зёрен аустенита, который является основной структурной составляющей, оказывает прямое влияние на такие параметры, как прочность, пластичность, ударная вязкость, стойкость к трещинообразованию и износостойкость [1].

Процесс кристаллизации высокомарганцевистой стали характеризуется сложным взаимодействием термодинамических и кинетических факторов. При низких скоростях охлаждения происходит формирование разноразмерной структуры за счёт неравномерного роста зёрен аустенита. С другой стороны, чрезмерное увеличение скорости охлаждения приводит к повышенной неоднородности микроструктуры, что негативно

Таблица 1

Химический состав стали 120Г17ХРЛ, %

| Патент UZ IAP 07075 | C | Si | Mn | Cr | B | S | P | Fe |
|---------------------|---------|---------|-----------|---------|-------------|-------|------|-----------|
| | 1,0-1,3 | 0,2-0,7 | 16,0-18,0 | 0,9-1,5 | 0,006-0,008 | ≤0,05 | ≤0,1 | Остальное |



а)



б)

Рис. 1. Общий вид футеровочных элементов чаши (а) и конуса (б)

сказывается на эксплуатационных свойствах материала. Поэтому определение оптимальной скорости охлаждения является важной задачей, направленной на обеспечение равномерной структуры стали и улучшение её эксплуатационных характеристик.

Сталь 120Г17ХРЛ разработана специалистами ПО «НМЗ» и защищена патентом № УЗ ИАП 07075. Её химический состав включает 16-18 % марганца, 0,9-1,5 % хрома, 0,006-0,008 % бора, что придает материалу уникальные свойства. Бор, в частности, способствует образованию нитридов, которые формируют упрочненный слой на поверхности изделия [2-3]. Основным методом производства данной стали является литье в песчаные формы, что позволяет варьировать параметры охлаждения и, следовательно, контролировать микроструктуру отливок.

Целью настоящего исследования является изучение влияния скорости охлаждения на размер зёрен аустенита и общую микроструктуру стали 120Г17ХРЛ в литом состоянии [4]. В рамках работы были проведены эксперименты с использованием различных литейных форм и условий охлаждения, а также выполнен металлографический анализ образцов. Установление оптимальных параметров охлаждения позволит улучшить технологию производства изделий из стали 120Г17ХРЛ и повысить их эксплуатационные характеристики.

Данное исследование является актуальным, так как совершенствование технологии литья и управления структурой стали способствует повышению эффективности работы оборудования и снижению затрат на его эксплуатацию.

Полученные результаты могут быть полезны для разработчиков новых марок сталей, а также для инженеров,

занимающихся оптимизацией технологических процессов в металлургии [5-6].

Материал и методы. Химический состав исследованных образцов 120Г17ХРЛ представлен в табл. 1.

Процесс изготовления деталей, которые работают в условиях интенсивного абразивного износа и высоких контактных нагрузок, связан с образованием нитрида бора при кристаллизации сплава. Это способствует формированию упрочненного слоя на рабочей поверхности деталей при соблюдении определенных условий эксплуатации. Основным методом производства изделий из данной марки стали является литье в песчаные формы с применением различных типов литейной оснастки [7,8]. Такой подход влияет на структуру стали 120Г17ХРЛ, где размер зерна аустенита, являющегося главной структурной составляющей металлической основы сплава, может варьироваться. Известно, что величина зерна аустенита оказывает значительное влияние на механические (прочность, удлинение и ударная вязкость), технологические (устойчивость к трещинам) и эксплуатационные (стойкость к износу) характеристики отливок [9-10].

Целью данной работы стало исследование влияния скорости охлаждения на структуру и свойства высокомарганцевистой стали 120Г17ХРЛ в состоянии литья. В качестве исследуемого материала использовалась сталь 120Г17ХРЛ, химический состав которой приведён в табл. 1. Из данного материала изготавливаются брони для дробилок МР 1000 с массой каждой от 7,6 до 8,2 т. На рис. 1 представлен общий вид футеровочных элементов чаши и конуса, предназначенных для дробилки МР 1000 [11-13].

Для обеспечения широкого диапазона скоростей охлаждения использовались различные формы — сухая и сырая песчано-глинистая, а также кокиль, при этом масса образцов-отливок варьировалась от 0,5 до 2,0 кг. Температурные изменения в металле регистрировались с помощью вольфрам-ренийевой термопары, установленной в форме, а данные записывались на устройство LA-50USB с частотой 50 Гц для каждого канала, что позволяло одновременно фиксировать информацию с четырех каналов [14-16]. Исследования проводились с использованием оптического микроскопа Meiji Techno, дополненного системой компьютерного анализа изображений Thixomet PRO.

Эксперименты выполнялись в лаборатории кафедры «Технология машиностроения» Навоийского государственного горно-технологического университета и в центральной заводской лаборатории металлографических исследований ПО «НМЗ».

Результаты и их обсуждение. Скорость охлаждения в процессе кристаллизации значительно влияет на микроструктуру стали, поскольку изменение этого параметра определяет условия формирования структуры.

При низкой скорости охлаждения создаётся ограниченное количество центров кристаллизации, а рост зародышей твёрдой фазы происходит с высокой скоростью. Увеличение степени переохлаждения сопровождается возрастанием разницы в свободной энергии между жидкой и твёрдой фазами, а также снижением подвижности атомов. Это приводит к образованию большего числа зародышей критического размера и развитию мелкозернистой структуры [17-19]. Исследование микроструктуры образцов, охлажденных с разными скоростями, позволяет определить зависимость размеров зерна аустенита от скорости охлаждения в процессе кристаллизации. На рис. 1 а-1 е представлены микроструктуры стали 120Г17ХРЛ, охлажденной с

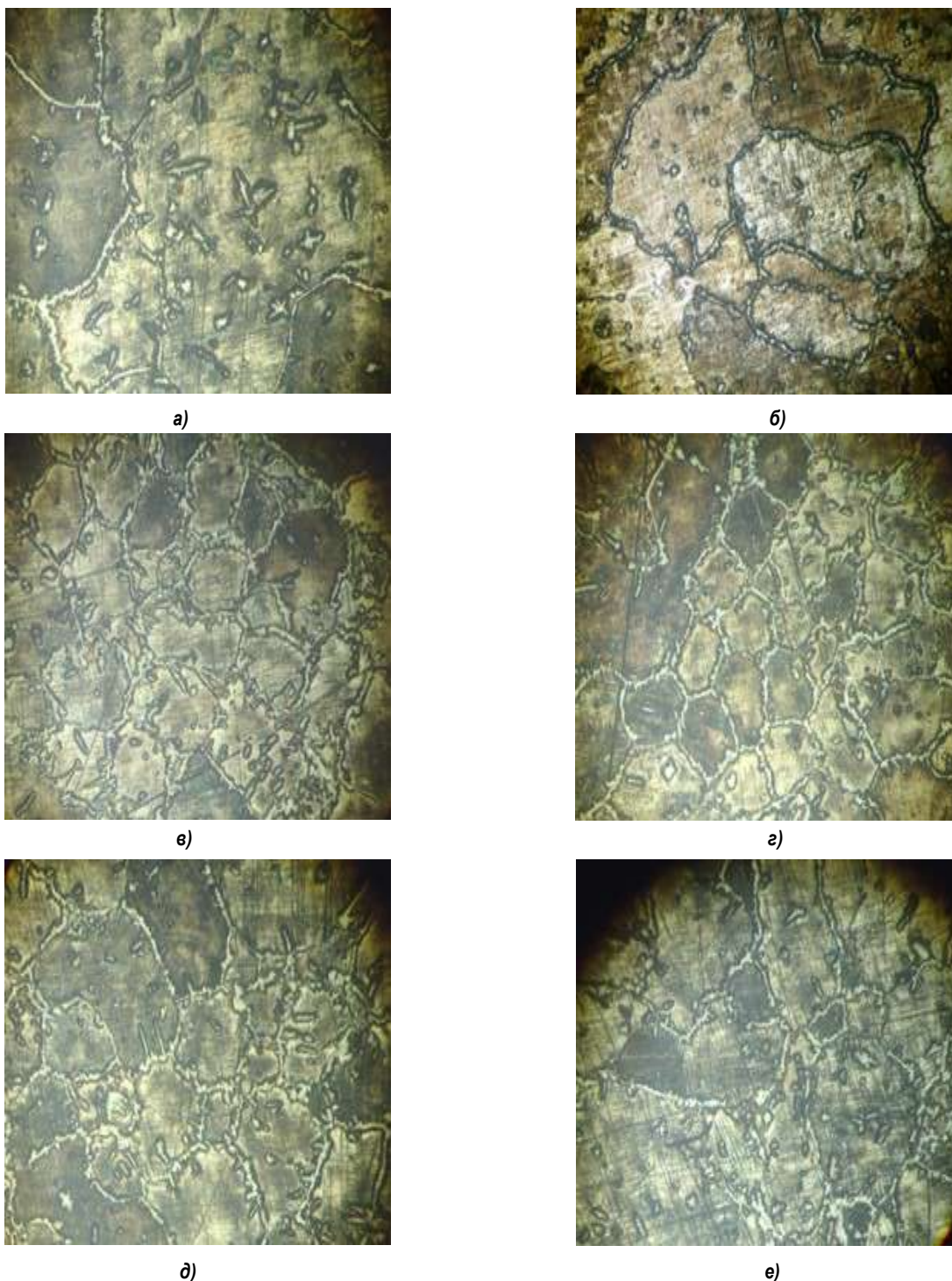


Рис. 2. Микроструктура стали 120Г17ХРЛ в литом состоянии, полученная при различных скоростях охлаждения, $\times 100$: а) – $1,1^{\circ}\text{C}/\text{c}$; б) – $1,9^{\circ}\text{C}/\text{c}$; в) – $3,7^{\circ}\text{C}/\text{c}$; г) – $4,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$; д) – $8,9^{\circ}\text{C}/\text{c}$; е) – $25^{\circ}\text{C}/\text{c}$

различной интенсивностью. Металлографический анализ и исследование микроструктуры образцов показали, что наиболее заметное уменьшение размера зёрен аустенита (более чем на один балл) наблюдается при увеличении скорости охлаждения с $1^{\circ}\text{C}/\text{c}$ до $5^{\circ}\text{C}/\text{c}$ (рис. 2 а, б, в). При дальнейшем увеличении скорости охлаждения темпы уменьшения размера зёрен снижаются: рост скорости охлаждения с $5^{\circ}\text{C}/\text{c}$ до $25^{\circ}\text{C}/\text{c}$ приводит к сокращению среднего размера зёрен аустенита лишь на один балл (рис. 2 г, д, е).

Наиболее сбалансированная микроструктура формируется при скоростях охлаждения в диапазоне $4-5^{\circ}\text{C}/\text{c}$ [20].

При низкой скорости охлаждения (менее $4^{\circ}\text{C}/\text{c}$) структура характеризуется не только равномерным ростом, но и выборочным увеличением размеров отдельных зёрен аустенита. Повышение скорости охлаждения до $4,5^{\circ}\text{C}/\text{c}$ приводит к балансировке между скоростью зарождения и скоростью роста твёрдой фазы, что обеспечивает равномерное увеличение размеров зёрен аустенита [21].

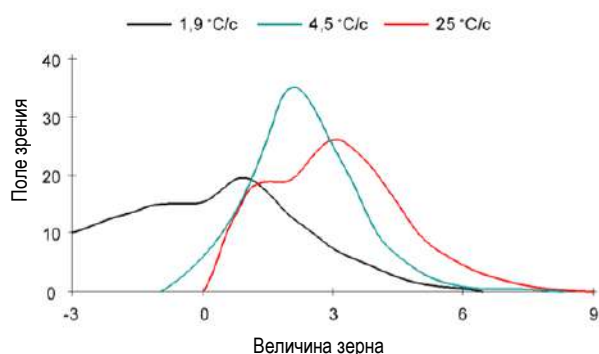


Рис. 3. График, отображающий распределение размеров зерен в структуре, образующейся при различных скоростях охлаждения в процессе кристаллизации

При высоких скоростях охлаждения (свыше 5°С/с) доминирует влияние скорости зарождения над скоростью роста зёрен.

В результате в структуре наблюдается неравномерное увеличение некоторых зёрен, наряду с сохранением мелкозернистых областей, где рост затруднён из-за сниженной подвижности атомов, что приводит к повышенной неоднородности микроструктуры.

Выводы. Скорость охлаждения в процессе кристаллизации высокомарганцевистой стали 120Г17ХРЛ оказывает значительное влияние на формирование ее структуры, особенно на размер зёрен аустенита.

Оптимальная и наиболее равномерная структура достигается при скорости охлаждения в диапазоне 4-5°С/с. Отклонение скорости охлаждения в большую или меньшую сторону от этого значения приводит к образованию структуры с неоднородным размером зёрен.

Библиографический список:

1. Borrmann L., Senk D., Steenken B., Rezende J. – *Steel Research International*, 2020, pp. 73–78.
2. Ognianov M., Leitner H., Wieser V. – *BHM Bergund Hüttenmännische Monatshefte*, 2017, pp. 94–100.
3. Olentsevich V., Belogolov Y., Grigoryeva N. – *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. – 832 p.
4. Huang Sh. – *Processes*, 2022. – 1101 p.
5. Aslamova V., Taiwan T., Rush E. – *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. – 832 p.
6. Holmberg K., Kivikyto-Reponen P., Harkisari P., Homberg K. – *Tribol. Int.*, 2017, pp. 116–139.
7. Holmberg K., Erdemir A. – *Friction*, 2017, pp. 263–284.
8. Lin C.M., Lai H.H., Kuo J.C., Wu W. – *Mater. Charact.*, 2011, pp. 1124–1133.
9. Li Y.P., Song R.B., Wen E.D. – *Acta Metall. Sin.* 2016, pp. 441–449.
10. Borrmann L. – *Steel research international*, 2020, pp. 200–209.
11. Curiel-Reyna E., Herrera A., Castaño V.M., Rodriguez M.E. – *Materials and Manufacturing Processes*, 2005, pp. 813–822.
12. Han J., Luo S., Liu N., Chen K., Xie S., Wang W., Zhu M. – *Journal of Materials Research and Technology*, 2024. – 33 p.
13. Vdovin K., Feoktistov N., Gorlenko D. – *Solid State Phenomena*, 2017. – 265 p.
14. Gozbenko V., Tuvshintur B., Kargapolitsev S. – *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020. – 832 p.
15. Wang Y.N., Yang J., Xin X.L. – *Metall Mater Trans B* 47, 2016, pp. 1378–1389.
16. Von Schweinichen P., Chen Z., Senk D. – *Metall Mater Trans A* 44, 2013, pp. 5416–5423.
17. Jang J.M., Kim S.J., Kang N.H. – *Met. Mater. Int.*, 2009, 15, pp. 909–916.
18. Jacobi H., Schwerdtfeger K. – *Metall Trans A* 7, 1976, pp. 811–820.
19. Yuewen Fan, Kouki Kameda, Xiaojun Hu, Hiroyuki Matsuura. – *ISIJ International*, 2024, pp. 920-927.
20. Volodin V.L., Zuev L.B., Volodin T.V., Gromov V.E. – *Steel in Translation*, 2009, pp. 629-632.

1M63

ТОКАРНО – ВИНТОРЕЗНЫЙ
СТАНОК



NMZ
Заводская техника и 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

URANNI YER OSTIDA TANLAB ERITMAGA O'TKAZISHDA QUYUVCHI QUDUQDAN ISHLAB CHIQRARISH QUDUG'IGACHA FILTRATSION OQIM



Bobonazarov J.R.,
NDKTU «Oliy matematika va axborot texnologialari» kafedrası asistenti



Karabekyan S.X.,
NDKTU «Oliy matematika va axborot texnologialari» kafedrası katta o'qituvchisi

Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazishda bitta quyuvchi va bitta ishlab chiqaruvchi quduq misolida reagentlar oqimi, yassi an'anaviy bo'lmagan oqim masalasining matematik yechimi ko'rib chiqilgan. Uranni yer ostida eritmaga tanlab o'tkazish usuli bilan reagentlarning quyuvchi quduqdan ishlab chiqarish qudug'igacha bo'lgan filtratsion oqim tenglamalari va chizmalari ishlab chiqilgan. Ushbu jarayonda bir xil siqilmaydigan suyuqlik uchun zarrachalarning eng qisqa yo'l bilan harakatlanishi, harakat davomiyligini maksimal ravishda tabiiy jarayonga yaqinligi e'tiborga olindi.

Kalit so'zlar: Qattlam, drenaj, quduq, suyuqlik, potensial funksiya, ekvipotensial chiqizlar, superpozitsiya, filtrlash, oqim, matematik modellar.

Рассмотрено математическое решение задачи плоского нетрадиционного потока реагентов на примере одной закачной и одной откачной скважины при подземном выщелачивании урана. Разработаны уравнения и схемы фильтрационного потока реагентов от закачной скважины до откачной скважины методом подземного выщелачивания урана. В этом процессе учитывалось, что для однородной несжимаемой жидкости движение частиц по кратчайшему пути, продолжительность движения максимально близка к естественному процессу.

Ключевые слова: Пласт, дренаж, скважина, жидкость, потенциальная функция, эквипотенциальные линии, суперпозиция, фильтрация, поток, математические модели.

Agarda maxsus talablar mavjud bo'lmasa, barcha yerda qattlam bir xil quvvatga ega bo'lgan holda gorizonttal ko'rinishda olinadi. Qattlam yuqoridan gorizonttal suv o'tkazmaydigan yuza va gorizonttal suv o'tkazmaydigan taglik bilan qoplangan. Qattlamdagi suyuqlikning harakati Darsi filtrlash qonuniga bo'ysunadi va o'rnatilgan.

Qo'yilgan masalada suyuqlikning g'ovakli qattlamda tekis harakatlanishi ko'rib chiqiladi. Bu shuni anglatadiki, bir-biriga parallel bo'lgan tekisliklarda sodir bo'ladigan harakat o'rganiladi va barcha tekisliklarda harakat tasviri bir xil ko'rinadi.

Qo'yilgan masalani yechimini topishda oqimning superpozitsiya prinsipi qo'llaniladi. Ushbu prinsipga asoslangan usul qo'yidagicha:

Bir nechta drenajlar (manbalar) g'ovakli qattlamda birgalikda harakat qilganda har bir manba tomonidan aniqlangan potensial funksiya (yoki bosim) bitta oqim uchun formula bilan bo'yicha hisoblanadi. Barcha oqimlar va manbalar tufayli yuzaga keladigan potensial funksiya har bir mutaqil manba va oqimdagi potensial funksiyalar qiymatlarining yig'indisi orqali aniqlanadi [1].

Cheksiz qattlamda bitta ishlab chiqaruvchi quduq M musbat massa oqimi bilan ishlayapti deb faraz qilamiz. Agarda quduq quyuvchi bo'lganda edi, u manba hisoblanib, uning debeti manfiy bo'lardi.

Φ potensial funksiya qo'yidagi formula orqali aniqlanadi:

$$\varphi = \frac{M}{2\pi b} \ln r + C \quad (1)$$

Qattlamda bitta quyuvchi quduq va bitta ishlab chiqaruvchi quduq hamda quyuvchi quduq (manba) dan ishlab chiqaruvchi qudug'i (oqim) qacha filtratsion oqimni qarab chiqaylik. [2]

O_1 oqim va O_2 manba teng debiti bo'lsin, ya'ni ular modul bo'yicha bir xil massa debitiga ega M ; $O_1O_2 = 2a$. Ushbu holatda manbadan oqova suvgacha bo'lgan oqimni o'rganib chiqamiz.

Ox o'qini O_1 va O_2 nuqtalar orqali shunday o'tkazamizki, bunda O_1 nuqta O koordinatalarining boshidan a_1 masofada, O_2 nuqta esa a_2 masofada joylashgan bo'lsin.

$$\varphi = \sum_{j=1}^n \varphi_j = \sum_{j=1}^n \frac{M_j}{2\pi b} \ln r_j + C \quad (2)$$

(2) formuladan foydalanib, murakkab oqimning potensial funksiyasini aniqlaymiz. Oqim tezligi uchun bu yerda qabul qilingan belgidan foydalanib, oqova suv tezligi $M_1' = +M$; manba oqim tezligi uchun $M_2' = -M$. M_1' va M_2' formula qiymatlarini (2) almashtirgandan so'ng, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\varphi = \frac{M}{2\pi b} \ln r_1 - \frac{M}{2\pi b} \ln r_2 + C = \frac{M}{2\pi b} \ln \frac{r_1}{r_2} + C \quad (3)$$

bu erda r_1 va r_2 – mos ravishda rezervuarning istalgan nuqtasining oqova suv va manbagacha bo'lgan masofalari.

Bu holda izobar tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$\frac{r_1}{r_2} = C_1 \quad (4)$$

(4) tenglamaga qanday egri chiziqlar mos keladi?

Maqolamizning asosiy qismida ushbu savolga javob izlaymiz.

r_1 va r_2 ni $M(x,y)$ nuqta koordinatalari orqali 1-rasmga muvofiq ifodalaymiz:

$$\begin{cases} r_1 = \sqrt{(x - a_1)^2 + y^2} \\ r_2 = \sqrt{(a_2 - x)^2 + y^2} \end{cases} \quad (5)$$

(5) tenglamadagi r_1 va r_2 qiymatlarini (4) tenglamaga qo'yamiz hamda qo'yidagilarni hosil qilamiz:

$$\frac{(x - a_1)^2 + y^2}{(a_2 - x)^2 + y^2} = C_1^2 \quad (6)$$

(6) tenglama ekvipotensial izobar chiziqlarini tavsiflaydi. Ushbu tenglamani qo'yidagi ko'rinishda yozib olamiz:

$$x^2 + y^2 + 2 \frac{C_1^2 a_2 - a_1}{1 - C_1^2} x = \frac{C_1^2 a_2^2 - a_1^2}{1 - C_1^2} \quad (7)$$

(7) tenglamadan ko'rish mumkinki, ekvipotensial chiziqlar bu markazi Ox o'qida (tenglamada y ning birinchi darajasi qatnashgan ifoda mavjud emas) joylashgan doiralardir.

Agar koordinatalar boshini doiralarning biror doirasining markaziga joylashtirsak, u holda ushbu doira tenglamasini hosil qilish uchun (7) tenglamada x ning koeffitsiyentini nolga teng deb olish lozim, ya'ni:

$$C_1^2 a_2 - a_1 = 0 \quad (8)$$

(8) shart bajarilganda, doira radiusi R qo'yidagi qiymatga teng bo'ladi:

$$R = \sqrt{\frac{C_1^2 a_2^2 - a_1^2}{1 - C_1^2}} \quad (9)$$

(9) tenglikdan

$$C_1 = \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} \quad (10)$$

ni hosil qilamiz.

C₁ ning qiymatini (9) tenglikka etib qo'yib,

$$R^2 (a_2 - a_1) = a_1 a_2^2 - a_1^2 a_2$$

yoki

$$a_1 a_2 = R^2 \quad (11)$$

tenglikni hosil qilamiz.

(11) tenglikdan $a_1 < R < a_2$ yoki $a_1 > R > a_2$ ekanligini inobatga oladigan bo'lsak, barcha doiralarning Ox o'qini oqim O₁ va manba O₂ oralig'ida kesib o'tadi. Bu esa maxsus nuqtalarning biri R radiusli doira ichida, ikkinchisi esa doira tashqarisida joylashgan. (11) tenglik bilan aniqlanuvchi O₁ va O₂ nuqtalarning Ox o'qidagi o'zaro R radiusli doiraga nisbatan o'zaro simmetrik deb ataladi. (10) tenglik esa R radiusli doiraga nisbatan inversiya xususiyatini ifodalaydi [2-3].

Radius R = ∞ deb faraz qilamiz, ya'ni to'g'ri chiziq ko'rinishidagi ekvipotensial chiziqlarni olamiz. (9) formuladan asosan R = ∞ bo'lganda C₁ = 1 (9) tenglamaga asosan r₁ = r₂ degan xulosaga kelamiz, ya'ni ekvipotensial chiziq orasida shunday bir Oy' chiziq borki, u oqova suv va manba orasidagi masofani teng ikkiga bo'lib, Oy o'qiga parallel (1-rasmga qarang) [2].

Quduqlar orasidagi masofa 2a va doira radiusi R orasidagi munosabatni aniqlaymiz:

(11) dan ko'rinib turibdiki,

$$a_2 = \frac{R^2}{a_1};$$

Demak

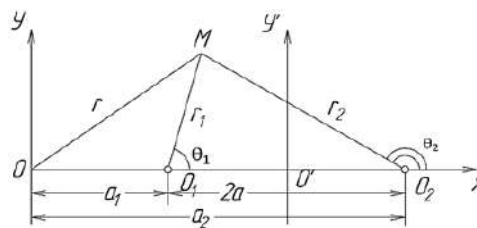
$$2a = a_2 - a_1 = \frac{R^2}{a_1} - a_1 = \frac{R^2 - a_1^2}{a_1} \quad (12)$$

O'zgarmas C₁ ni doira radiusi R ga bo'g'liqligini qo'yidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

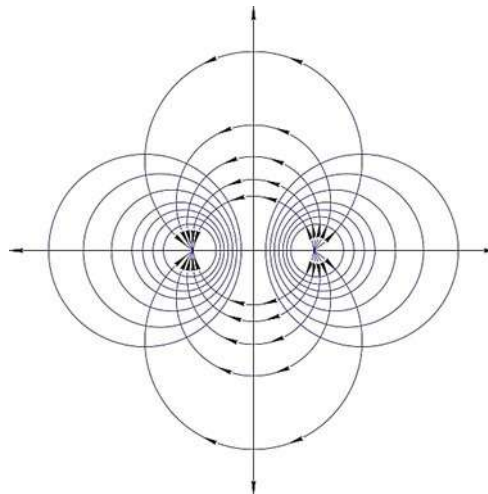
$$C_1 = \sqrt{\frac{a_1 a_1}{a_2 a_1}} = \frac{a_1}{R} \quad (13)$$

Yoki

$$C_1 = \frac{R}{a_2}.$$



1-rasm. O₁ oqim, O₂ manba



2-rasm: Manba va oqovanning filtr maydoni

Shunday qilib, ekvipotensial chiziqlar (izobarlar), cheksiz qatlamdagi bitta ishlab chiqarish va bitta quyish teng debet quduqlarining birgalikdagi harakati bilan, markazlari quduq markazlari orqali o'tadigan to'g'ri chiziqda joylashgan doiralardir.

Doiralarning orasida cheksiz katta radiusga ega bo'lgan to'g'ri chiziq bor, u quduqlar orasidagi masofani va butun oqim tekisligini ikkiga bo'ladi. Cheklangan R radiusining barcha doiralarning yarmi ushbu chiziqning bir tomonida, qolgan doiralari boshqa tomonda joylashgan (2-rasm) [2].

Oqim chiziqlari oilasi bu holatda izobarlarga ortogonal doiralarning oilasidir. Barcha oqim chiziqlari oqova va manba orqali o'tadi. Barcha doiralarning markazlari oqova va manba orasidagi masofani teng ikkiga bo'luvchi to'g'ri chiziqda joylashgan (2-rasm).

Bu bir xil quvvatli oqova va manba tomonidan qo'llab-quvvatlanadigan filtrlash maydoni.

Birgalikda harakat qilganda ishlab chiqarish va quyish quduqlarining ommaviy oqim debeti M formulasini keltirib chiqaraylik.

M formulasini chiqarish uchun chegara shartlarini qabul qilish kerak. Bu holda chegara pallalari ikkala quduqning pallasidir.

Aytaylik, r_c radiusli O₁ quduq pallasida potentsial funktsiya φ doimiy aniqlik bilan bosimga qarab aniqlangan φ₀ = const qiymatini oladi va bir xil radiusli O₂ quduqning pallasida φ = φ₀ = const.

(3) formuladan foydalanamiz. Ishlab chiqarish quduq pallasida

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{r_c}{2a} \quad (2-rasm);$$

quyish quduqning pallasida esa

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{2a}{r_c}$$

Ikkinchi tenglikdan birinchi tenglikni hadma-had ayirish orqali hosil qilingan tenglamani M ga nisbatan yechish orqali qo'yidagini topamiz

$$\begin{cases} \varphi_3 = \frac{M}{2\pi b} \ln \frac{r_c}{2a} + C \\ \varphi_H = \frac{M}{2\pi b} \ln \frac{2a}{r_c} + C. \end{cases} \quad (14)$$

$$M = \frac{\pi b (\varphi_H - \varphi_3)}{\ln \frac{2a}{r_c}}. \quad (15)$$

M qatlamining istalgan nuqtasida massa filtrlash tezligini aniqlaymiz (2-rasmga qarang). Agar qatlamda faqat bitta O_1 oqim mavjud bo'lsa, uning moduli M ga teng bo'lsa, massa tezligi vektori $\rho \vec{v}_1$ modulining quyidagi ifodasini hosil qilamiz:

$$|\rho \vec{v}_1| = \frac{M}{2\pi b r_1} \quad (16)$$

agar faqat bitta O_2 unda massa tezligi vektori qo'yidagicha yozish mumkin edi

$$|\rho \vec{v}_2| = \frac{M}{2\pi b r_2} \quad (17)$$

Superpozitsiya printsipi bo'yicha massa tezligi vektorlarini qo'shsak, massa tezligi modulini qatlarning ma'lum bir nuqtasida qiymatini hisoblaymiz $\rho \vec{v}$ (2-rasm).

$$|\rho \vec{v}| = \frac{M}{2\pi b r_1 r_2} \sqrt{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1 r_2 \cos(\theta_2 - \theta_1)} \quad (18)$$

Kavadrat ildiz ostidagi ifoda oqova va manba orasidagi masofa $O_1 O_2 = 2a$, shu sababli formulani qo'yidagicha o'zgartirib yozib olamiz:

$$|\rho \vec{v}| = \frac{M}{\pi b} \frac{a}{r_1 r_2} \quad (19)$$

Uran konida reagentlar omborining yuqori rentabelligini ta'minlaydigan reagentlar omboridagi bosimni ushlab turish uchun konlarda reagentlarni quyish quduqlari orqali reagentlar omboriga quyish usuli keng qo'llaniladi [2-5].

Bir xil siqilmaydigan suyuqlik uchun zarrachaning quyish va ishlab chiqarish quduqlar orasidagi eng qisqa yo'l bo'ylab harakatlanish vaqtini hisoblaymiz, ya'ni Ox o'qi bo'yicha. Agar suyuqlik (reagent) reagentlar omboridan ishlab chiqarish qudug'i (uran) orqali olinadigan parametrlarga ega bo'lgan quyish qudug'i orqali reagentlar omboriga quyiladi deb hisoblasak, unda birinchi taxminda reagentni reagentlar omboriga quyish boshlanishidan boshlab uni ishlab chiqarish qudug'iga sindirish boshlanishigacha bo'lgan vaqt masalasini hal qilish mumkin [2-3].

Bir xil siqilmaydigan suyuqlik uchun (19) tenglikni qo'yidagicha yozish mumkin:

$$|\vec{v}| = \frac{Q}{\pi b} \frac{a}{r_1 r_2}.$$

yoki Ox o'qi bo'ylab O_2 nuqtadan O_1 nuqtagacha harakatlanuvchi D zarracha uchun (2-rasm)

$$-m \frac{dx}{dt} = \frac{Q}{\pi b} \frac{a}{r_1 r_2}, \quad (20)$$

bu yerda $x-Ox$ o'qi bo'yicha harakatlanayotgan D zarracha absissasi.

Agar koordinata boshini O_1 oqimga keltirib qo'ysak, D zarrachaga nisbatan qo'yidagilarga ega bo'lamiz:

$$r_1 = x.$$

$$r_2 = 2a - x.$$

r_1 va r_2 larning qiymatlarini (20) tenglamaga qo'yamiz va o'garuvchilarni ajratamiz hamda integrallab, qo'yidagi tenglikni hosil qilamiz:

$$t = \frac{\pi b m}{Q a} \int_{x_0}^x (x^2 - 2ax) dx = \frac{\pi b m}{Q a} \left(\frac{x^3 - x_0^3}{3} - ax^2 + ax_0^2 \right). \quad (21)$$

Agar $x = 0$, $x_0 = 2a$ deb olsak, u holda zarrachaning $O_1 O_2 = 2a$ masofani bosib o'tish vaqti T (21) tenglamadan qo'yidagicha topiladi:

$$T = \frac{4}{3} \frac{\pi b m a^2}{Q} \quad (22)$$

T vaqt ichida qatlamga yuborilgan reagentning umumiy hajmi $mb\omega$ ga teng, bu yerda ω – reagent qamrab olgan maydon. Ushbu reagent hajmini (22) formulaga asosan ham hisoblab chiqish mumkin:

$$QT = \frac{4}{3} \pi b m a^2.$$

Hajmning ikkala ifodasini tenglashtirgan holda, T vaqt ichida reagent qamrab olgan maydon qiymatini topamiz:

$$\omega = \frac{4}{3} \pi a^2. \quad (23)$$

(22) va (23) formulalar asosida shuni qayd etish kerakki, T vaqt ichida quyilgan reagent zarrachasi quyish qudug'idan ishlab chiqarish qudug'igacha bo'lgan $2a$ masofani bosib o'tsa, qatlamga tashqaridan bir vaqtda kirgan va Ox o'qiga musbat yo'nalisidagi suyuqlik zarrachasi esa birinchi reagent zarrachasidan ikki marta kam, ya'ni a masofani bosib o'tadi. Shunday qilib, T vaqt ichida reagent qoplagan maydon ishlab chiqaruvchi quduq tomon yo'nalgan bo'ladi [2-7].

Shunday qilib, biz quyuvchi quduqdan ishlab chiqarish qudug'igacha bo'lgan oqimni tekshirdik. Ekvipotensial chiziqlar va oqim chiziqlari shakli to'g'risida allaqachon qilingan xulosalarni takrorlamasdan, shuni ta'kidlaymizki, ikkita quduq holatida oqimni o'rganish – cheksiz qatlamdagi bitta quyuvchi va bitta ishlab chiqaruvchi – bu qatlamdagi bitta va ko'plab quduqlar holatlarida radioaktiv bo'lmagan tekis oqimni o'rganish uchun asos bo'lib xizmat qiladi, ularning chegaralari quvvat maydoni bilan quduqdan cheklangan masofada joylashgan. Debitni aniqlashning yuqoridagi usuli keyingi vazifalarda ham qo'llaniladi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Mamilov V.A. Uranni yer ostida tanlab eritmaga o'tkazish usulida qazib olish. Rus tilidan I.U. Halimov, Sh.Sh. Aliqulov va J.E. Xo'jayevlar tarjimasini. – Navoiy, 2017. – 232 b.
2. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная Б 27 гидромеханика. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 263 с.
3. Грабовников В.А. Геотехнологические исследования при разведке металлов. – М.: Недра, 1995. – 154 с.
4. Sharafutdinov U.Z., Kurbanov M.A., Alikulov S.S., Ganieva D.S. Mining Informational and Analytical Bulletin, 3(1). 2021, pp. 136-146.
5. Alikulov Sh.Sh., Akhadov Kh.R. Mining Informational and Analytical Bulletin, (12). 2021, pp.120-131.
6. Mukhitdinov D., Boybutayev S., Goziev O., Qudratov J. E3S Web of Conference. 414, 05009. 2023.
7. Kadirov Y., Boeva O., Eshqobilov R., Toshmurodova S., Abdullaeva D. E3S Web of Conferences. 414, 05003. 2023.
8. Sattarov O. E3S Web of Conferences. 390, 03012. 2023.
9. Kadirov Y., Samadov A., Goziev O. E3S Web of Conferences. 390, 04019. 2023.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ БПЛА И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ



Ковалев И.В.,
профессор НГГТУ, д.т.н.



Ковалев Д.И.,
докторант НИУ «ТИИМСХ»

Uchuvchisiz uchish apparatlari (UUA) va intellektual texnologiyalarning integratsiyasi tog'-kon sanoatida barqaror rivojlanish uchun yangi istiqbollarni ochadi. Ushbu maqolada UUALarning tog'-kon sanoatida asosiy qo'llanilishi, jumladan geologik qidiruv, tog'-kon jarayoni monitoringi, qoldiqlarni boshqarish, yer osti konlarini qidirish va xavfsizlik masalalari muhokama qilinadi. Kompyuter kuzatish tizimlari va avtonom UUA harakatlanish texnologiyalaridan foydalanishga alohida e'tibor qaratilmoqda. UUALarni intellektual texnologiyalar bilan integratsiyalashning ma'lumotlarni yig'ish va qayta ishlash samaradorligini oshirish, ishlab chiqarish jarayonlarini optimallashtirish va mehnat xavfsizligini yaxshilash kabi afzalliklari tahlil qilingan. Tog'-kon sanoati uchun UUA larni takomillashtirishning istiqbolli yo'nalishlari, jumladan, parvoz xususiyatlarini yaxshilash, foydali yuk konfiguratsiyasini kengaytirish va maxsus dasturiy ta'minotni ishlab chiqish ko'rib chiqilmoqda. Tadqiqot natijalari konchilik sanoatining samaradorligi va barqarorligini oshirish uchun UUALar va intellektual texnologiyalarni integratsiyalashning muhim salohiyatini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: tog'-kon sanoati, UUA, intellektual texnologiyalar, integratsiya, barqaror rivojlanish, dasturiy ta'minot.

Интеграция беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и интеллектуальных технологий открывает новые перспективы для устойчивого развития горнодобывающей отрасли. В данной статье рассматриваются ключевые направления применения БПЛА в горном деле, включая геологоразведку, мониторинг процессов добычи, управление хвостовыми отвалами, исследование подземных шахт и обеспечение безопасности. Особое внимание уделяется использованию систем компьютерного зрения и технологий автономной мобильности БПЛА. Анализируются преимущества интеграции БПЛА с интеллектуальными технологиями, такие как повышение эффективности сбора и обработки данных, оптимизация производственных процессов и улучшение безопасности труда. Рассматриваются перспективные направления совершенствования БПЛА для горнодобывающей отрасли, включая улучшение полетных характеристик, расширение конфигурации полезной нагрузки и разработку специализированного программного обеспечения. Результаты исследования демонстрируют значительный потенциал интеграции БПЛА и интеллектуальных технологий для повышения эффективности и устойчивости горнодобывающей промышленности.

Ключевые слова: горнодобывающая промышленность, БПЛА, интеллектуальные технологии, интеграция, устойчивое развитие, программное обеспечение.

Перспективы интеграции беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и интеллектуальных технологий для устойчивого развития горнодобывающей отрасли закладываются совместным использованием технологий искусственного интеллекта (ИИ) для автономной работы дронов и автоматизации обработки данных. Очевидно, что сегодня интеграция БПЛА и ИИ увеличивает транспортно-технологический потенциал дронов. Это осуществляется за счет развития технологий автономной мобильности БПЛА на основе ИИ. Также важным аспектом является автоматизация обработки данных на основе интеллектуальных технологий.

В работе [1] авторами обсуждается интеграция БПЛА, ИИ и смешанной реальности (СР) в качестве гибридной системы для мониторинга процесса восстановления участка добычи. Рассматриваются системы БПЛА и обсуждается применение ИИ в горнодобывающей промышленности. Наиболее распространенными БПЛА являются недорогие многороторные системы, однако их возможности могут быть ограничены для долгосрочной автономной работы. Отмечается множество проблемных приложений для датчиков, используемых на БПЛА с учетом их интеграции с ИИ и СР для создания автономной системы. Предлагается упрощенная модель для автономных интегрированных систем БПЛА, ИИ и СР, включающая

базовый набор основных модулей. Модульная разработка способствует эффективной интеграции БПЛА и ИИ, что позволяет создавать системы, являющиеся мощным инструментом для восстановления участков добычи и подтверждения соответствия требованиям с помощью визуальных средств, размещенных на БПЛА.

С появлением и развитием БПЛА различные датчики стали более миниатюрными и интеллектуальными. Как отмечается авторами в работах [2-4], БПЛА, оснащенные такими интеллектуальными датчиками, становятся важным источником, обеспечивающим получение различных пространственных данных. Более того, такие преимущества, как низкая стоимость, короткий цикл повторного использования, гибкость в управлении и высокая точность, сделали БПЛА мощными инструментами в геологическом, сельскохозяйственном и экологическом мониторинге.

По мнению авторов [2], применение БПЛА в горнодобывающих районах все еще находится в зачаточном состоянии, но быстро развивается с точки зрения скорости, масштаба и сферы обслуживания. Отмечается, что интеграция БПЛА и интеллектуальных датчиков (моно- или многофункциональных) создает прикладную структуру для реализации функций мониторинга с использованием БПЛА в горнодобывающих районах. Перспективы развития БПЛА и

интеллектуальных датчиков способствует расширению знаний и дальнейшей оценке их применимости в горнодобывающей промышленности, рекультивации и охране окружающей среды.

Сформулируем два основных направления перспективного развития интегрированных систем, включающих БПЛА и элементы интеллектуальных технологий.

Инновационные методы анализа визуальных данных в горнодобывающей отрасли.

На этапе цифровой трансформации горнодобывающего сектора особую актуальность приобретают передовые технологии обработки визуальной информации, интегрированные с беспилотными летательными аппаратами. Такие высокотехнологичные решения, базирующиеся на алгоритмах машинного обучения и компьютерного зрения, открывают новые возможности для оптимизации производственных процессов и повышения эффективности горных работ. Спектр возможностей интеллектуальных систем анализа изображений достаточно широк.

Современные алгоритмы искусственного интеллекта в сфере обработки визуальных данных обеспечивают реализацию следующих ключевых функций:

- прецизионное распознавание и локализация целевых объектов на снимках;
- автоматизированный количественный учет элементов инфраструктуры и оборудования;
- высокоточная сегментация изображений для детального анализа;
- выявление динамических изменений ландшафта и объектов во времени;

многоуровневая классификация визуального контента.

Нейросетевые модели, интегрированные в бортовые системы БПЛА, обеспечивают возможность идентификации широкого спектра объектов, включая горнотранспортное оборудование, геоморфологические структуры, производственные сооружения, растительный покров, гидрологические объекты и разнообразные элементы техногенного ландшафта горных выработок [5].

Архитектура современных БПЛА для промышленного применения способствует эффективной интеграции современных методов анализа визуальных данных [6]. Передовые модели БПЛА, предназначенные для использования в горнодобывающей отрасли, представляют собой сложные мехатронные системы, включающие высокoeffективные силовые установки и прецизионные навигационные модули, многоканальные приемники глобальных навигационных спутниковых систем, мультисенсорные комплексы и камеры сверхвысокого разрешения, программируемые микроконтроллеры с расширенным функционалом, интегрированные системы автономного пилотирования.

В рамках поддерживаемой БПЛА методологии обработки данных дистанционного зондирования массивы данных, получаемые с бортовых камер БПЛА, подвергаются многоступенчатому анализу с применением специализированного ПО для извлечения критически важной информации. Т

акой комплексный процесс на основе технологии компьютерного зрения включает автоматизированное извлечение, многофакторный анализ и идентификацию значимых паттернов из набора изображений с использованием передовых алгоритмов машинного обучения.

Касаясь эффективных программных решений в области геоинформатики, отметим, что по данным экспертов конференции TAdviser Summit 2024, одним из наиболее перспективных программных продуктов в данной области является UgCS ATLAS AI – инновационная платформа для комплексного анализа геопрограммных данных, полученных с помощью БПЛА.

Это ПО использует передовые технологии ИИ для автоматизации сложных аналитических процессов, непрерывно повышая эф-

фективность модельно-алгоритмической поддержки на основе пользовательских рекомендаций и оптимизируя выполнение типовых задач по обработке данных. Ключевые возможности UgCS ATLAS AI включают: высокоточный подсчет объектов различных категорий; прецизионное измерение объемов горной массы; генерацию детализированных цифровых моделей рельефа; мониторинг динамических изменений ландшафта и инфраструктурных объектов во времени. Именно эти функции важны для организации непрерывного мониторинга и комплексной оценки состояния объектов горнодобывающей инфраструктуры, обеспечения безопасности горных работ и оптимизации управления ресурсами в смежных секторах промышленности.

Автономная навигация БПЛА в условиях горнодобывающих предприятий.

Совершенствование концепции автономной мобильности БПЛА в современных условиях развития горнодобывающей промышленности обеспечивает внедрение автономных беспилотных летательных аппаратов, способных осуществлять независимую навигацию в сложных горно-геологических условиях.

Данная технология представляет собой качественно новый этап в эволюции систем дистанционного мониторинга и контроля производственных процессов. Автономная мобильность БПЛА характеризуется способностью летательного аппарата осуществлять навигацию и выполнять поставленные задачи без непосредственного управления оператором.

Ключевым аспектом данной технологии является интеграция систем сбора и обработки данных в режиме реального времени с алгоритмами принятия решений на основе искусственного интеллекта, что обеспечивается технологическими компонентами автономной навигации. Реализация автономной навигации БПЛА базируется на взаимодействии следующих технологических компонентов:

- высокоточные системы глобального позиционирования (GPS/ГЛОНАСС);
- алгоритмы компьютерного зрения с поддержкой ИИ;
- системы предварительного планирования маршрутов;
- модули динамической оптимизации траектории полета.

Интеграция данных компонентов позволяет БПЛА осуществлять автономную навигацию между заданными точками с учетом особенностей рельефа и потенциальных препятствий.

Технологии компьютерного зрения, основанные на алгоритмах машинного обучения, также играют ключевую роль в обеспечении автономности БПЛА, так как они обеспечивают детектирование и классификацию объектов окружающей среды, оценку расстояния до потенциальных препятствий, анализ динамических изменений в зоне полета, корректировку траектории движения в режиме реального времени.

Эти возможности позволяют БПЛА осуществлять безопасную навигацию в условиях сложного горного рельефа, минимизируя риски столкновений и обеспечивая оптимальное выполнение поставленных задач.

Важным аспектом является методология обучения систем компьютерного зрения, так как их эффективность напрямую зависит от качества и объема обучающих данных. Процесс обучения включает такие этапы, как сбор и аннотирование репрезентативных наборов данных, предварительную обработку и аугментацию изображений, обучение нейронных сетей на специализированных вычислительных кластерах, валидацию и тестирование моделей в условиях, приближенных к реальным.

Для реализации данного процесса применяются специализированные программные комплексы, обеспечивающие эффективное хранение, обработку и анализ больших объемов данных.

В качестве примера передовых инструментов для обработки и анализа данных дистанционного зондирования можно привести модуль Section Analysis, интегрированный в программный комплекс



Рис. 1. Беспилотный винтокрыл Optiplane [18]

Lidar 360 [7]. Данный инструмент обеспечивает высокоточное построение сечений и профилей на основе облаков точек, полученных методом лазерного сканирования. Это позволяет создавать детальные трехмерные модели рельефа и инфраструктурных объектов, что критически важно для обучения систем компьютерного зрения БПЛА и планирования оптимальных маршрутов в условиях горнодобывающих предприятий. Таким образом, внедрение автономных БПЛА, оснащенных передовыми системами компьютерного зрения и ИИ, открывает новые перспективы для повышения эффективности и безопасности горнодобывающих операций, обеспечивая непрерывный мониторинг и оперативное реагирование на изменения производственной среды.

Материалы и методы. Горнодобывающим компаниям использование БПЛА и интеллектуальных технологий позволяет продвигаться в сторону интеллектуального автономного карьера. До сих пор в горнодобыче применяется традиционная геодезическая съемка, которая является долгой и трудоёмкой. Специальные бригады геодезистов и маркшейдеров тратят дни и месяцы на съёмку для контроля и корректировки хода работ на разрезах. Контроль работ и расчёт объёмов выработки производят регулярно в зависимости от размеров и объёмов добычи месторождения: от ежедневного до ежемесячного. Внедрение беспилотных авиационных систем на карьерах в рамках текущих решений часто не позволяют в полной мере удовлетворить потребности предприятий при решении поставленных задач. Это связано с тем, что, как правило, предлагаются два типа летательных аппаратов: самолёты и квадрокоптеры [1, 8]. Однако такие типы аппаратов не является оптимальным решением для горнодобывающей отрасли. Самолёт не приспособлен для работы в ограниченном пространстве карьера с его сложным рельефом. Для взлёта и посадки ему требуется протяжённая площадка с открытым пространством. Самолётом может управлять только опытный квалифицированный пилот, машине сложно маневрировать, к тому же нельзя приблизиться к объекту для большей детализации съёмки. Квадрокоптер, в свою очередь, достаточно манёвренный, но для работы на больших месторождениях не подходит, поскольку обладает низкой энергоэффективностью в горизонтальном полете и снимает слишком маленькую площадь за один вылет — менее 1 км².

Инновационный подход при работе на месторождении базируется на использовании винтокрылов (рис. 1), таких как Optiplane (разработчик ООО «Оптиплайн Аэродинамика») [8]. Это БПЛА с вертикальным взлетом, автоматическим полетом и увеличенной дальностью. Решения на базе винтокрылов с технологией LiDAR играют активную роль в оцифровке текущих горных работ и результатов эксплуатации карьеров, обеспечивая доступ к эффективному сбору и обработке актуальных 3D пространственных данных. В них сочетаются преимущества обоих типов БПЛА, представленных выше: манёвренность и дальность. Такой тип беспилотных летательных аппаратов может взлетать и садиться на площадке 2x2 метра и имеет дальность полета, достаточную для съёмки крупных

месторождений и замеров на открытых складах.

Ещё одна ключевая особенность комплексного решения для карьеров на базе винтокрыла — его полностью автоматический полет. Поскольку в случае с карьерами снимается всегда одна и та же территория, то возможно один раз задать в автопилоте границы выработки и маршрут съёмки, и аппарат сам будет выполнять всю работу в течение нескольких часов. Например, на съёмку карьера площадью порядка 800 га уходит около 2,5 часов вместо непрерывной месячной работы геодезической и маркшейдерской службы. Автономный мониторинг карьера на базе винтокрыла Optiplane выходит в десятки раз эффективнее. Но также можно увеличить эффективность маркшейдерской службы, если выполнять аэрофотосъёмку каждую неделю. Таким образом, можно оперативно контролировать результаты работ и корректировать задачи для горняков. Это, несомненно, будет способствовать увеличению объёмов добычи [9].

Направления совершенствования БПЛА для эффективной интеграции с интеллектуальными технологиями способствует устойчивому развитию горнодобывающей отрасли. В качестве таких направлений выделим следующие, связанные с совершенствованием полетных характеристик БПЛА, расширением конфигурации и полезной нагрузки, разработкой линейки камер гибридного исполнения.

Эволюция конструктивных решений БПЛА для применения в горнодобывающей промышленности развивается с учетом интенсивной интеграции беспилотных технологий воздушного и наземного базирования в различные отрасли промышленности, включая горнодобывающий сектор. При этом особую актуальность приобретает оптимизация летно-технических характеристик БПЛА. Современные тенденции в разработке промышленных БПЛА характеризуются существенными инновациями в области конструкции планера и силовых установок, что обеспечивает значительное улучшение эксплуатационных параметров и расширение функциональных возможностей полезной нагрузки.

Одним из примеров передовых разработок в области БПЛА является модель Optiplane, демонстрирующая принципиально новый подход к конструкции беспилотных систем. Параллельно с этим, наблюдается тенденция к модернизации существующих промышленных дронов. В частности, новая модификация промышленного дрона M300 RTK характеризуется рядом существенных конструктивных изменений [9]. Эти изменения связаны с оптимизацией расположения роторно-пропеллерной группы, модернизацией конфигурации планера и усовершенствованием силовой установки. Данные решения направлены на повышение стабильности и эффективности выполнения полетных заданий в сложных горно-геологических условиях, включая неблагоприятные метеорологические факторы.

Расширение функциональных возможностей полезной нагрузки связано с реализацией вышеуказанных конструктивных модификаций и интеграцией более мощных силовых установок, что обеспечивают возможность существенного расширения номенклатуры и функционала полезной нагрузки БПЛА (показатели грузоподъемности достигают 2,7 кг полезной нагрузки при максимальной конфигурации). Для горнодобывающей отрасли особую актуальность приобретает возможность интеграции следующих типов бортового оборудования:

- мультиспектральные камеры высокого разрешения;
- тепловизионные и инфракрасные системы визуализации;
- лидарные комплексы (LiDAR);
- газоаналитические системы;
- специализированные датчики для сбора геофизических данных.

В рамках разработки новых поколений промышленных БПЛА особое внимание уделяется созданию гибридных сенсорных си-

стем, объединяющих различные типы датчиков в едином модуле. Примером такой интеграции служат камеры, сочетающие тепловизионную матрицу с модулем лазерного сканирования. Учитывая возможность установки до трех единиц оборудования на борту БПЛА, открываются широкие перспективы для комбинирования различных сенсорных систем, что позволяет оптимизировать транспортно-технологический цикл БПЛА на основе комплексного анализа разнородных данных в режиме реального времени.

Пример конфигурации современного промышленного БПЛА представлен на рис. 2. В качестве иллюстрации современных возможностей промышленных БПЛА приведена конфигурация дрона DJI Matrice 300 RTK, оснащенного гибридной камерой Zenmuse H20T, интегрирующей лазерный дальнометр, оптическую систему с переменным фокусным расстоянием, широкоугольный объектив и тепловизионный модуль [9]. Также конфигурация включает газоаналитическую систему U10. Такая конфигурация обеспечивает возможность комплексного мониторинга и анализа различных параметров окружающей среды в условиях горнодобывающих предприятий. Данный пример отражает современные тенденции в разработке промышленных БПЛА, которые характеризуются интеграцией передовых конструктивных решений и многофункциональных сенсорных систем, что дает дополнительные возможности для оптимизации производственных процессов в горнодобывающей отрасли.

Современные задачи мониторинга и контроля в горной промышленности требуют интеграции сложных программно-аппаратных комплексов, обеспечивающих автономность и безопасность эксплуатации БПЛА. Ключевым аспектом становится внедрение интеллектуальных функций, оптимизирующих выполнение специализированных миссий в условиях сложного рельефа и неблагоприятных погодных условий.

Для автоматизации задач горной геологоразведки и инспекции инфраструктуры в настоящее время реализуются следующие инновационные решения [9]:

AI Spot-Check – алгоритм машинного обучения, обеспечивающий стандартизацию процедур контроля через автоматическое сопоставление эталонных и текущих данных;

Waypoints 2.0 – система планирования маршрутов с поддержкой 65 535 точек, возможностью интеграции стороннего оборудования и адаптивной коррекцией траектории;

Smart Pin & Track – комбинированный режим, сочетающий маркировку объектов интереса (PinPoint) и интеллектуальное сопровождение динамических целей (Smart Track).

Обеспечение безопасности полетов достигается за счет систем многоканального управления, включающих функции дуального контроля, технического зрения и динамической диагностики. Дуальный контроль предоставляет двум операторам равные права управления при реализации синхронизации через платформу DJI FlightHub. Кроме того, программный комплекс DJI FlightHub обеспечивает интеграцию геопространственных данных, таких как: планирование групповых миссий с распределением зон ответственности между операторами, обработку данных лидарного сканирования через модуль Section Analysis (Lidar 360) для построения цифровых моделей рельефа и автоматическую генерацию ортофотопланов и 3D-карт хвостохранилищ с оценкой объемов горной массы.

Функция технического зрения обеспечивается сетью сенсоров двойного обзора и ToF-датчиков с радиусом действия 40 м, обеспечивающих 3D-картографирование пространства и обнаружение препятствий. Динамическая диагностика осуществляется встроенной системой анализа состояния БПЛА с рекомендациями по обслуживанию и журналированию параметров полета. С учетом указанных технологий в табл. 1 приведены сравнительные характеристики систем безопасности БПЛА.

Отметим, что реализация данных технологий позволяет сократить время выполнения геодезических миссий на 40%, одновремен-



Рис. 2. Комбинированное размещение на БПЛА гибридной камеры и газоанализатора [19]

но повысив точность измерений объемов открытых разработок до 97%. Интеграция газоаналитических модулей (U10) и гибридных камер (Zenmuse H20T) расширяет функционал для экологического мониторинга и аварийного реагирования. Это позволяет современным БПЛА трансформироваться в автономные аналитические платформы, сочетающие прецизионное оборудование и нейросетевые алгоритмы, что открывает новые перспективы для цифровизации горнодобывающей отрасли.

Результаты и обсуждение. Рассмотренные возможности интеграции БПЛА и ИИ, включая элементы автономной навигации БПЛА и методы анализа визуальных данных, позволяют выделить ключевые направления для внедрения беспилотных БПЛА и интеллектуальных технологий в горнодобывающую отрасль, которые являются перспективными для решения ряда критических задач, которые сформулируем далее.

Геологоразведка и картографирование. Использование БПЛА для геологоразведки и картографирования стало одним из первых и наиболее развитых направлений в горном деле [10-12]. Современные модели БПЛА, такие как M300 RTK, оснащенные специализированным оборудованием и программным обеспечением, позволяют эффективно выполнять следующие задачи:

- создание высокоточных карт местности;
- генерация ортофотопланов;
- построение трехмерных моделей рельефа и объектов;
- выявление геологических аномалий.

Полученные данные играют ключевую роль в планировании полевых работ, проектировании инфраструктуры и стратегическом развитии горнодобывающих комплексов.

Мониторинг производственных процессов. Круглосуточный мониторинг добычи, строительства и охраны объектов становится неотъемлемой частью современного горнодобывающего производства. БПЛА, оснащенные специализированными камерами (тепловизионными, инфракрасными) и дополнительным оборудованием, обеспечивают непрерывный контроль за производственными процессами и безопасностью объектов инфраструктуры.

Управление хвостохранилищами. Применение БПЛА для мониторинга и управления хвостохранилищами приобретает особую актуальность в контексте обеспечения экологической безопасности и оценки потенциала вторичного использования и переработки отходов. Интеграция беспилотных систем с специализированным программным обеспечением позволяет оптимизировать процессы управления хвостохранилищами и минимизировать экологические риски.

Исследование подземных выработок. Применение БПЛА в открытых горных работах не вызывает существенных затруднений. Однако мониторинг подземных выработок сопряжен с рядом технических вызовов, связанных с ограниченной видимостью, наличием пыли и многочисленных пространственных препятствий [13-15]. Перспективным направлением является разработка специализированных БПЛА, адаптированных к агрессивным условиям подземных выработок. Их применение позволит:

- своевременно выявлять утечки газов;
- оценивать риски обрушения пород;
- контролировать состояние вентиляционного и другого горного оборудования;

- обнаруживать потенциальные очаги возгорания.

Мониторинг заброшенных шахт. Учитывая глобальную проблему наличия тысяч заброшенных шахт, представляющих серьезную экологическую и техногенную опасность, применение БПЛА для их мониторинга становится критически важным. Беспилотные системы, оснащенные мультиспектральными камерами, лазерными сканерами и газоанализаторами, обеспечивают эффективный контроль за:

- скоплением и утечкой опасных газов;
- геологическими изменениями, способными привести к катастрофическим последствиям;
- рисками затопления и других стихийных бедствий.

Обеспечение промышленной безопасности. Интеграция БПЛА в системы промышленной безопасности позволяет повысить уровень защиты персонала горнодобывающих предприятий. Ключевыми аспектами применения БПЛА в данной сфере являются:

- раннее обнаружение признаков нестабильности горных пород;
- мониторинг пожароопасных ситуаций;
- контроль концентрации метана и других опасных газов;
- поддержка принятия решений в критических ситуациях.

Оптимизация транспортно-логистической инфраструктуры.

Эффективность горнодобывающей деятельности во многом зависит от состояния транспортно-логистической инфраструктуры. Применение БПЛА для мониторинга дорожных условий и сбора аэрофотоснимков позволяет оптимизировать процессы планирования, проектирования и обслуживания инфраструктурных объектов. Анализ данных, полученных с помощью БПЛА, способствует повышению безопасности и эффективности транспортно-технологических циклов на горнодобывающих предприятиях.

Таким образом, интеграция БПЛА и интеллектуальных технологий в горнодобывающую отрасль открывает новые горизонты для повышения эффективности, безопасности и экологичности производственных процессов.

Анализ эффективности применения БПЛА в горнодобывающей отрасли. Интеграция беспилотных летательных аппаратов и передовых интеллектуальных технологий демонстрирует значительный потенциал для устойчивого развития горнодобывающего сектора. В первую очередь, следует отметить результаты применения БПЛА для аэрофотосъемки и лазерного сканирования местности. Современные БПЛА, выступая в качестве ядра комплексного промышленного решения, обеспечивают выполнение широкого спектра задач, включая фотограмметрию, картографирование и трехмерное моделирование рельефа.

В качестве экспериментальной оценки эффективности БПЛА приведем результаты эксперимента, в котором были задействованы два промышленных дрона для съемки поверхности до и после проведения взрывных работ с целью точного расчета объема извлеченного грунта [9]. Ключевым элементом технологического комплекса выступил воздушный лазерный сканер TOPODRONE LIDAR 100 LITE, обеспечивающий следующие характеристики:

- рабочая высота сканирования: 70-80 метров;
- точность построения цифровой модели рельефа: 3-5 см;
- плотность облака точек: около 150 точек на кв.м.

Данный сканер, интегрированный в штатный разъем БПЛА DJI MATRICE 200 (рис. 3), представляет собой оптимальное решение для высокоточного картографирования горных выработок.

Применяемое в комплексе с БПЛА специализированное программное обеспечение характеризуется высокой производительностью при обработке больших массивов данных. Ключевые операции, такие как классификация облака точек и выделение рельефа

местности, выполняются в течение 3-5 минут для одного полета, что значительно сокращает время анализа по сравнению с традиционными методами.

Следует отметить также, что используемые в эксперименте модели БПЛА (DJI-Matrice 300 RTK и Mavic 2 EA) продемонстрировали высокую адаптивность к суровым климатическим условиям, включая:

- работу при отрицательных температурах;
- устойчивость в условиях сложного горного рельефа;
- надежность в агрессивной среде действующих горнодобывающих предприятий.

Важными являются результаты сравнительного анализа эффективности, полученные в ходе экспериментов. В частности, эксперимент, проведенный в рамках совместного проекта "СУЭК-Кузбасс", HIVE и 4vision, позволил разработать и апробировать новую методику расчета объемов горных работ.

Сравнительный анализ показал значительное превосходство интегрированного решения на базе БПЛА и ИИ над традиционными методами (табл. 2).

Таким образом, применение БПЛА в сочетании с интеллектуальными технологиями обработки данных позволяет сократить время выполнения геодезических работ более чем в 20 раз, обеспечивая при этом высокую точность и детализацию получаемых результатов.

Более того, интеграция БПЛА и ИИ в горнодобывающую отрасль переходит от экспериментальных проектов к системным решениям. Согласно прогнозам, к 2025 году 78% предприятий планируют внедрить дроны для автоматизации ключевых процессов, что подтверждается значительным ростом производства гражданских БПЛА. Эти технологии не только повышают безопасность горных работ, но и становятся ключевыми драйверами экономической устойчивости в условиях растущих экологических требований к горнодобывающей промышленности.

Выводы:

Интеграция БПЛА и интеллектуальных технологий открывает широкие перспективы для устойчивого развития горнодобывающей отрасли.

Проведенное исследование показывает, что применение БПЛА в сочетании с системами компьютерного зрения, технологиями автономной мобильности и специализированным программным обеспечением позволяет значительно повысить эффективность и безопасность горных работ. Ключевыми преимуществами такой интеграции являются ускорение процессов сбора и обработки данных, повышение точности измерений, оптимизация производственных процессов и улучшение контроля за состоянием окружающей среды.

Перспективные направления развития включают совершенствование полетных характеристик БПЛА, расширение функционала полезной нагрузки и разработку специализированного программного обеспечения для анализа данных. Особое внимание следует уделить адаптации БПЛА для работы в сложных условиях подземных шахт и созданию интегрированных систем мониторинга и управления горными работами.

Результаты экспериментальных исследований подтверждают высокую эффективность применения БПЛА в сравнении с традиционными методами, что открывает путь к созданию "умных" карьеров и шахт. Однако для полной реализации потенциала этих технологий необходимо дальнейшее совершенствование нормативно-правовой базы и подготовка квалифицированных специалистов.

В целом, интеграция БПЛА и интеллектуальных технологий представляет собой перспективное направление для повышения эффективности, безопасности и экологичности горнодобывающей отрасли, способствуя ее устойчивому развитию в долгосрочной перспективе.

Библиографический список:

1. Phillip S., Roohollah S.F. Application of UAVs in the mining industry and towards an integrated UAV-AI-MR technology for mine rehabilitation surveillance // *Mining technology*. 2023. Vol. 132, № 2. Pp. 65-88.
2. Ren H., Zhao Y., Xiao W. et al. A review of UAV monitoring in mining areas: current status and future perspectives // *Int J Coal Sci Technol*. 2019. Vol. 6. Pp. 320-333.
3. Самойловский А. Применение беспилотных летательных аппаратов на горнодобывающих предприятиях // *Горная промышленность*. № 6 (142). – М.: Научно-Производственная компания «Гемос Лимитед», 2018. – С. 60-61.
4. Бабаев С.Н. Технология мониторинга открытых горных работ с применением беспилотного летательного аппарата // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2013. Т. 1, № 3. – С. 151-154.
5. Шрайнер К.А., Макаров И.В. Использование возможностей беспилотных летательных аппаратов для дистанционного зондирования на примере открытых горных работ // *Вестник СГУГиТ*. № 2 (18). – Новосибирск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий (СГУГиТ)», 2012. – С. 47-50.
6. Козлов Д.Д. Реализация возможностей использования беспилотных летательных аппаратов в горном деле // *Известия вузов. Горный журнал*. № 1. – М.: ИД «Руда и металлы», 2024. – С. 102-110.
7. Медведев В.И., Райкова Л.С. Программы для обработки данных лазерного сканирования местности // *САПР и ГИС автомобильных дорог*. № 2 (9). – Томск: ООО «ИндорСофт», 2017. – С. 10-31.
8. Увеличение производительности горных работ с помощью винтокрылов Optiplane с технологией LiDAR // *Журнал "Глобус: геология и бизнес"*. 2023. URL: <https://www.vnedra.ru/tehnika/oborudovanie/uvelichenie-proizvoditelnosti-gornyh-rabot-s-pomoshhyu-vintokrylov-optiplane-s-tehnologiej-lidar-21482/> (дата обращения: 31.01.2025).
9. Применения БПЛА в горнодобыче и геологоразведке // *Добывающая промышленность*. № 2 (26). – Красноярск: Редакция СМИ, 2021. – С. 22-27.
10. Николаев Н.Н. Применение БПЛА в геологической сфере // *Разведка и охрана недр*. – Москва, 2024. № 4. – С. 55-62.
11. Федоров Ф.Ф. Аэромагнитная съемка как прогрессивный метод геологоразведки с использованием БПЛА // *Геология и геофизика*. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2023. № 8. – С. 90-98.
12. Григорьев Г.Г. Использование БПЛА для мониторинга и картографирования территории горных предприятий // *Маркшейдерия и недропользование*. – Россия: ООО ИД «Недропользование и горные науки», 2024. № 2. – С. 67-74.
13. Turner R.M., MacLaughlin M.M., Iverson S.R. Identifying and mapping potentially adverse discontinuities in underground excavations using thermal and multispectral UAV imagery // *Engineering Geology*. 2020. Vol. 266. Article 105470.
14. Park S., Choi Y. Applications of Unmanned Aerial Vehicles in Mining from Exploration to Reclamation: A Review // *Minerals*. 2020. Vol. 10. Article 663.
15. Ким М.Л., Костеренко В.Н., Певзнер Л.Д., Ярыгин А.А. Разработка системы автоматического управления маршрутным движением беспилотного летательного аппарата в шахтных условиях // *Уголь*. № 10 (1135). – Москва: ООО «РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «УГОЛЬ», 2020. – С. 22-27.
16. Nguyen B.D. Applications of UAVs in mine industry: A scoping review // *Journal of Sustainable Mining*. 2023. Vol. 22, № 2. Article 100419.
17. Beretta F., Shibata H., Cordova R., Peroni R.D.L., Azambuja J., Kuckartz B.T. Topographic modelling using UAVs compared with traditional survey methods in mining // *REM - International Engineering Journal*. 2018. Vol. 71, No. 3. Pp. 463-470.
18. <https://aeronext.aero/>.
19. <https://dprom.online/mtindustry/primenenie-bpla/>.

НТ-250-01; НТ-250 М

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
ТОКАРНЫЙ СТАНОК



NMZ
ВНЕШНО ЭКСПОРТ И ИМПОРТ

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

AZNEK KONI FOSFORITLARIDAN KISLOTALI PARHALASHDAN OLINGAN KISLOTALI EKSTRAKT VA AMMONIZATSIYALANGAN ERITMA REOLOGİYASINI O'RGANISH



Xurramov N.I.,
NDK va TU
«Kimyoviy texnologiya» kafedrası
dotsenti



Rahimova G.S.,
NDK va TU
«Kimyoviy texnologiya» kafedrası
tayanch doktoranti

Maqolada Aznek koni fosforitlaridan nitrat, sulfat-nitrat kislotali parchalashdan olingan eritma va ammonizatsiyalangan eritma reologiyasi haqida ma'lumotlar keltirilgan. Fosforitlarni nitrat, sulfat-nitrat kislotali parchalash orqali olingan eritma va ammonizatsiyalangan eritma zichligi va qovushqoqligi 20-40°C harorat oralig'ida tahlil qilindi. Turli kislotada normalarida ishlov berilgan namunalarning reologik xossalari o'rganilganda kislotada normasi ortishi bilan qovushqoqlik va zichlik ortib borishi kuzatildi.

Kalit so'zlar: fosforit, nitrat kislotada, nitrat kislotada ekstrakti, sulfat-nitrat kislotada ekstrakti, ammoniylash, zichlik, qovushqoqlik.

В статье представлена информация реологических свойств растворов, которые получены в результате разложения серной и азотной кислот, и аммонизированного раствора из фосфоритов Азнекского месторождения. Плотность и вязкость раствора и аммонизированного раствора, полученного нитратным, серно-азотнокислым разложением фосфоритов, анализировали в диапазоне температур 20-40°C. При изучении реологических свойств образцов, обработанных в различных кислотных нормах, наблюдалось увеличение вязкости и плотности с увеличением кислотной нормы.

Ключевые слова: фосфорит, азотная кислота, азотнокислый экстракт, серно-азотнокислый экстракт, аммиак, плотность, вязкость.

Dunyo miqosida 60 dan ortiq mamlakatlardagi fosforit rudalari zahiralari 63067,4 mln t P_2O_5 , shu jumladan 57807,4 mln t fosforit va 5260 mln t apatit rudalariga to'g'ri keladi [1]. Ba'zi [2] ma'lumotlariga ko'ra fosfat xomashyosi asosida olingan apatit konsentri qazib olinayotgan zahiralari keyingi o'n yil ichida keskin kamayib bormoqda, hatto tarkibida 32 % P_2O_5 tutgan foskonsentratlar ham jahon bozorida sotilishi ma'lum darajada chegaralab qo'yilmoqda [3].

Ma'lumki, qishloq xo'jaligini jadal suratlarida rivojlantirish va uning mineral o'g'itlarga bo'lgan talabini ta'minlash butun dunyo bo'yicha dolzarb muammolardan biri bo'lib qolmoqda [4]. Bugungi kunda fosforli o'g'itlarga bo'lgan talab yuqori. Respublikada ishlab chiqarilayotgan fosforli o'g'itlar mamlakat qishloq xo'jaligi ehtiyojlarini qondirmaydi. 2022-yilda respublikada qishloq xo'jaligi korxonalarining fosforli o'g'itga bo'lgan talabi 605,6 ming t , talabga nisbatan ta'minlanganligi 22,4 % [5].

Mineral o'g'itlar ishlab chiqarish bo'yicha kimyo sanoatini rivojlantirish va texnologik amaliyotga joriy etilgan jarayonlarni takomillashtirish tajribasi shuni ko'rsatadiki, kislotali parchalanish usuli ko'rsatkichlari hali ilmiy asoslangan standartlarga yetib bormagan. Ilmiy nashrlarga ko'ra, fosfat xomashyosini qayta ishlashning kislotali usullari katta imkoniyatlarga ega.

Ularning amalga oshirilishi jahon amaliyotida mavjud usullar samaradorligini oshirishga, fosfat xomashyosidan to'liqroq foydalanishga, shuningdek, sifatli va yangi mahsulotlar olishga qaratilgan yangi texnologiyalarni ishlab chiqishga xizmat qilmoqda. Fosfat xomashyosini fosforli mahsulotlarga qayta ishlashda sulfat, fosfat, shuningdek, nitrat va kamroq darajada xlorid kislotalari keng qo'llaniladi. Ushbu kislotalarning asosiy qismi fosforli o'g'itlar ishlab chiqarishda ishlatiladi [6].

Fosfat xomashyosini kislotada bilan qayta ishlash fosfatti o'g'itlarni ishlab chiqarishning asosiy usuli hisoblanadi. Ushbu maqsadlar uchun sulfat va fosfat kislotalari eng keng tarqalgan bo'lib, nitrat kislotada ham qo'llaniladi [7-8].

Fosfat xomashyolarini sulfat, nitrat va fosfat kislotalari bilan qayta ishlash natijasida fosforli o'g'itlar olinadi. Parchalanish jarayonida fosforit xomashyosi tarkibidagi begona qo'shimchalar ishlab chiqarish samaradorligini kamaytiradi. Chunki ularning ko'p qismi suyuq fazada qoladi va olinadigan o'g'itlarni reologik xossalari keskin ta'sir ko'rsatadi. Fosforitlarni sulfat kislotada yordamida parchalash asosida oddiy superfosfat va ekstraksiya fosfat kislotada, undan esa yuqori sifatli ammofos, qo'sh superfosfat, murakkab suyuq o'g'it va boshqalarni olish mumkin [9].

Markaziy Qizilqumning turli xil fosforitlarining – boyitilmagan fosfat xomashyosi, yuvilgan quritilgan konsentrat va changli fraksiyaning nitrat kislotaning 100-125 % normasi, konsentratsiya 55 %, harorat 50°C da va jarayon davomiyligi 25 daqiqada parchalanish natijalari keltirilgan. Nitrat kislotada normasining oshishi bilan CaO , P_2O_5 va R_2O_3 sezilarli darajada kamayadi va fosfat xomashyosiga qarab, P_2O_5 miqdori 19,82-24,13 %, CaO – 6,41-11,61 %, R_2O_3 – 0,46-0,93 %, erimaydigan qoldiq – 3,32-4,98 % ni tashkil qiladi. Erimaydigan qoldiqlar ajratilgandan keyin nitrat kislotada ekstraktining zichligi 20-80°C harorat oralig'ida parchalanishida kislotada normasiga qarab 1,528 g/sm^3 dan 1,655 g/sm^3 gacha o'zgarishi ko'rsatilgan. Ushbu parametrlar bilan qovushqoqlik 76,08-193,09 $mPa \cdot s$ ni tashkil qiladi, pH 5,5 gacha ammiaklangan pulpalar uchun kislotali eritmalar bilan bir xil qonuniyat saqlanib qolishi haqida ma'lumotlar keltirilgan [10].

Ma'lumki, suyuq kompleks o'g'itlar yanada istiqbolli va tejamonkor. Ular chang to'plamaydi, tortmaydi, oson oquvchan va energiyani ko'p

1-jadval

Fosforit xomashyosini nitrat kislotasi bilan parchalashdan olingan eritmalarning reologik xossalari

| HNO ₃ normasi, % | Zichlik, g/sm ³ | | | Qovushqoqlik, mPa·s | | |
|-----------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | 20°C | 30°C | 40°C | 20°C | 30°C | 40°C |
| 100 | 1,390 | 1,385 | 1,380 | 5,026 | 4,729 | 4,596 |
| 100 | 1,364 | 1,355 | 1,348 | 4,828 | 4,795 | 4,398 |
| 100 | 1,355 | 1,350 | 1,345 | 4,795 | 4,596 | 4,411 |
| 105 | 1,322 | 1,320 | 1,307 | 4,960 | 4,365 | 4,166 |
| 105 | 1,368 | 1,363 | 1,353 | 5,258 | 4,166 | 3,968 |
| 105 | 1,330 | 1,325 | 1,315 | 5,026 | 4,133 | 3,935 |
| 110 | 1,400 | 1,390 | 1,382 | 5,258 | 4,497 | 4,325 |
| 110 | 1,399 | 1,386 | 1,379 | 5,225 | 4,795 | 4,365 |
| 110 | 1,373 | 1,365 | 1,356 | 5,191 | 4,517 | 4,398 |

2-jadval

Fosforit xomashyosini sulfat-nitrat kislotasi bilan parchalashdan olingan eritmalarning reologik xossalari

| H ₂ SO ₄ +HNO ₃ (stex. %) | Zichlik, g/sm ³ | | | Qovushqoqlik, mPa·s | | |
|------------------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | 20°C | 30°C | 40°C | 20°C | 30°C | 40°C |
| 20:80 1 soat | 1,291 | 1,281 | 1,246 | 4,166 | 4,041 | 3,836 |
| 20:80 2 soat | 1,284 | 1,275 | 1,247 | 4,285 | 4,113 | 3,902 |
| 20:80 4 soat | 1,334 | 1,295 | 1,260 | 4,557 | 4,127 | 3,895 |
| 10:90 1 soat | 1,331 | 1,325 | 1,283 | 4,365 | 4,266 | 3,981 |
| 10:90 2 soat | 1,356 | 1,348 | 1,304 | 4,596 | 4,431 | 4,398 |
| 10:90 4 soat | 1,356 | 1,348 | 1,304 | 4,563 | 4,398 | 4,338 |

3-jadval

Fosforit xomashyosini nitrat kislotasi bilan parchalashdan olingan tayyor mahsulotlar reologik xossalari

| HNO ₃ normasi, % | Zichlik, g/sm ³ | | | Qovushqoqlik, mPa·s | | |
|-----------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | 20°C | 30°C | 40°C | 20°C | 30°C | 40°C |
| 100 | 1,355 | 1,345 | 1,337 | 5,158 | 4,844 | 4,795 |
| 100 | 1,317 | 1,312 | 1,309 | 4,482 | 4,315 | 4,239 |
| 100 | 1,331 | 1,321 | 1,314 | 5,026 | 4,687 | 4,398 |
| 105 | 1,319 | 1,317 | 1,304 | 4,828 | 4,673 | 4,166 |
| 105 | 1,350 | 1,341 | 1,330 | 5,787 | 5,456 | 4,795 |
| 105 | 1,331 | 1,326 | 1,319 | 5,225 | 4,986 | 4,596 |
| 110 | 1,362 | 1,353 | 1,345 | 5,595 | 5,456 | 5,449 |
| 110 | 1,352 | 1,341 | 1,334 | 5,747 | 5,330 | 5,225 |
| 110 | 1,317 | 1,311 | 1,305 | 5,347 | 4,828 | 4,596 |

talab qiladigan bosqichlar (bug'lanish, granulyatsiya, quritish, qadoqlash) zarurati yo'qligi sababli ularni ishlab chiqarish jarayoni kamroq murakkablashadi [11].

Eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida zichligi, qovushqoqligi va kristallanish harorati past bo'lgan suyuq kompleks o'g'it olish usuli ishlab chiqilgan [12].

Markaziy Qizilqum fosforitlaridan olingan suyuq kompleks o'g'itlarning reologik xususiyatlari 30 dan 80 °C gacha bo'lgan haroratda o'rganilgan. Ammiaklangan fosfat kislotaning pH qiymatidan qat'iy nazar, bo'tananing zichligi va qovushqoqligi harorat oshishi bilan ortib borishi ko'rsatilgan. Barcha pH qiymatlari va haroratlarda hosil bo'lgan pulpalar suyuq bo'lishi va ularni keyingi qayta ishlash hech qanday qiyinchilik tug'dirmasligi aniqlangan [13; 14; 15].

Karatau fosforitlarini repulpatsiya sxemasidan foydalangan holda nitrat-sulfat kislotali qayta ishlash asosida azot-fosforli suyuq va qattiq o'g'itlar texnologiyasini ishlab chiqilgan [16] hamda Markaziy Qizilqumning chang fraksiyasi va fosforit konsentratidan o'g'itlar olishda

4-jadval

Fosforit xomashyosini sulfat-nitrat kislotasi bilan parchalashdan olingan tayyor mahsulotlar zichliklari

| H ₂ SO ₄ +HNO ₃ normasi, % | Zichlik, g/sm ³ | | | Qovushqoqlik, mPa·s | | |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| | 20°C | 30°C | 40°C | 20°C | 30°C | 40°C |
| 20:80 1 soat | 1,261 | 1,253 | 1,246 | 4,365 | 4,241 | 4,166 |
| 20:80 2 soat | 1,263 | 1,254 | 1,247 | 4,398 | 4,199 | 3,968 |
| 20:80 4 soat | 1,272 | 1,266 | 1,260 | 4,596 | 4,166 | 3,935 |
| 10:90 1 soat | 1,297 | 1,289 | 1,283 | 5,026 | 4,431 | 4,041 |
| 10:90 2 soat | 1,315 | 1,313 | 1,304 | 5,158 | 4,715 | 4,299 |
| 10:90 4 soat | 1,315 | 1,311 | 1,304 | 5,258 | 4,722 | 4,299 |

fosfor-sulfat kislotali qayta ishlash va keyin ammiaklash bilan qayta ishlash imkoniyatlari o'rganilgan [17].

Azneq fosforitlaridan suyuq kompleks o'g'itlarni olishda 56 % li HNO₃ kislotasi normasi 100, 105, 110 % bo'lgan holatda xomashyoni parchalash jarayoni 40°C dan oshmagan haroratda va 96 % li sulfat hamda 56% li nitrat kislotalar kombinatsiyasida 10:90 va 20:80 nisbatlarida va yuqoridagi haroratda turli vaqt oraliqlari 1; 2; 4 soat davomida parchalandi. Ajralib chiqayotgan zararli vodorod floridni cho'kirtirish maqsadida namunaga suv oynasi (Na₂SiO₃) qo'shildi. Eritma sovitilgandan so'ng qattiq shlam va suyuq qatlam filtrlash yo'li bilan ajratildi.

Ajratib olingan kislotali eritmalar reologiyasi o'rganildi.

Fosforitni nitrat kislotaning 100-110 % normalarida parchalanishidan olingan eritmalarning 20-40°C oralig'idagi zichligi 1,390 g/sm³ dan 1,356 g/sm³ gacha va qovushqoqligi esa 5,026 mPa·s dan 4,398 mPa·s gacha kamayganini 1-jadvaldan ko'rish mumkin. Nitrat kislotaning 100% normasida 1 soatda parchalanishdan olingan eritma zichligi 20-40°C oralig'ida 1,390 g/sm³ dan 1,380 g/sm³ gacha kamayishi kuzatildi va xuddi shunday kislotaning 105 %, 110 % normalarida fosforitning parchalanishidan olingan eritmalarning zichligi harorat ortishi bilan kamayganini kuzatish mumkin.

Fosforit xomashyosini sulfat-nitrat kislotasining 10:90 va 20:80 nisbatlarida parchalashdan olingan eritmalarning zichligi va qovushqoqligi 20-40°C harorat oralig'ida harorat ortishi bilan kamayganini 2-jadvaldan ko'rish mumkin.

Bo'tanadan ajratib olingan kislotali eritmalar 25 % li ammiakli suv bilan ammonizatsiya qilindi va olingan mahsulotlar reologik xossalari o'rganildi.

Fosforitni nitrat kislotaning 100-110 % normalarida parchalanishidan olingan eritmalarni ammiaklashdan olingan mahsulotlarning zichligi va qovushqoqligi 20-40°C harorat oralig'ida o'rganildi. Harorat ortishi bilan mahsulotlar zichliklari 1,355 g/sm³ dan 1,305 g/sm³ gacha va qovushqoqligi esa 5,158 mPa·s dan 4,596 mPa·s gacha kamaygan.

Fosforit xomashyosini sulfat-nitrat kislotasi bilan parchalashdan olingan tayyor mahsulotlar zichligi va qovushqoqligi yuqoridagi haroratlarda o'rganilganda olingan ma'lumotlarga ko'ra harorat ortishi bilan kamayganini kuzatildi. Sulfat va nitrat kislotasi aralashmasining 20:80 nisbatida olingan tayyor mahsulot reologik xossalari kislotalar aralashmasining 10:90 nisbatida olingan tayyor mahsulot reologiyasidan pastligini ko'rsatdi. Azneq koni fosforitlarini kislotali qayta ishlash kislotali eritmalar va tayyor mahsulotlar olindi. Kislotali eritma va tayyor mahsulotlar reologik xossalari o'rganildi. Harorat ortishi bilan olingan kislotali eritma va tayyor mahsulot zichligi va qovushqoqligi ortishi aniqlandi. Sulfat va nitrat kislotasi aralashmasining 20:80 nisbatida olingan tayyor mahsulot zichligi va qovushqoqligi kislotalar aralashmasining 10:90 nisbatida olingan tayyor mahsulot zichligi va qovushqoqligidan pastligi aniqlandi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Вольнская Н.В. Разработка и усовершенствование технологии производства фосфорной кислоты из фосфоритов Центральных Кызылкумов : дис. ... д-ра техн. наук. – Ташкент, 2019. – 196 с.
2. Tiit Kaljuvee, Rein Kuusik. Enrichment of Carbonate - Phosphate Ores by Calcination and Air Separation. *Int. J. Process*, Vol. 43, pp. 113-121 (1995).
3. Беглов Б.М., Намазов Ш.С. Фосфориты Центральных Кызылкумов и их переработка. – Ташкент, 2013 г. – 460 с.
4. Шамшидинов И.Т. "Исследование процесса переработки фосфоритов Каратау на концентрированные фосфорные удобрения по поточной технологии" *Universum: технические науки*, no. 3 (36), 2017, pp. 29-34.
5. Мирзакулов Х.Ч. Усманов И.И. Ёрбобаев Р.Ч. Суванов Ф.Р. Разложение фосфоритов Центральных Кызылкумов азотной кислотой и реологические свойства кислых и аммонизированных растворов // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2020. № 6 (75). С. 58-62.
6. Шамуратов Г. Влияние засоления почвы на развитие и урожайность хлопчатника // *Сельское хозяйство Узбекистана*. 1998, № 3. – С. 6-7.
7. Шеркузиев Д.Ш., Реймов А.М., Намазов Ш.С. Получение азотно-фосфорно-кальциевых удобрений из Кызылкумских фосфоритов // *Химия и химическая технология*. 2011. – № 4. – С. 8-11.
8. Шеркузиев Д.Ш., Реймов А.М., Намазов Ш.С. Усовершенствованная технология получения азотно-фосфорнокальциевых удобрений из рядовой фосфики Центральных Кызылкумов // *Высокотехнологичные разработки – производству: тезисы докл. Респ. научно-практ. конф. молодых учёных, посвящённой 17-ой годовщине независимости Республики Узбекистан и Году молодёжи (Ташкент, 3-4 сентября 2008 г.)*. – С. 64–67.
9. Sulstonov B.S., Namazov Sh.S., Zakirov B.S. Investigation of nitric acid beneficiation of low grade phosphorites from Central Kyzylkum // *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 50, 1, 2015, pp. 26-34.
10. Faxridin Saloyev; Zulfikaxar Dehkanov; Solijon Zokirov, *Problems in the textile and light industry in the context of integration of science and industry and ways to solve them: (PTLICISWS-2022) Volume 2789, Issue 1, 23 June 2023.*
11. Назирова Р.М., Мирзаалимов А.Н., Таджиев С.М., Мирсалимова С.Р. "Разработка технологии азотно-серного жидкого удобрения на основе местного сырья". *Universum: технические науки: электрон. научн. журн. [и др.]*. 2020. № 8(77). – С. 33-38.
12. Номозов Ш.Ю., Сейтназаров А.Р., Алимов У.К., Жуманова М.О., Намазов Ш.С. Жидкие комплексные удобрения из неупаренной экстракционной фосфорной кислоты. *International Scientific Review № 3(45) / International Scientific Review of the Problems and Prospects of Modern Science and Education: XLIII International Scientific and Practical Conference (Boston. USA- 26 March, 2018).*
13. Номозов Ш.Ю., Алимов У.К., Намазов Ш.С., Сейтназаров А.Р.. Жидкие суспендированные удобрения на основе Кызылкумской экстракционной фосфорной кислоты // *chemical technology. control and management International scientific and technical journal* 2018, №6 (84), pp. 5-16.
14. Султанов Б.С. Алимов У.К. Мирсалимова С.Р. Сейтназаров А.Р. Намазов Ш.С. Перспективность переработки некондиционного фосфорита кызылкума на аммофосфатное удобрение // *Universum: технические науки : электрон. научн. журн.* 2022. 5(98). – С. 43-48
15. Вольнская Н.В., Меликулова Г.Э., Усманов И.И., Мирзакулов Х.Ч. Сравнительные характеристики технологических показателей фосфоритов Центральных Кызылкумов при производстве экстракционной фосфорной кислоты // *Universum: Технические науки: электрон научн. журн.* 2019. – № 2 (59). – С. 89–92.

НФ-630; НФ-1200М-03

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ
ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНОЙ СТАНОК



NMZ
Всегда рядом с клиентом

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 ТОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ



Хайтов Ж.Х.,
директор
ПО «НМЗ» АО «НГМК»



Мардонов Б.Т.,
ректор НГГТУ,
профессор кафедры
«Технология Машиностроения», д.т.н.



Очилов У.Ю.,
докторант кафедры
«Технология Машиностроения»
НГГТУ



Саибов М.Ф.,
докторант кафедры
«Технология Машиностроения»
НГГТУ

Мақоллада CNC dastgohlarining qattiqligi va joylashishni aniqlash aniqligini baholash bo'yicha tajribalar natijalari keltirilgan. Issiqlik deformatsiyalarini tahlil qilish uchun maxsus qurilmalar va usullar qo'llanilgan. Uskunaning yuk ostida harakat qilish xususiyatlari, shuningdek ish paytida yuzaga keladigan og'ishlar ko'rib chiqiladi. Uskunaning samaradorligini oshirish uchun harorat omillarini hisobga olish va aniqlik parametrlarini sozlash muhimligi ko'rsatilgan. Taqdim etilgan natijalar sanoat ishlab chiqarish sharoitida CNC dastgohlarini optimallashtirish uchun ishlatilishi mumkin.

Tayanch so'zlar: RDB, maxsus stanok, birklik, unumdorlik, ishlov berish vaqti, iqtisodiy samaradorlik, modernizatsiya, metal kesuvchi dastgoh.

В статье представлены результаты экспериментов по оценке жёсткости и точности позиционирования станков с ЧПУ. Используются специализированные устройства и методы анализа тепловых деформаций. Рассмотрены особенности поведения оборудования при нагрузке, а также отклонения, возникающие в процессе эксплуатации. Показана важность учёта температурных факторов и корректировки параметров точности для повышения эффективности оборудования. Приведённые результаты могут быть использованы для оптимизации станков с ЧПУ в условиях промышленного производства.

Опорные слова: ЧПУ, специальный станок, жёсткость, производительность, время обработки, экономическая эффективность, модернизация, металлорежущий станок.

Теоретические основы и актуальность.

Жёсткость станков определяется способностью оборудования сопротивляться деформациям при воздействии внешних нагрузок, в то время как точность позиционирования связана с устойчивостью системы к динамическим изменениям и тепловым воздействиям.

Эти параметры определяют качество обработки, особенно при выполнении операций на сложных заготовках.

Методика испытаний на жесткость.

В процессе анализа данных, полученных в ходе эксперимента, важно учитывать, что для точной оценки работы агрегата, [1] подверженного температурным деформациям, не следует упускать из виду такой важный фактор, как статическая жёсткость станины оборудования.

При анализе суммарной размерной погрешности в процессе обработки деталей следует учитывать следующий подход в новых комплектациях [2]: компоненты несущей системы, которые подвергаются температурным искажениям, возникающим на фоне различных тепловых процессов:

$$\Delta_{TDC} = \delta_{TD,XX} + \delta_{TD,H} + \delta_{TC}$$

Можно заключить, что важным аспектом в анализе температурных отклонений оборудования является изучение температурных погрешностей и оценка уровня жёсткости системы.

Такой подход позволяет на основе испытаний на статическую жёсткость точно выявить величину статических деформаций технологической системы в зависимости от различных нагрузок на станок [3].

В рамках данного исследования эксперименты выполнялись с использованием специализированного устройства, схема которого представлена на рис. 1.

В рамках данного исследования эксперименты проводились с использованием специализированного устройства, схема которого представлена на рис. 1.

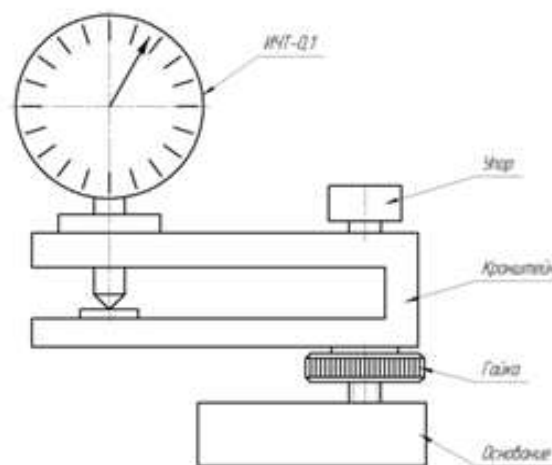


Рис. 1. Схема приспособления для испытаний на жесткость станка

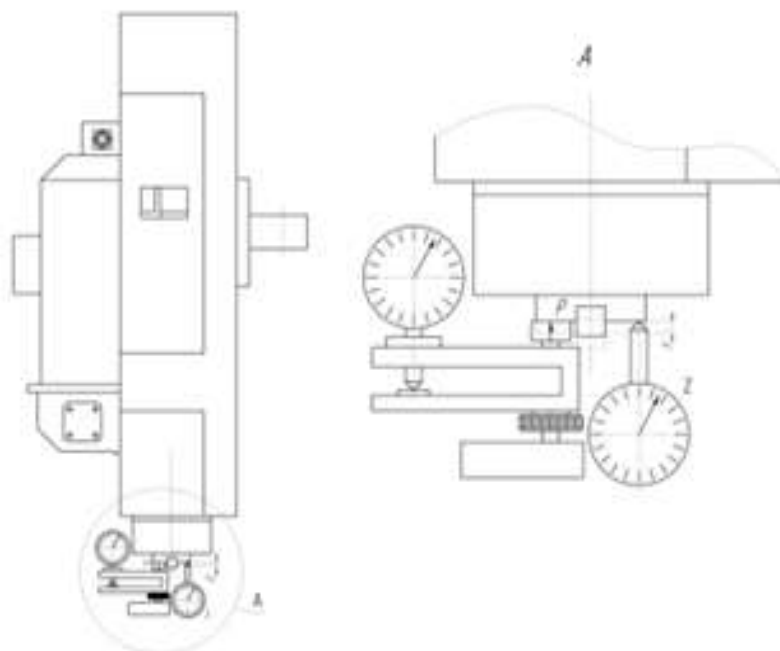


Рис. 2. Схема испытания станка на жёсткость

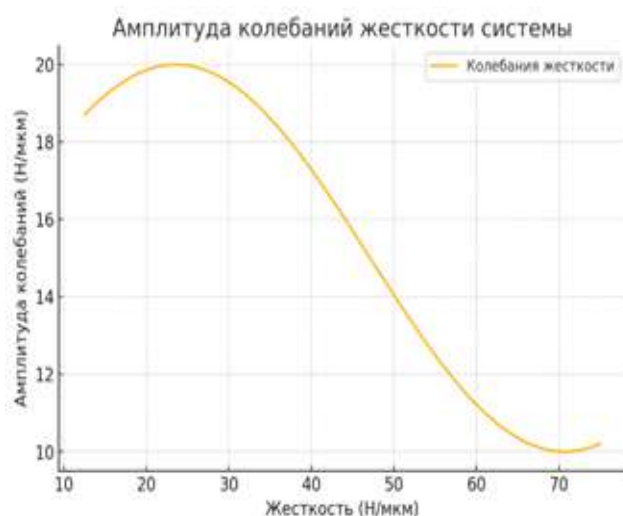


Рис. 3. График проверки жёсткости системы

Устройство фиксируется на основании оборудования, обеспечивая прочную установку [3]. Нагрузка на узел создаётся затягиванием гайки, что приводит к передаче усилия через кронштейн на упор, взаимодействующий с передней частью шпинделя.

Для контроля величины нагрузки применяется индикатор ИЧТ, где смещение стрелки на 8 делений эквивалентно нагрузке в 40 Н [3].

На рис. 2 представлена схема испытаний оборудования с ЧПУ [4]. Для определения относительного перемещения переднего торца шпинделя применялось деление шкалы 0.001 мм.

В ходе эксперимента станок был выключен, а система подвергалась перегрузке трижды для повышения точности данных. Максимальная нагрузка составила 400 Н, а величина нагрузки измерялась

с шагом в 40 Н. Цикл нагружения и разгрузки шпинделя повторялся трижды.

В ходе экспериментов, направленных на определение жёсткости, использовались графики, отражающие зависимость упругих деформаций от силы нагрузки и разгрузки.

Анализ данных показал, что разброс значений силы нагрузки не превышал 20 мкм, а амплитуда изменения жёсткости системы при заданных условиях варьировалась от 10 до 20 Н/мм. Это соответствует стандартным параметрам жёсткости, диапазон которых составляет от 12.5 до 75 Н/мм.

Для исследованных перемещений, в условиях циклов нагрузки и разгрузки, амплитуда составила 7 мкм (рис. 3).

Измерения статической жёсткости оборудования показали, что при небольшой нагрузке (50-400 Н) система ведёт себя практически статично, демонстрируя линейную зависимость с шагом, не превышающим 2 Н/мм.

В данном исследовании графики представлены близкие к реальным, т.е. значения приведены к целым числам для простоты построения графиков:

- линейная связь между силой и жёсткостью;
- зависимость силы от перемещений.

В процессе испытаний были получены данные жёсткости, которые позволяют корректировать показатели точности оборудования. Учитывая линейную зависимость изменения статической жёсткости и известную величину приложенной нагрузки, можно с высокой точностью утверждать, что движение в технологической системе обусловлено преимущественно упругими деформациями.

Для расчёта основной составляющей силы резания при концевом фрезеровании можно воспользоваться следующей формулой [10]:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^U \cdot z}{D^q \cdot n^W} \cdot K_{MP}$$

- где Z – число зубьев фрезы;
 n – частота вращения фрезы, об/мин;
 D – диаметр фрезы, мм;
 B – ширина фрезерования, мм;

Ср, X, Y, U – это коэффициенты и показатели степени, которые зависят от материала обрабатываемой детали, материала режущей части фрезы, а также типа проводимой обработки.

KMP – коэффициент, учитывающий влияние качества обрабатываемого материала на силовые характеристики.

Простой эксперимент, проведённый с использованием указанной выше формулы, показывает, что на стадии отделочной обработки деталей с помощью фрезерования металлов, обладающих различными физическими свойствами (чёрные и цветные металлы), с применением фрез разного диаметра (от 10 до 28 мм) и усилием, варьирующимся от 10 до 500 Н, результаты не зависят существенно от этих факторов.

Таким образом, результаты эксперимента, подтверждающие постоянную жёсткость, совпадают с данными, полученными в ходе других научных исследований в данной области.

Если с физическим износом оборудования можно справиться относительно быстро, заменив некоторые его компоненты, то для решения проблемы морального устаревания потребуются применение других подходов, связанных с обновлением программного обеспечения и модернизацией системы ЧПУ.

Испытания на точность позиционирования станка с ЧПУ

При производственном процессе на станке с ЧПУ, следует учитывать один из важных аспектов: точность обработки определяется тем, насколько точно была установлена деталь относительно основных рабочих узлов агрегата, режущих инструментов.

Параметр не может зависеть от протекающих в оборудовании физических явлений. Если нет в наличии представления о том, каковы параметры фактических цифр точности, невозможно точно просчитать все возможные температурные погрешности.

Если в работе находится новый агрегат, с которым были проведены все необходимые начальные настройки, нет необходимости предпринимать испытания прежде, чем пускать технику в эксплуатацию.

Но если предстоит работать со старой техникой, которая долго эксплуатировалась и конечно, износились его основные узлы и обрабатываемые инструменты, нарушились балансировки и про-

чие настройки, необходимо обязательно проводить испытания и обновление настроек точности позиционирования [10-14].

На рис. 5 показана схема испытания станка на точность позиционирования.

Данные действия были проведены по оси шпинделя, что является более приемлемым для специального станка, чтобы получить точные данные изысканий в области тепловой деформации.

На корпусе станка закрепили магнитный штатив, оснащённый индикатором МИГ с шагом деления 0.001 мм. Щуп индикатора был приведён в контакт с поверхностью узла шпинделя. Для устранения возможных расхождений и ошибок в работе вертикального привода фрезерного станка, проводилось более десяти циклов вращения головки, а также возвратно-поступательные движения вдоль оси Z. После каждого цикла головка возвращалась в исходное положение, где выполнялись контрольные замеры.

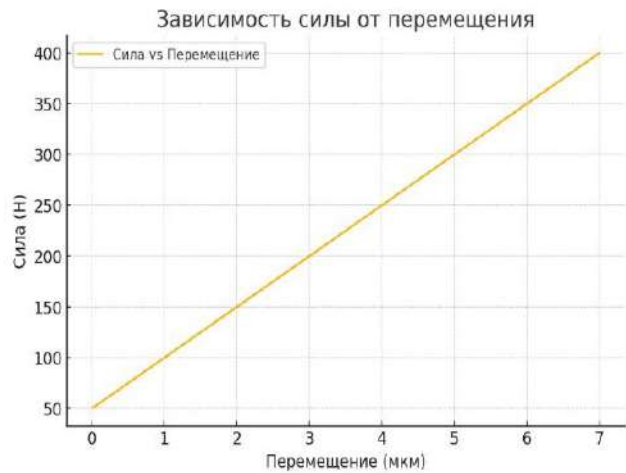


Рис. 4. Результаты испытания станка на жесткость

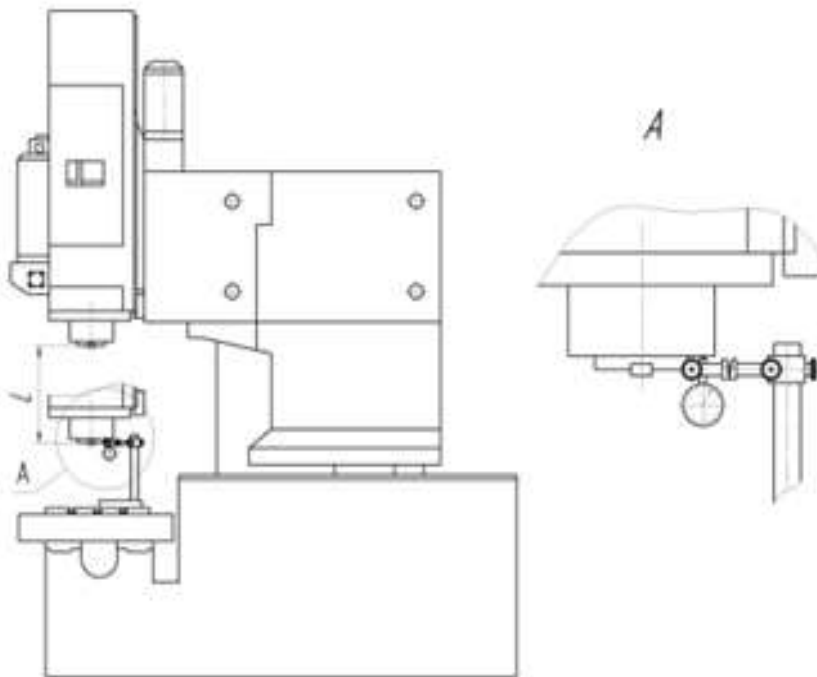


Рис. 5. Схема испытаний станка на точность позиционирования

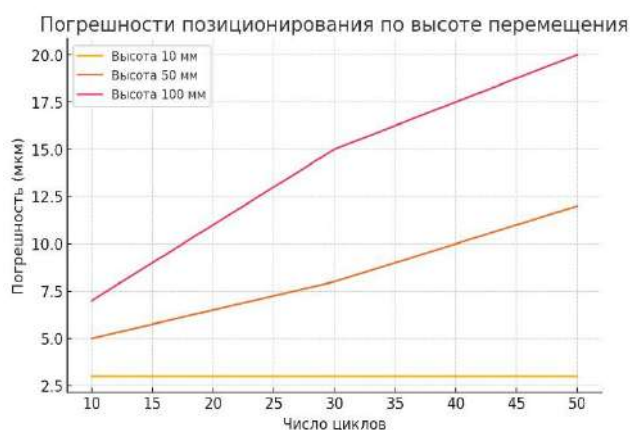


Рис. 6. Результаты испытаний станка на точность позиционирования вдоль оси шпинделя: 1 – перемещение на высоту 10 мм; 2 – перемещение на высоту 50 мм; 3 – перемещение на высоту 100 мм

Замеры были произведены по тем данным, которые получали при исследовании положений фланца шпинделя, которые происходили из-за движения головки, которая проводилась согласно настройкам программного обеспечения. Ранее было установлена высота L, отличающаяся от изначальной установки.

Во время эксперимента, шпиндельная бабка перемещалась по оси Z (10, 50, 100 мм). Все данные эксперимента можно увидеть на рис. 6.

Анализ данных показал, что при перемещении шпиндельной бабки на высоту около 10 мм наблюдалась незначительная погрешность позиционирования до 3 мкм, что остаётся в пределах допустимых значений, указанных производителем оборудования (5 мкм). Однако при перемещении узла на расстояние от 50 до 100 мм, с увеличением числа циклов (до 30), точность позиционирования начала выходить за пределы, предусмотренные техническими характеристиками.

После выполнения 50 циклов перемещений шпиндельной бабки, максимальные отклонения достигли почти 20 мкм, что существенно превышает допустимые параметры. На графике также видны возможные проявления тепловых эффектов, связанных с работой подающих приводов [5-10].

При обработке деталей на оборудовании, работающем в режиме холостого хода, погрешность позиционирования при движении частей по различным поверхностям и использовании разных инструментов составляет до 100 мкм. Цикл работы оборудования включает периодические запуски и остановки вращения, фиксацию заготовок на определённое время.

Для уточнения параметров точности позиционирования инструментов вдоль оси шпинделя было проведено несколько дополни-

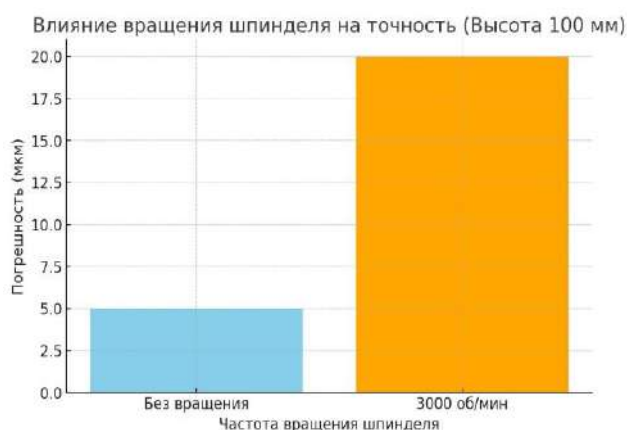


Рис. 7. Итоги исследований оборудования на точность позиционирования вдоль оси шпинделя при высоте отхода 100 мм: 1 – без вращения шпинделя; 2 – частота вращения шпинделя 3000 об/мин

тельных испытаний. В ходе эксперимента задержка при перемещении шпиндельной бабки на высоту 5 мм выполнялась с прокруткой и без неё.

Индикаторы оставались неподвижными, а движение шпиндельной бабки по оси Z на расстоянии 100 мм осуществлялось с помощью программного управления измерениями. После остановки на 5 мин деталь возвращалась в начальную точку до соприкосновения с индикатором. Результаты проведённого эксперимента представлены на рис. 7.

Рассмотрев полученные результаты экспериментов, которые проводились с целью определения точности позиционирования, определили, что на данный параметр воздействует позиция подвижных частей оборудования, размеры движений узлов, которые во многом зависят от размеров самой заготовки, параметров частоты вращения шпинделя. Также важно сказать о том, что для замеров температурной погрешности, следует принимать во внимание ту неточность, которая относится к точности позиции рабочих инструментов агрегата.

Проведённые исследования подтвердили, что точность и жёсткость станков с ЧПУ зависят от множества факторов, включая тепловые деформации, износ узлов и циклы нагружения. Линейная зависимость жёсткости от нагрузки позволяет точно прогнозировать деформации в рабочих условиях.

Точность позиционирования ухудшается с увеличением числа циклов и дистанции перемещения, что требует регулярных корректировок. Полученные результаты важны для оптимизации параметров работы оборудования и повышения его производительности.

Библиографический список:

1. Кольцов А.Г. «Диагностика технического состояния металлорежущего оборудования» // Омский научный вестник №3 (103) 2011.
2. Геренчук П.С., Колесов А.В. Техническая диагностика металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 2005.
3. Бачурин А.В. Диагностика состояния станков и технологического оборудования. – М.: Машиностроение, 1990.
4. Соколова Г.А., Дмитриев В.К. Контроль и диагностика оборудования: Учебное пособие для вузов. – СПб.: Политехника, 2012.
5. Ziling Zhang, Yujie Yang, Guowei Li, Yin Qi, Cong Yue, Yongli Hu, Ying Li. "Machining Accuracy Reliability Evaluation of CNC Machine Tools Based on Geometric and Vibration Errors." International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, 2022.
6. Wenjun Liu Song Zhang Jianghai Lin Yuhai Xia Jiexiang Wang Yingli Sun "Advancements in Accuracy Decline Mechanisms and Accuracy Retention of CNC Machine Tools." International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, 2022.
7. Wu H., Li X., Sun F. et al. A status review of volumetric positioning accuracy prediction theory and static accuracy design method for multi-axis CNC machine tools. Int J Adv Manuf Technol 122, 2139–2159 (2022).
8. Abdullin R.R., Bolshakov V.V., Podshibnev V.A., Rozhnin N.B., Samsonovich S.L. Comparative analysis of linear electromechanical steering drives with an autonomous hydraulic drive // 2021 Journal of Physics Conference Series.
9. ANSYS Inc. Contact Technology Guide; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2004.

10. ANSYS Inc. *Theory Reference for the Mechanical APDL and Mechanical Applications*; ANSYS Inc.: Canonsburg, PA, USA, 2009.
11. Karimova N., Ochilov U., Yakshiev Sh., Egamberdiev I., *Predictive maintenance of cutting tools using artificial neural networks*, XIV International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability (TITDS-XIV-2023), (2023).
12. Yakshiev Sh., Egamberdiev E., Mamadiyarov A., Ashurov Kh., Khamroev N. *Research on Engineering Structures and Materials* 9(1), 163-179 (2023).
13. Karimova N., Ochilov U., Tuyboyov O., Yakshiev Sh., Egamberdiev I. *Advanced surface roughness characterization using 3D scanning technologies and YOLOv4*, IV International Conference on Geotechnology, Mining and Rational Use of Natural Resources, (GEOTECH-2024), (2024).
14. Richard Budynas, Keith Nisbett. *Shigley's Mechanical Engineering Design* 10th Edition.

HT-250-01; HT-250 M

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ
ТОКАРНЫЙ СТАНОК**



NMZ
Вперед знания и технологии

АО «НГМК»
Производственное объединение
«Навийский 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

SINXRON GENERATORNING QO'ZG'ATISH CHO'LG'AMLARIDA HOSIL BO'LADIGAN QISQA TUTASHUVLARNI ANIQLASH



Narzullayev B.Sh.,
NDKTU «Elektr energetikasi»
kafedrası dotsenti, PhD



Boboqulov J.S.,
NDKTU «Elektr energetikasi»
kafedrası assistenti

Ushbu maqolada elektr stasiyalarda joylashgan sinxron turbogeneratorlarning rotor cho'lg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni real vaqt rejimida stator chulg'amlaridagi toklar, kuchlanishlar hamda qo'zg'alish toklarining qiymati orqali aniqlash usuli ishlab chiqilgan. Ushbu usulning boshqa usullardan farqi shundaki, sun'iy neyron tarmoqlarini qo'llash asosida sinxron turbogeneratorlarning qo'zg'atish chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarining sabablarini aniq tahlillar, natijalar va grafiklar ko'rinishida ko'rsatib asoslab berilgan. Ushbu ishlab chiqilgan usulni amaliyotga joriy qilishdan ko'zlangan maqsad, generatorlarning ishlash davrida qo'zg'atish cho'lg'amlarini izolyatsiyasini shikastlanishini, quvvat o'zgarishlarini, elektr tarmog'iga beriladigan kuchlanishning tushuvlari bilan bog'liq bo'ladigan avariylarini oldini olish orqali ularning normal ishlash davrini uzaytirish, texnologik jarayonning uzliksizligini ta'minlash, generatorning qismlariga sarflanadigan texnik – iqtisodiy xarajatlarni kamaytirish hamda iste'molchilarini uzliksiz elektr energiya bilan ta'minlashdan iboratdir.

Kalit so'zlar: tok, kuchlanish, generator, qo'zg'atish tizimi, tadqiqot, chastota, quvvat, stator, rotor, manba, o'ta yuklama, ta'minot, avariya, vektor, modellashtirish, elektromagnit, statik, dinamik, shikastlanish, nosimmetriya, faza uzilishi, koeffitsiyent, Matlab/Simulink.

В данной статье разработан метод определения коротких замыканий, возникающих в обмотках роторов синхронных турбогенераторов, расположенных на электростанциях, в режиме реального времени по значениям токов, напряжений и токов возбуждения в обмотках статоров. Отличие этого метода от других методов состоит в том, что на основе применения искусственных нейронных сетей обоснованы причины коротких замыканий синхронных турбогенераторов, возникающих в деиательных цепях, с указанием причин в виде точных анализов, результатов и графиков. Целью внедрения данного разработанного метода в практику является продление срока нормальной работы генераторов за счет предотвращения повреждений изоляции возбуждающих обмоток в период их работы, изменений мощности, аварий, связанных с падением напряжения, подаваемого в электрическую сеть, обеспечение непрерывности технологического процесса, снижение затрат на технику - экономические компоненты генератора и обеспечение бесперебойного электроснабжения потребителей.

Ключевые слова: ток, напряжение, генератор, система возбуждения, исследование, частота, мощность, статор, ротор, источник, перегрузка, питание, авария, вектор, моделирование, электромагнит, статика, динамика, повреждение, симметрия, фазовый переход, коэффициент, Matlab/Simulink.

Bugungi kunda iste'molchilarni elektr energiya bilan ta'minlashda issiqlik elektr stansiyalarining o'rni beqiyosdir.

Shunday ekan, turbogeneratorlarning ta'mirlashsiz ishlash vaqtlarini uzaytirish, shu bilan bir qatorda energiya samaradorligini oshirish bugungi kunning dolzarb vazifalaridan biridir.

Shu sababli, turbogeneratorlarning rotorida joylashgan qo'zg'atish chulg'amlarida qisqa tutashuvlar sababli sodir bo'ladigan avariylarni aniqlash bugungi kunda asosiy masalardan biri bo'lib kelmoqda.

Issiqlik hamda gidro elektr stansiyalarida joylashgan sinxron generatorlarining rotor qismida o'rnatilgan qo'zg'atish chulg'amlarida bugungi kunda izolyatsiyaning namligi yuqolishi, yemirilishi, elektr-mexanik va elektromagnit maydon o'zgarishlari, mexanik ta'sirlar hamda tashqi iqlim o'zgarishlari sababli tasodifiy avariylar ko'p uchrab turibdi [1].

Sinxron turbogenerator rotor chulg'amlarining buralish qismlarida vujudga keladigan nuqsonlarni aniqlash uchun sun'iy neyron tarmoqlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir.

Sinxron turbogeneratorning qo'zg'atish chulg'amlari o'zgarish bilan ta'minlanadi va (1) formula rotor chulg'amlarining magnit yurituvchi kuchni ifodalaydi:

$$F = I_f \omega \quad (1)$$

bu yerda, I_f – rotor toki.

Rotor chulg'amlarida nosozlik vujudga kelgan vaqtda generatorning magnit maydoni pasayadi, natijada, turbinaning aylantiruvchi kuchi o'zgarishiga olib keladi, bu esa Q reaktiv quvvatining qiymatiga ta'sir qiladi [2-4].

Reaktiv quvvat Q ga I_f bog'liq bo'lganligi sababli, qo'zg'atish tokining bir xil qiymatiga ega bo'lsa, magnit yurituvchi kuch (MYK) qiymati rotor chulg'amlarining bunilishlari soniga bog'liq.

Shunday qilib, rotor chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni aniqlashda generatorning o'zgaruvchan elektr parametrlari quyidagilardan iborat. Quyida keltirilgan parametrlar sun'iy neyron tarmoqlarining kirish neyronlari hisoblanadi:

P – aktiv quvvat;

Q – reaktiv quvvat;

I_s – stator toki;

U_s – stotordagi kuchlanishi;

I_f – rotorga beriladigan qo'zg'atuvchi tok [5, 6].

Tadqiqotni o'tkazishda sun'iy neyron tarmog'i tuzilishi (1-rasm) va sigmoidal funktsiya-sida (2-rasm) ish funktsiyasi sifatida tanlangan.

Sun'iy neyron tarmog'ining genetik tahlili usuli bugungi kunda boshqa usullarga nisbatan afzalligi shundaki yuqori tezlikda o'rganish va yaxshi aniq funksional aniqlash usuli bo'lib hisoblanadi [7-9].

Yuqoridagi keltirilgan rasmda sinxron generatorming qo'zg'atish chulg'amining burilish nuqtalaridagi vujudga keladigan buzulishlarni aniqlash algoritmi ko'rsatilgan. Ushbu sun'iy neyron tarmoqlari ma'lumotlarni yig'ish, mashtablash va qayta ishlashni amalga oshiradi.

Sun'iy neyron tarmoqlari ma'lumotlarini qayta ishlovchi neyronlar va ular orasidagi bog'lanishlar yordamida kodlangan beshta o'zgaruvchilardan $f(P, Q, I_f, U_s, I_s)$ iborat funktsiyani yaratadi. Sinxron generatorming kuchlanishi va hosil bo'ladigan magnit yurituvchi kuch, $U_g = const$ va $f = const$ o'zgarmas bo'ladi, qo'zg'atuvchi tok esa o'zgartiriladi. Sun'iy neyron tarmog'ining sigmoidal funktsiyasi bu matematik funktsiyalardan biri bo'lib, uning kirish qiymatlarini cheklangan oraliqga $[0, 1]$ yoki $[-1, 1]$ o'rgandi. Sigmoidal funktsiya neyron tarmoqlarda (2) faollashtirish funktsiyasi sifatida keng qo'llaniladi, chunki u nochiqliq (nonlinear) bog'lanishlarni ifodalaydi va signal-larni bosqichma-bosqich o'zgartiradi. Logistik sigmoidal funktsiya ifodasi:

$$G(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \quad (2)$$

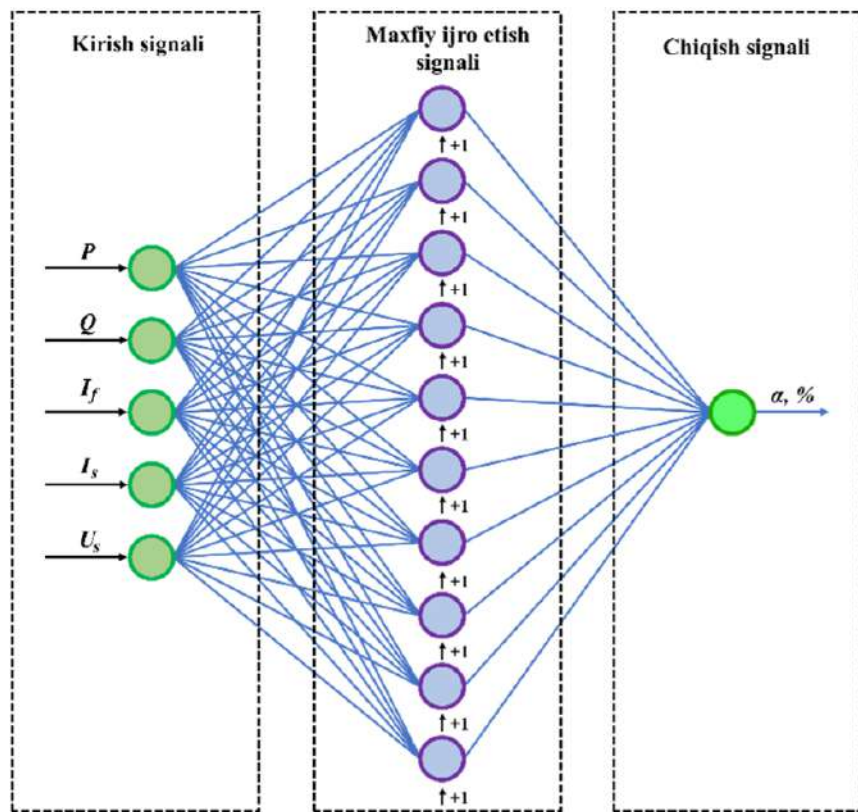
Bu yerda, G – genetik forma (sigmoid shakli), n – funktsiyaning tekshirish oralig'i bo'lib, u 0 yoki 1 ga to'g'ridan-to'g'ri teng bo'lmaydi, balki ularga cheksiz yaqinlashadi.

Sun'iy neyron tarmoqlarining afzalligi shundan iboratki ishlab chiqarish qurilmasining konstruktiv holatini hisobga olgan holda, neyron tarmoq modelini tuzishda faqatgina o'quv ma'lumotlari bo'limidan foydalanadi. Sun'iy neyron tarmog'i ishlash vaqtida yuqori chastotali shovqun ma'lumotlarini olish imkoniyati mavjud emas. Generatorming ishlab chiqarayotgan elektr parametrlaridan aktiv quvvat P , reaktiv quvvat Q , rotorning toki I_f , stator kuchlanishi U_s hamda statoridagi tok I_s larni sun'iy neyron tarmog'ining kirish signali hisoblanib generatorming qo'zg'atish chulg'amlarining burilishlarida vujudga keladigan nuqsonlarning sonini foiz sifatida ko'rsatadi [10-12].

Tadqiqot amalga ishirladigan diagnostika tizimining ishlash printsiplari 3-rasmda ko'rsatilgan. $DT1-DT3$ va $DN1-DN3$ datchiklar orqali olingan stator toklari va kuchlanishlari asosida hisoblangan aktiv va reaktiv quvvat DTV datchikidan olingan qo'zg'alish toki bilan birga sun'iy neyron tarmoqlarining kirish signaliga beriladi. Sun'iy neyron tarmoqlarining chiqish signali foizda α bilan belginib unda qo'zg'atish chulg'amida vujudga keladigan nuqsonlarning sonlarini ko'rsatadi.

Yuqorida keltirilgan rasmda diagnostika qilish sxemasi ko'rsatilgan bo'lib, unda sinxron generatorming ishlab chiqaradigan elektr energiyasining elektr parametrlari asosida sun'iy neyron tarmog'i orqali nazorat qilish imkoniyati yaratiladi.

Qo'zg'atish chulg'amida vujudga keladigan nuqsonlarni aniqlash uchun taklif etilgan usulning ishlashini tekshirish uchun Matlab/Simulink dasturiy paketidan foydalaniladi. Usulni qo'llash davomida stator va rotorning toki va kuchlanishlari to'g'risida ikkita ma'lumotlar to'planib olinadi.



1-rasm. Sun'iy neyron tarmog'ining strukturaviy sxemasi

Birinchi ma'lumotlar to'plami neyron tarmoqni 4, 10 va 30% chulg'amlararo qisqa tutashuvlar bilan aktiv va reaktiv quvvatda o'qitish uchun ishlatiladi [13].

Ikkinchi (nazorat) ma'lumotlar to'plamida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni aniqlashda tavsiya etilayotgan usulining ishlashi va ishonchligini aniqlash uchun virtual modellashtirishdan foydalanamiz (4-rasm).

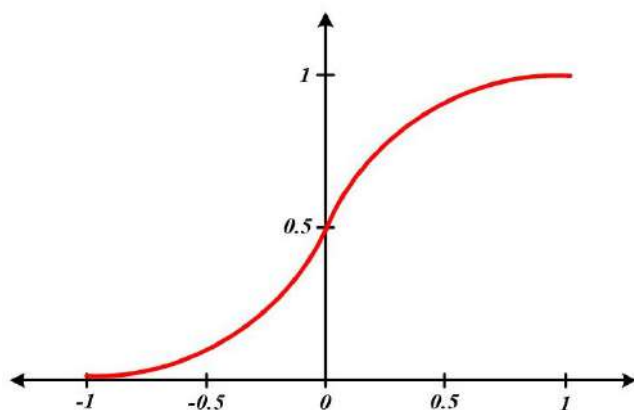
Yuqorida keltirilgan rasmda sinxron generatorming qo'zg'atish chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni Matlab/Simulink dasturida virtual modeli yaratilgan bo'lib, bu yerda, TVV-200-2A rusmidagi sinxron turbo generatorming ish rejimida olingan simulyatsiyasi ko'rsatilgan.

Ushbu model yordamida sinxron generatorming elektr mexanik jarayonlarini, jumladan, qo'zg'atish chulg'amlarida hamda rotor va stator chulg'amlarida tasodifan vujudga keladigan qisqa tutashuvlar natijasida paydo bo'ladigan elektromagnit o'zgarishlarni, tarmoq va iste'molchilarning nosemmitrik sharoitlariga bo'lgan ta'sirini aniqlash, shuningdek, energiya tizimlarining ishonchligini oshirish maqsadida optimallashtirilgan algoritmlarini ishlab chiqish imkoniyatini yaratish mumkin.

Yaratilgan virtual modelga kirish signallari sun'iy neyron tarmog'i yordamida kichik vaqtlarda tahlil qilinadi va natijasi kompyuter ekraniga uzatiladi.

Sinxron generatorming qo'zg'atish chulg'amiga beriladigan tok yordamida hamda turbinaning aylanish tezligi hisobiga ishlab chiqariladigan elektr energiyasining kuchlanishlarini Matlab/Simulink yordamida dasturlangan sun'iy neyron tarmog'i yordamida tahlili 5-rasmda ko'rsatilgan. Quyida keltirilgan grafikda Matlab/Simulink dasturida simulyatsiya jarayoni 0,08 sekundda amalga oshirilgan.

Ushbu yuqorida keltirilgan rasmda sinxron generator tomonidan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining kuchlanish o'zgarish grafiklari ko'rsatilgan bo'lib, grafikda generatorda vujudga keladigan uchta asosiy o'tkinchi jarayonini ko'zdatish mumkin. Bular:



2 – rasm. Sun'iy neyron tarmog'ining sigmoidal funksiyasi

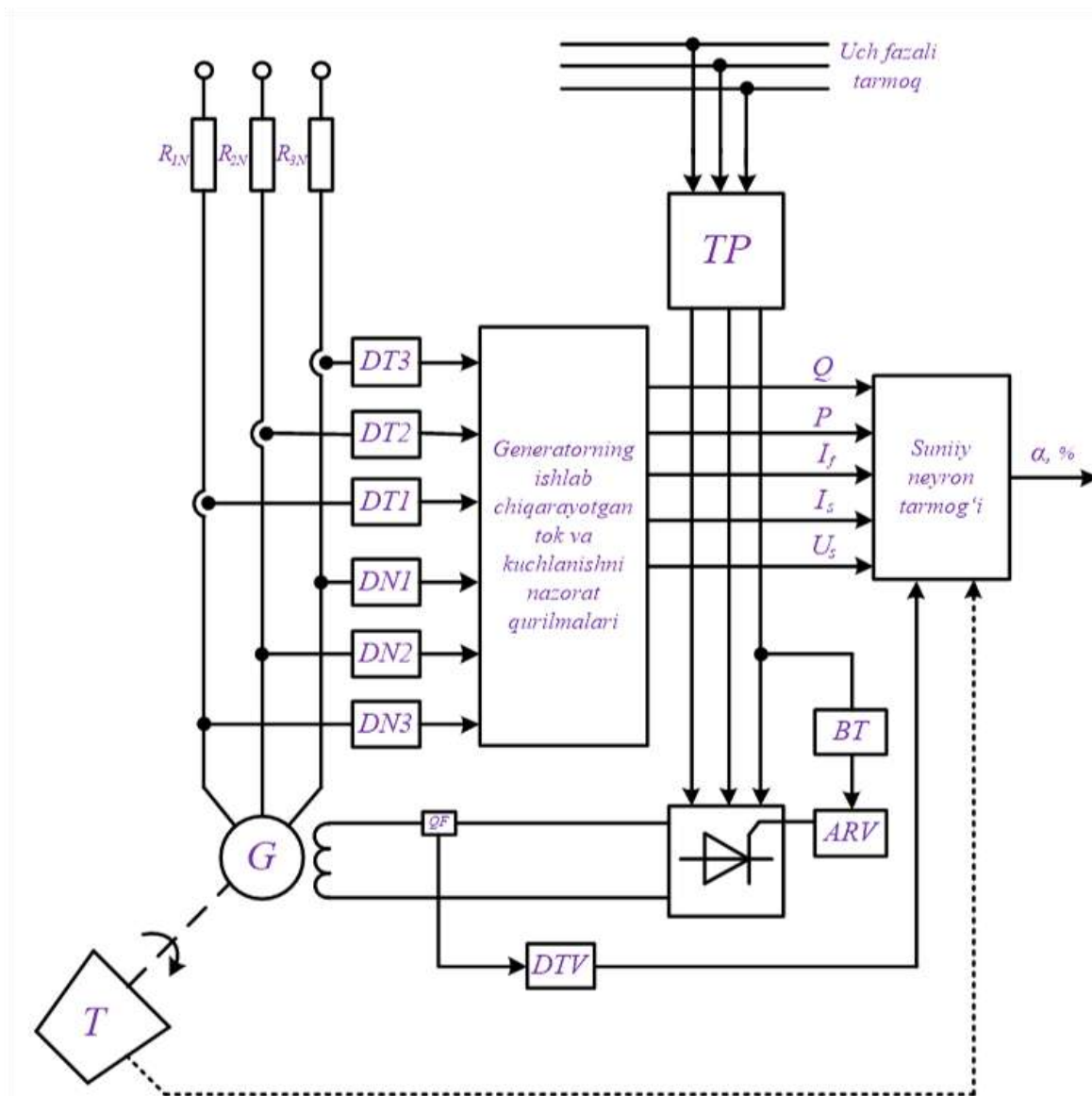
Ishga tushirish holati – bu holatda generatorming ishga tushish vaqti-da o'tkinchi jarayonni kichik holatini ko'zatish mumkin. Ushbu jarayonda kuchlanish o'zgarishlari sezilarli darajada noaniq bo'lib, amplituda va chastotaning dinamik o'zgarishi kuzatiladi.

Avariya rejimi – bu holatda generatorming qo'zg'atish chulg'amida yoki rotor, stator chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuv va boshqa avariya holatlarida paydo bo'lganda kuchlanishlarning o'zgarishlari ko'rsatilgan. O'tkinchi jarayon davomida amplitudaning keskin oshishi va yuqori chastotali buzulishlar aniqlanadi.

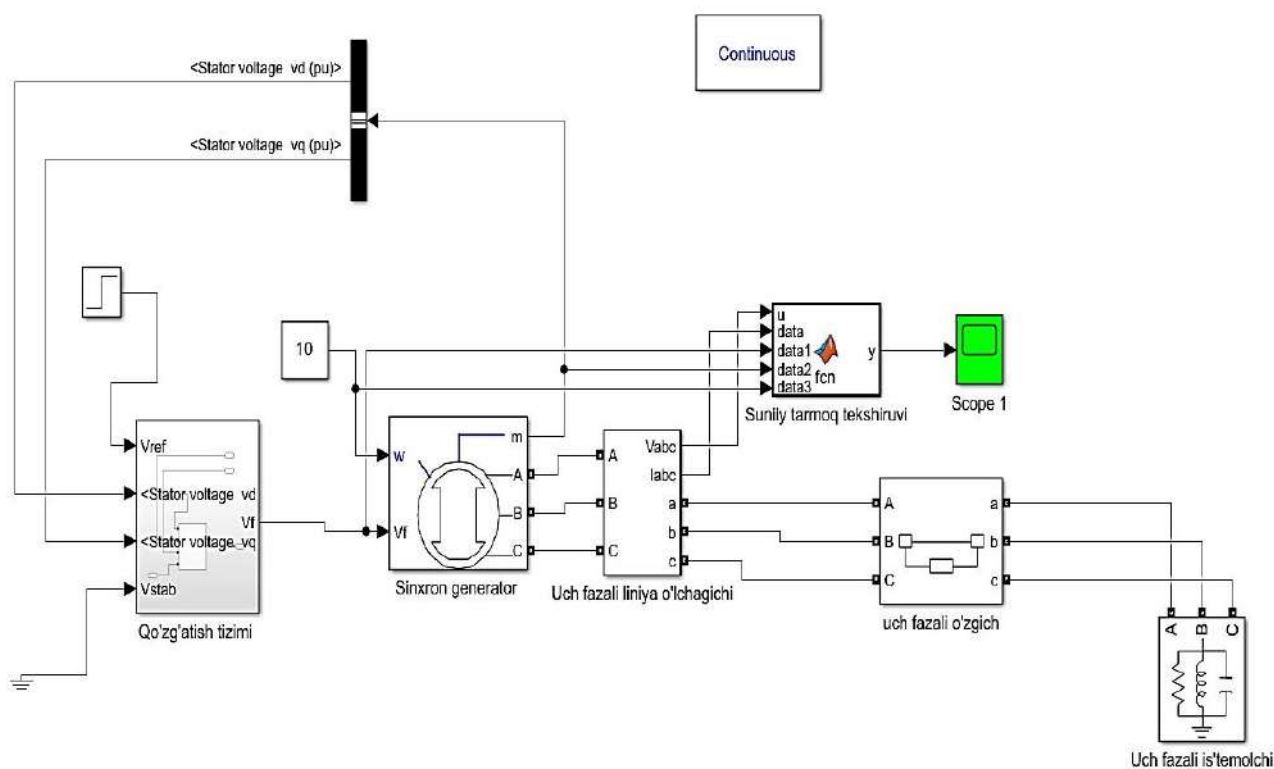
Normal ish rejimi – ushbu holatda generator barqaror ishchi rejim-idagi kuchlanishlar ko'rsatilgan. Bu kuchlanish sinusoidal shaklda bo'lib, amplituda va chastota barqarorligi ko'rsatilgan.

Sinxron generator tomonidan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasini tok bo'yicha o'zgarishi 6-rasmda ko'rsatilgan.

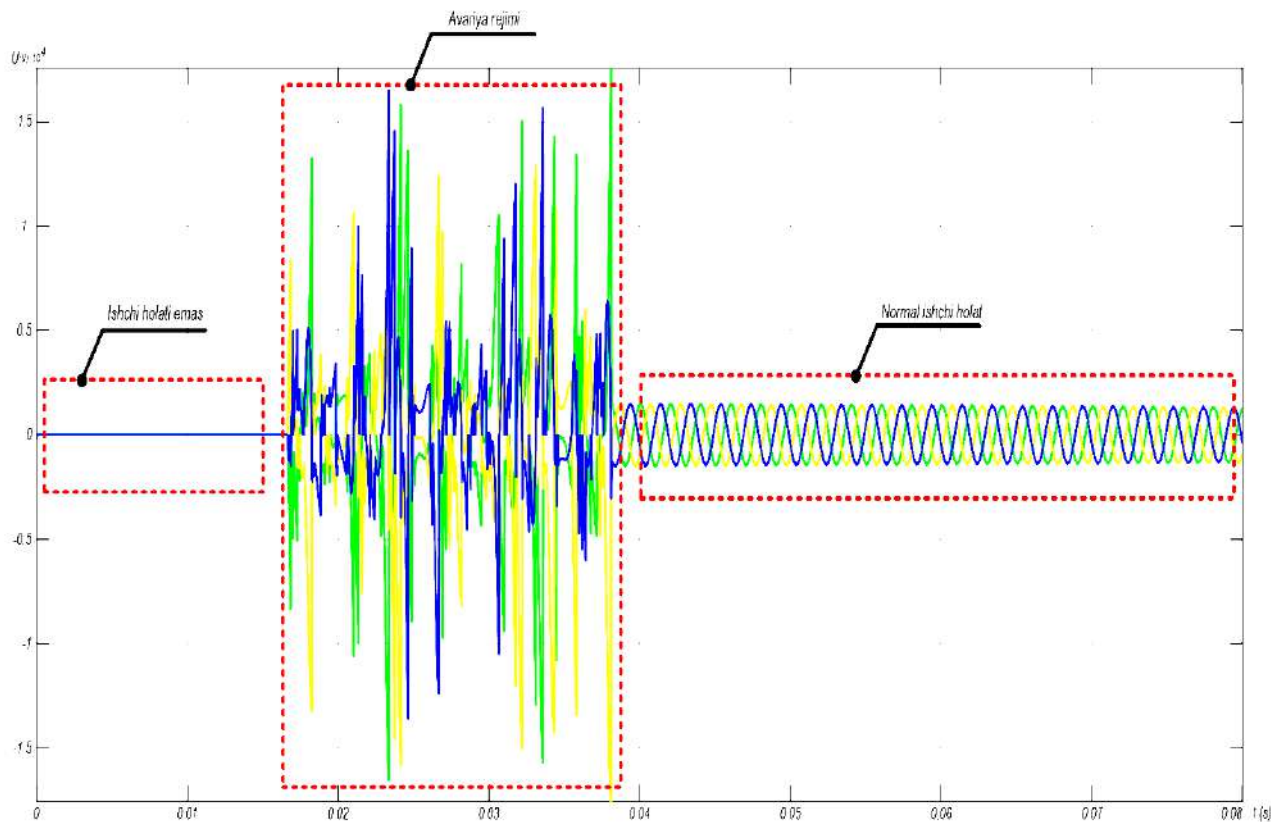
Ushbu yuqorida keltirilgan rasmda sinxron generator tomonidan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining stator tokining o'zgarish grafiklari ko'rsatilgan bo'lib, unda generatorming qo'zg'atish chulg'amlarining buralish nuqtalarida vujudga keladigan nuqsonlarini



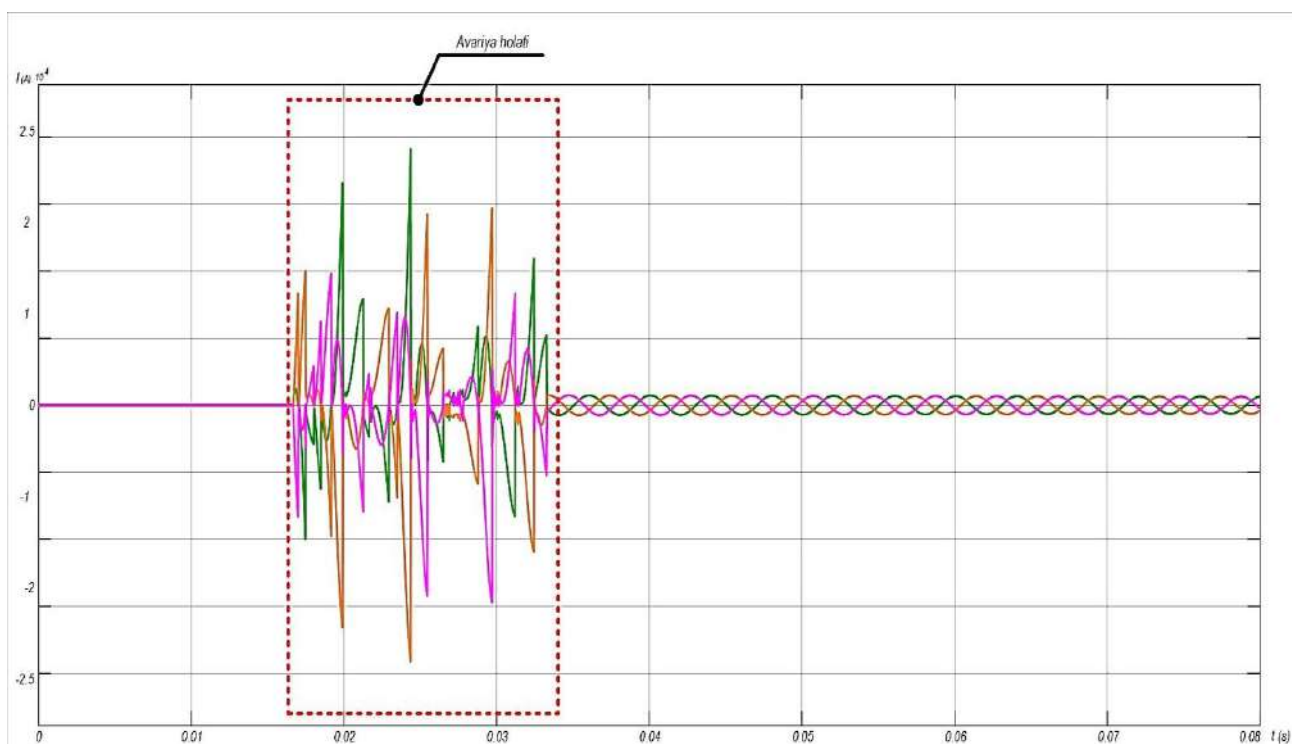
3-rasm. Sinxron generatorming qo'zg'atish chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni diagnostika qilish sxemasi



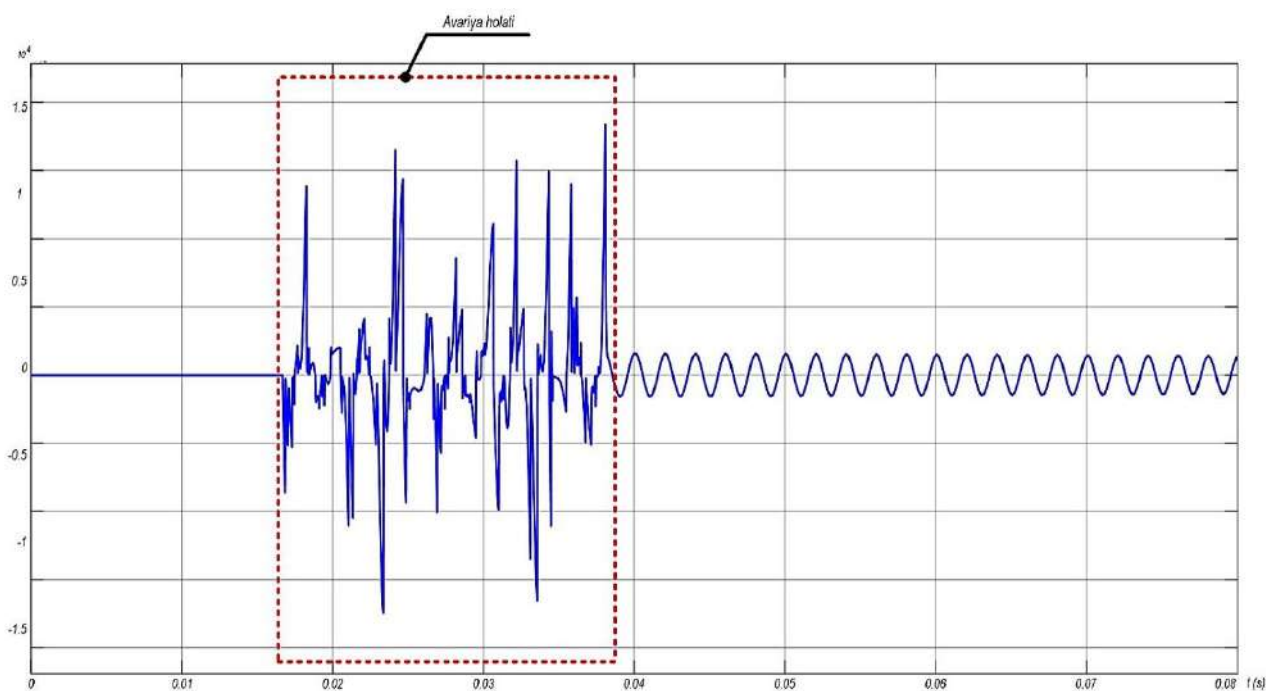
4-rasm. Sinxron generatorning qo'zg'atish chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni Matlab/Simulink dasturida virtual modeli



5-rasm. Sinxron generatorda ishlab chiqarilayotgan uch fazali kuchlanishning o'zgarish grafigi



6-rasm. Sinxron generatorda ishlab chiqarilayotgan uch fazali toking o'zgarish grafigi



7-rasm. Matlab/Simulink virtual dasturi orqali generator stator chulg'amlarida vujudga keladigan qisqa tutashuvlarning sun'iy neyron tarmoq tahlili

stator chulg'amlaridagi tok orqali ko'rish mumkin. Generatorning rotorida joylashgan qo'zg'arish chulg'ami orqali vujudga keladigan MYK chiziq-larining ayni usha buralish nuqtasidagi kesib o'tganda toklarning qiymatini 0,015–0,025 soniya oralig'ida keskin oshishini ko'rishimiz mumkin bo'ladi.

Virtual model yordamida sun'iy neyron tarmog'i yordamida olingan tahlil natijasi 7-rasmda ko'rsatilgan.

Yuqoridagi ketirilgan rasmda generatorda sodir bo'layotgan elektrmexanik hamda elektrmagnit maydon o'zgarish tahlillariga ko'ra sun'iy neyron tarmog'ining natijasi ko'rsatilgan. Bunda, Avariya holati

o'zgarish grafigi ko'rsatilgan bo'lib unda generatorni vaqtning har bir shu onida elektrmagnit maydoni o'zgarishi ko'zatiladi va natijada generatorni ishchi holati buzulishiga olib keladi. Bunday o'zgarishlar elektr ta'minoti tizimini barqaror ishlashiga salbiy ta'siri ko'zatilishi mumkin. Avariya holatini aniqlash orqali generatorning ishchi rejimi hamda elektr ta'minoti tizimining samaradorligini oshirish va kelajakda bunday nosozliklarning oldini olish choralarini ko'rilishi mumkin. Ushbu signalni vaqt bo'yicha tahlil qilish, nosozlik yuzaga kelgan vaqtni erta aniqlash va diagnostika qilish muhim ahamiyatga ega [14].

Xulosa qilib shuni aytilish mumkin-ki, eksperimental olingan tadqiqot natijalariga ko'ra, sinxron generatorning qo'zg'atish chulg'ami generatorning asosiy ishchi elementlaridan biri hisoblanar ekan. Shunday ekan,

sinxron generatorning qo'zg'atish chulg'amlarida tasadifan vujudga keladigan qisqa tutashuvlarni erta aniqlashda sun'iy neyron tarmoqlarini qo'llash asosida aniqlash tadqiqot natijalarida o'z isbotini topdi. Sinxron generatorlarni ishga tushirishda, nominal ish rejimiga o'tkazishda, tarmoq bilan parallel qo'shishda, normal ishchi rejimlarida hamda yuklama holatlarida generatorning qo'zg'atish chulg'amlarining elektr parametrlarini doimiy ravishda monitoring qilib, sodir bo'ladigan avariyalarni vaqtda bartaraf etish imkonini beradi.

Natijada, sinxron generatorning ta'mirlashsiz ish vaqtlarini uzaytirish, ishda ishonchligini ta'minlash, texnik iqtisodiy sarf-xarajatlarni va samarasiz sarflanadigan elektr energiyani kamaytirish hamda resurslarni tejashga erishiladi.

Bibliografik ro'yhat:

1. Глебов И.Я. Диагностика турбогенераторов. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1989. – 119 с.
2. Веников В.А. Переходные электрохимические процессы в энергетических системах. – М.: Высшая школа, 1978. – 415 с.
3. Галушко В.Н. Электрические машины. учеб. метод. пособие для самостоятельной проработки курса. М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, БелГУТ, 2015. – 117 с.
4. Самородов Ю.Н. Турбогенераторы. Аварии и инциденты // Техническое пособие. – М.: «ЭЛЕКС-КМ», 2008. – 488 с.
5. Бабуринов С.В., Жуковский В.Л., Коржев А.А., Кривенко А.В. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин // Горное оборудование и электромеханика. №9. – М.: «Новые технологии», 2009. – С.34-38
6. Ibrohimov U. Elektr mashinalari // Oliy o'quv yurtlari uchun darslik. 2-qayta nashr. – Toshkent: «O'qituvchi», 1988. – 372 bet.
7. Turdibekov K.X., Sulliev A.X., Iskandarova O.S., Boboqulov J.S. Experimental and statistical methods for studying the modes of electric power systems under conditions of uncertainty // «E3S Web of Conferences». № 1. – Vol. 452, EDP Sciences, 2023. – Pp.1-6.
8. Narzullayev B.Sh. Asinxron motorlarning energo-mexanik ko'rsatkichlarini monitoring asosida texnik holatini diagnostika qilishi. // Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi. – Toshkent, 2022. 52-61 betlar.
9. Qarshibaev A.I., Suyarov O.T., Narzullayev B.Sh., Rasulova B.I. Sanoat korxonalarining energiya iste'moli samaradorligini baholash. // Energiya va resurslarni tejash muammolari. – Toshkent, 2019. 365-369 betlar.
10. Qarshibaev A.I., Narzullaev B.Sh. Diagnostics of the Technical Condition of Energy Devices based on the Monitoring of Phase Voltages and Currents // Journal of Pharmaceutical Negative Results. 2022. – Pp. 2455-2460.
11. Narzullayev B.Sh., Tuykulov M.I. Analyzing of energy efficiency by installing solar panels on residential buildings and state institutions. // Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences. № 9. – T.: «Oriental Renaissance» – 2023. – Pp. 54-60.
12. Qarshibaev A.I., Narzullayev B.Sh. Tog'-kon sanoati korxonalarida energiya iste'molini boshqarish va operativ rejalashtirish darajasini oshirish. // Konmetallurgiya majmuasini innovatsion rivojlantirish istiqbollari mavzusidagi xalqaro ilmiy-texnik konferensiya materiallari. – Navoiy, 22-23 noyabr 2018. 439-440 betlar.
13. Boboqulov J.S., Narzullayev B.Sh., Mingboyev U.T. Sinxron generator stator cho'lg'amida xosil bo'layotgan kuchlanishni hisoblash dasturi. // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi. DGU 23696. – Toshkent, 2023.
14. Qarshibaev A.I., Narzullaev B.Sh., Murodov H.Sh. Models and methods of optimization of electricity consumption control in industrial enterprises. // Физический журнал. Том. 1679, № 1. – Красноярск, Россия: «Прикладная физика», 2020. – С. 1-6.



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

ELEKTR MOTOR ISHONCHLILIGINI OSHIRISHNING MAVJUD USULLARI TAHLILI



Qarshibayev A.I.,
NDK va TU «Energo-mexanika»
fakulteti dekani t.f.d., professor



Narzullayev B.Sh.,
NDK va TU «Energo-mexanika»
kafedrası dotsenti, PhD

Elektr motorlari konchilik hamda sanoat korxonalaridagi, mashina va mexanizmlarning yuritmalarini harakatga keltirishda asosiy element hisoblanadi. Shu sababli, elektr motorlarning xizmat davrlarini ta'mirlashsiz uzaytirish, ishlash jarayonida kelib chiqadigan avariylarni erta aniqlab ularni bartaraf etish orqali motorlarning ekspulatsion ishonchligini oshirish, tadqiqotchilarimiz oldidagi dolzarb vazifalaridan biri hisoblanadi. Shuningdek, Respublikamizda hamda jahonda ko'plab ilmiy tadqiqotchilar tomonidan elektr motorlarning ekspulatsion ishonchligini oshirish borasida bir nechta, ilmiy izlanishlar usullar ishlab chiqilgan. Mazkur maqolada, elektr motorlarning ekspulatsion ishonchligini oshirish borasida olib borilgan ilmiy izlanishlar, usullar tahlil qilingan. Tahlil natijalariga ko'ra, elektr motorlarning ekspulatsion ishonchligini oshirish bo'yicha ishlab chiqilgan usullarda noaniqliklar mavjudligi, motorlarning ishonchligini oshirishda ularga ta'sir qiluvchi ayrim parametrlar inobatga olinmaganligi bu esa, ishonchlik koeffitsientining pasayishiga olib kelishiga salbiy ta'sir ko'rsatishi mumkinligi ilmiy asoslab berilgan. Ushbu maqolada, elektr motorlarning ekspulatsion ishonchligini oshirish bo'yicha mavjud usullar takomillashtirilib, qo'shimcha tavsiyalar berilgan.

Tayanch iboralar: ekspulatsion, elektr motor, ishonchlik, texnologik, jarayon, mexanik, elektr ko'rsatkich, aktiv, induktiv, kritik, sirpanish, salt, generator, oqim, mutanosib, texnologik qurilma, stator, rotor, chulg'am, quvvat isrofi, iste'molchi, yurgizish momenti, izolyatsiya, parabolik, turg'un, vektor, elektromagnit, statik, dinamik, avariya, modellashtirish, nosimmetriya, faza uzilishi, koeffitsiyent.

Электродвигатели являются основным элементом на горнодобывающих и промышленных предприятиях, при приводе в движение машин и механизмов. Поэтому продление сроков службы электродвигателей без ремонта, повышение эксплуатационной надежности двигателей путем раннего выявления и устранения аварий, возникающих в процессе эксплуатации, является одной из актуальных задач, стоящих перед нашими исследователями. Также в нашей республике и в мире многими научными исследователями было разработано несколько методов повышения эксплуатационной надежности электродвигателей. В данной статье проанализированы научные исследования, методы повышения эксплуатационной надежности электродвигателей. По результатам анализа было дано научное обоснование, что существуют неточности в разработанных методах повышения эксплуатационной надежности электродвигателей, что при повышении надежности двигателей не учитываются некоторые параметры, влияющие на них, что может негативно сказаться на снижении коэффициента надежности. В данной статье даны дополнительные рекомендации, усовершенствованы существующие методы повышения эксплуатационной надежности электродвигателей.

Ключевые слова: эксплуатационный, электродвигатель, надежность, технологический, технологический, механический, электрический индикатор, активный, индуктивный, критический, скольжение, соль, генератор, ток, пропорциональный, технологическое устройство, статор, Ротор, трос, расход энергии, потребитель, ходовой момент, изоляция, параболический, стационарный, векторный, электромагнитный, статический, динамический, аварийный, моделирование, симметрия, фазовый переход, коэффициент.

Bugungi kunda Respublikamizning fan va texnologiyalar taraqqiyotida, konchilik hamda sanoat korxonalarida ishlab chiqarishning asosiy negizi hisoblangan elektr motorlarning, ish rejimlarini optimal boshqarish usullarini takomillashtirish, xizmat davrlarini ta'mirlashsiz uzaytirish, korxonadagi texnologik jarayonlarning kechikishini oldini olish, xususan ishlash jarayonida kelib chiqadigan avariylarni erta aniqlab ularni bartaraf etish orqali motorlarning ishonchligini oshirish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar ustuvor hisoblanadi.

Jahonning rivojlangan yetakchi mamlakatlaridagi konchilik korxonalarida ham elektr motorlarning xizmat muddatlarini uzaytirish, korxonalaridagi texnologik jarayonlarning buzilishini oldini olish bilan bir qatorda resurs va energiyani iqtisod qilish, energetika sohasida yangi avtomatlashtirilgan boshqaruv elektr tizimlarini yaratish, motorlarning texnik holatini kompleks diagnostika qilish asosida ularning ishonchligini oshirish bo'yicha tadqiqotchilar tomonidan ko'plab ilmiy izlanishlar olib borilib keng ko'lamli chora-tadbirlar amalga oshirilmoqda. Jumladan, jahon hamda respublikamiz ilmiy tadqiqotchilari va olimlari tomonidan elektr motorlarning ishonchligini oshirish borasida quyidagi usullar ishlab chiqilgan:

Elektr motorlarning ishonchligini oshirish tizimining ierarxik tuzilishi ishlab chiqilgan.

Elektr motorlarning ishonchligini oshirish borasidagi muammolar, bugungi kunda juda keng ko'lamli nazariy va amaliy masalalarni o'z ichiga oladi. Ushbu masalalarni hal qilishda hamda ishonchlikning zarur darajasini ta'minlash maqsadida kompleks yondashuvni ya'ni tizimli tahlilni qo'llash zarur bo'ladi [1].

Tizimli tahlil – bu turli muammolarni hal qilish uchun maxsus ilmiy va amaliy usullar to'plami hisoblanadi. Bu jarayon muammoning yechimini izlash, o'rganilayotgan tizimning faoliyat yo'nalishlarini belgilash va tashkil etishdan boshlanadi. Tizimli yondashuvni amalga oshirish o'rganilayotgan muammoni elementlarga bosqichma-bosqich ajratish usuli yordamida amalga oshiriladi. Tizimli tahlildan foydalanish ierarxik tuzilishni ishlab chiqish uchun to'liq usul va usullarni aniqlash imkonini beradi [2].

Tizimlarni tahlil qilish ob'ekti deyilganda, qoida tariqasida, murakkab tizim – yaxlit mavjudlikni ifodalovchi ko'plab o'zaro bog'langan elementlar to'plami tushiniladi. Tizimli tahlil usulidan foydalangan holda tizimli yondashuv asosida, elektr motorlarning sifatini ta'minlash va texnik

holatini baholashda ushbu usuldan foydalanish bo'yicha to'plangan tajribani hisobga olgan holda ierarxik model tuzildi (1-rasm).

Elektr motorlarning operatsion ishonchligini ta'minlashda ushbu model quyidagi taxminlar ostida to'rt darajani o'z ichiga oladi (1-jadval):

- tizim elektr motorni ishlab chiqarish jarayonining texnologik xususiyatlarini, ultratovush elementlari asosida ko'rib chiqadi;

- bir xil darajadagi tizim elementlari bir-biridan mustaqil holatda joylashgan bo'ladi.

Ierarxik modelini tashkil etuvchi darajalar haqida kengaytirilgan ma'lumotlar mavjud ishlanmalarda keltirilgan [3-6]. Yuqorida keltirilgan to'rt daraja elektr motorlarning eksploatatsion ishonchligini tashkil etuvchi elementlar orasidagi bog'liqlikni aniqlash imkonini beradi. Elektr motorlarning operatsion ishonchligini ta'minlash uchun ishlab chiqilgan ierarxik tuzilma, bizga har bir darajadagi elementlarning to'liq to'plamini o'rnatish, ular o'rtasidagi munosabatlar hamda motorning operatsion ishonchligining matematik modelini yaratish imkonini beradi.

Mazkur usulda tadqiqotchi yuqori natijalarga erishishiga qaramasdan, ushbu usul elektr motorlarning eksploatatsion ishonchligini oshirishda yetarlicha rol o'ynamaydi. Chunki, bunda tadqiqotchi motorning eksploatatsion ishonchligiga ta'sir qiluvchi asosiy omillardan biri – rotor elementlarining texnik holati bo'yicha ma'lumot beruvchi bazani shakllantirmagan hamda ierarxik modelini tuzishda bu omill e'tiborga olinmagan. Elektr motorlarning aylanuvchi qismi rotor elementlarida sodir bo'ladigan nuqsonlarni oldindan aniqlab bartaraf etilmasa, motorning ishlash jarayonida to'satdan avariyalar sodir bo'lib, bu jarayon motorning ishdan to'xtash holatlariga olib keladi. Motorning ish soatlari

soni uning ishonchligiga to'g'ri proporsionaldir, shu sababli ish soatlari soni kamayishi bilan motorning ishonchligi pasayaveradi.

Elektr motorlarning ishonchligini belgilovchi asosiy element uning stator chulg'am izolyatsiyasidir.

Elektr motorlarning stator chulg'amlarining ishonchligining birinchi modeli O.D. Goldberg tomonidan ishlab chiqilgan [7, 8]. Model stator chulg'amining o'ramlararo izolyatsiyasining ishonchligiga asoslangan. O'ramlararo izolyatsiyaning elementi sifatida emal va shimdiriluvchi izolyatsiyasi tarkibi bilan ajratilgan yonma-yon joylashgan juft o'ramlar ko'rib chiqilgan. Bunday holda, nosozlik qo'shni o'ramlarga qo'llaniladigan kuchlanish intervalgacha izolyatsiyaning teshish kuchlanishidan oshib ketganda sodir bo'ladi deb qaralgan.

Qo'llaniladigan kuchlanish va o'ramlararo izolyatsiyaning teshilish kuchlanishi tasodifiy o'zgaruvchilardir. Shunday qilib, o'ramlararo izolyatsiya elementining ishlamay qolish ehtimoli quyidagiga teng:

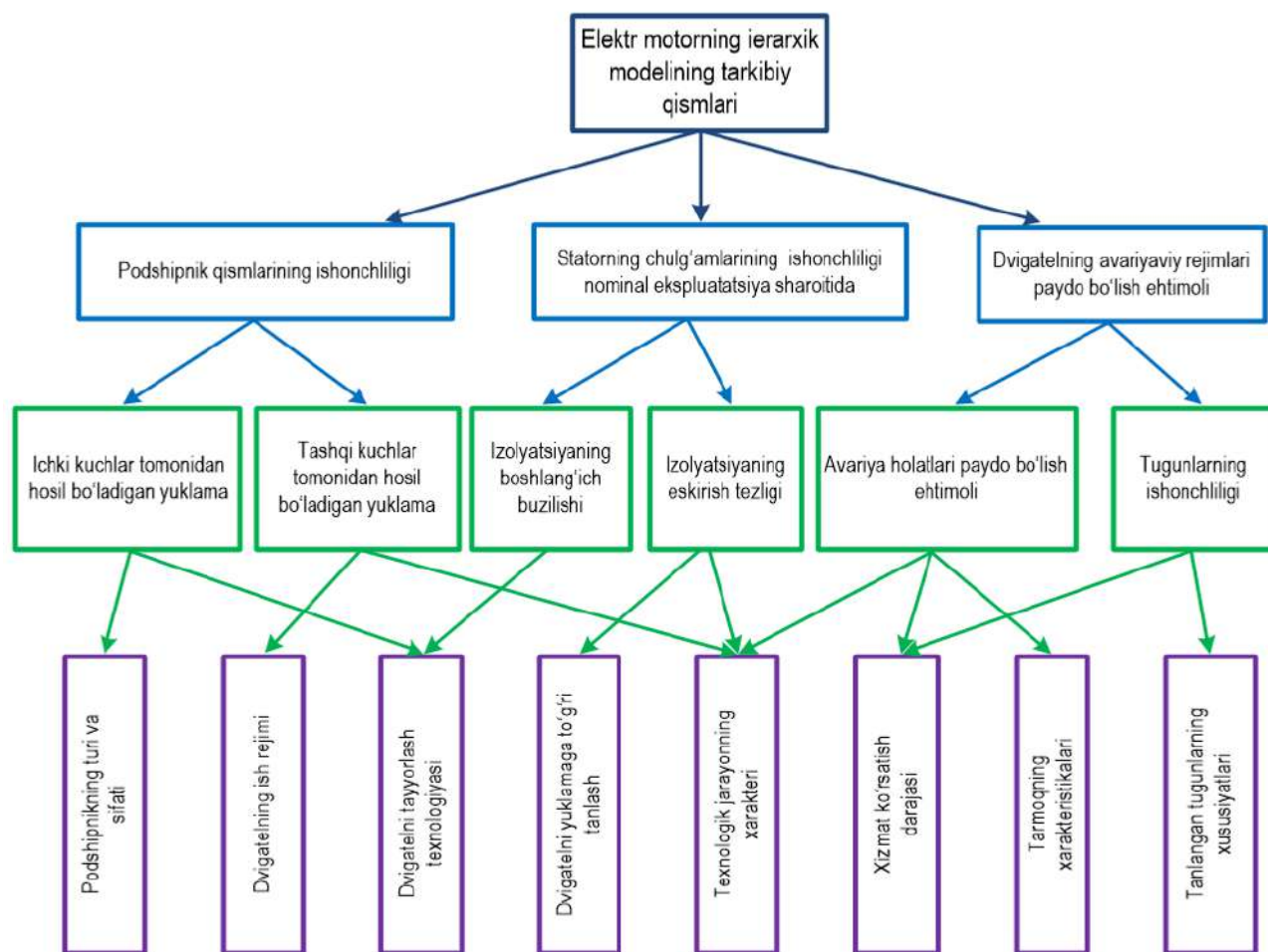
$$P_s = \int_0^{\infty} \int_{U_c}^{\infty} f(U_o) \cdot q(U_c) \cdot dU_o \cdot dU_c \quad (1)$$

bu yerda $q(U_c)$ – o'ramlararo qo'llaniladigan kuchlanishning taqsimlanish zichligi;

$f(U_o)$ – teshilish kuchlanishining taqsimlanish zichligi.

O'ramlararo (1) qo'llaniladigan kuchlanish hamda teshilish kuchlanishining taqsimlanish zichliklari orasidagi bog'liqlik grafigi keltirilgan (2-rasm).

N ta elementdan iborat stator chulg'am o'ramlarning normal ishlash

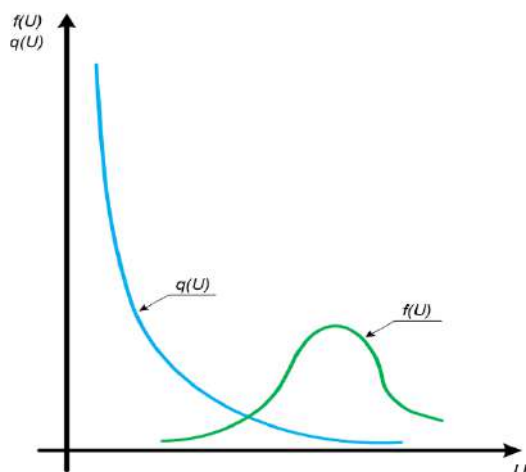


1-rasm. Elektr motorlarning ishlash ishonchligini ta'minlash tizimining ierarxik tuzilishi

1-jadval

Ierarxik modelini tashkil etuvchi to'rt daraja nomlari

| Darajalar | Darajalarning xarakteristiklari | Elementlar soni |
|-----------|--------------------------------------------------------------|-----------------|
| A | Asosiy maqsad – elektr motorlarning ishonchligini ta'minlash | 1 |
| B | Quyi tizimlar | 3 |
| C | Quyi tizim birliklari | 6 |
| D | Quyi tizim elementlari | 8 |



2-rasm. Elektr motor stator chulg'am o'ramlararo izolyatsiyasining ishonchlik modelining grafik ko'rinishi

ehtimoli quyidagi model asosida aniqlanadi [9, 10]:

$$P_e = \int q(U_e) \cdot [1 - F(U_e)]^n \cdot d(U_e) \quad (2)$$

bu yerda, $q(U_e)$ – qo'llaniladigan kuchlanishning ehtimoliy tarqalish zichligi;

$F(U_e)$ – o'ramlararo izolyatsiya teshilish kuchlanishining tarqalish funksiyasi.

Veybull taqsimoti o'ramlararo izolyatsiyasiga teshilish kuchlanishlarini (2) taqsimlash qonuni sifatida qabul qilingan [11]:

$$f(U_e) = \frac{\alpha}{U_0} \cdot U_e^{\alpha-1} \cdot \exp(-U_e/U_0)^\alpha \quad (3)$$

Keyinchalik, ko'p faktorli statistik rejalashtirilgan eksperimentni o'tkazish orqali U_0 va α teshilish kuchlanishining taqsimot qonunini para-

metrlarini hamda ish vaqti bilan bog'laydigan regressiya tenglamalari olinadi.

Qo'llaniladigan kuchlanishning taqsimlanish zichligi $q(k)$ ham eksperimental tadqiqotlar asosida olingan (k – kommutatsiya kuchlanishlarining ko'pligi).

Eksperimental olingan ma'lumotlarga asoslanib, (3) kommutatsiyaning haddan tashqari kuchlanishlari bo'limlar va qatorlardagi o'ramlar bo'ylab teng taqsimlanadi deb taxmin qilingan.

Stator chulg'am o'tkazgichlarining noteks taqsimlanishi quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$P(L_i) = \frac{\ln \frac{s}{l}}{0.98 \cdot s - 1.6} \quad (4)$$

bu yerda $P(L_i)$ – L_i tartib raqamlari farqi bilan o'tkazgichlarning paz ichida bo'lish ehtimoli;

s – bo'limdagi o'tkazgichlar soni [12].

Ushbu ishonchlik (4) modelining afzalligi uning mantiqiy tuzilishi hamda adekvatlik darajasi yuqori ekanligida. Model asosida elektr motorlarning ishonchligini baholashning hisoblash va eksperimental usullari ishlab chiqilgan.

Ushbu modelning kamchiligi shundaki, U_0 va α teshilish kuchlanishining taqsimot qonunini parametrlarini hamda ish vaqti bilan bog'laydigan regressiya tenglamalarini olishda ko'p mehnat hamda vaqt talab qiladigan tajribalar o'tkazilishidadir.

Shuning uchun ushbu model yordamida elektr motorlarning ishonchligini oshirish usullarini ishlab chiqish chegaralangan.

Yuqoridagi tahlil natijalaridan kelib chiqib, shuni xulosa qilishimiz mumkin, elektr motorlarning ishonchligini oshirishda quyidagi tavsiyalar ishlab chiqildi hamda berildi:

- elektr motorlarning ish sharoitlaridan kelib chiqib, ularning ishlash jarayonida sodir bo'ladigan avariylarning kelib chiqishiga sababchi bo'lgan omillarni inobatga olgan holda motorni to'g'ri tanlash metodologiyasini ishlab chiqish;

- elektr motorning ishonchligiga ta'sir qiluvchi omill stator chulg'amlarining izolyatsiya holatini dagnostika qilish tizimini takomillashtirish;

- motor podshipniklarining yemirilish jarayonini, stator va rotor o'rtalarida paydo bo'ladigan magnit maydonga ta'sirini baholash hamda qoldiq muddatini aniqlash uslubini ishlab chiqish;

- elektr motorlarning ishonchlik ko'rsatgichlarini bashoratlash tizimlarini yaratish hamda uning dasturiy ta'minotini ishlab chiqish.

Bibliografik ro'yxat:

1. Бейко И.В., Бублик Б.Н., Зинько П.Н. Методы и алгоритмы решения задач оптимизации. – К.: Вища школа, 1983. – 152 с.
2. Бабуринов С.В., Жуковский В.Л., Коржев А.А., Кривенко А.В. Современные методы неразрушающего контроля и диагностики технического состояния электроприводов горных машин // Горное оборудование и электромеханика. №9. – М.: "Новые технологии", 2009. – С. 34-38
3. Грундулис А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве. – М.: Агропромиздат, 1988. – 111 с.
4. Галушко В.Н. Электрические машины. учеб. метод. пособие для самостоятельной проработки курса. М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, БелГУТ, 2015. – 117 с.
5. Похолоков Ю.П. Разработка методов исследования, расчета и обеспечения показателей надежности и долговечности изоляции обмоток асинхронных двигателей: Автореф. дис. доктора техн. наук. – М., 1978. – 39 с.
6. ОСТ 0.800.821-88. Машины электрические асинхронные мощностью свыше 1 кВт до 400 кВт включительно. Двигатели. Надежность. Расчетно-экспериментальные методы определения. ГОСТ 31605-2012. 01.01.2015 г.
7. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин // Учеб. для вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 250 с.
8. Гольдберг О.Д. Качество и надежность асинхронных двигателей // Учеб. для вузов. – М.: Энергия, 1968. – 176 с.
9. Narzullayev B.Sh. Asinxron motorlarning energo-mexanik ko'rsatkichlarini monitoring asosida texnik holatini diagnostika qilishi. // Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi. – Toshkent, 2022. – 52-61 betlar.
10. Гольдберг О.Д. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей в сельском хозяйстве // Электротехника. № 1. – М.: – 1984. – 22-23 с.
11. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
12. Boboqulov J.S., Narzullayev B.Sh., Mingboyev U.T. Sinxron generator stator cho'lg'amida xosil bo'layotgan kuchlanishni hisoblash dasturi. // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi guvohnomasi. DGU 23696. – Toshkent, 2023.

HARORAT VA UGLEROD KONSENTRATSIYASIDAGI DINAMIK O'ZGARISHLAR ASOSIDA FAZALARNING KINETIKASI VA TERMODINAMIK MODELLASHTIRILISHI (THERMOCALC DASTURI YORDAMIDA)



Egamberdiyev I.P.,

NDKKTU «Sanoat ishlab chiqarishlarini mahalliyashtirish» kafedrasini professori, DSc



Hamroyev N.N.,

NDKKTU «Sanoat ishlab chiqarishlarini mahalliyashtirish» kafedrasini doktoranti



Ashurov X.X.,

NDKKTU «Sanoat ishlab chiqarishlarini mahalliyashtirish» kafedrasini doktoranti



Eshmuradov N.S.,

«NKMK» AJ NMZ IChB «Innovatsion texnologiyalar» bo'limi muhandis texnologi

Tog'-kon sanoati atrof-muhitni o'zgarishiga va tog'-kon sanoati joylashgan hududlarining tabiiy komplekslariga geokimyoviy ta'sir Mazkur tadqiqot ishida tarkibida C 2-3 %, Cr 15-30 % bo'lgan Fe-Cr-C tizimidagi material tahlili o'tkazilgan. Turli haroratlarda yuqori xromli cho'yanlarning muvozanat fazasi turlari Thermo-Calc dasturi ta'minoti yordamida bashorat qilindi hamda Cr, C miqdorining fazaviy diagrammaga ta'sirini muhokama qilindi. Fe-Cr-C tizimidagi qotishmada kimyoviy tarkibi Cr – 31 %, C – 2,6 %, Cr – 30 %, C – 3,1 %, Cr – 28 %, C – 2,58 %, Cr – 17,5 %, C – 2,88 % bo'lgan materiallar 200-1000°C harorat oralig'ida bosim 1 atm, tizimi hajmi 1 mol Single point, One Axis va Phase Diagram bo'limlari orqali tahlillar olindi. Cr-30 va Cr-31 kompozitsiyalarida yuqori xrom miqdori (mos ravishda C – 3,1 % va C – 2,6 %) karbid miqdorining yuqori qiymatlarda saqlanishiga olib keladi. Bu hodisa xromning karbidlarni barqarorlashtirishdagi ta'sirini tasdiqlaydi, chunki xrom yuqori termodinamik barqarorlikni ta'minlaydi va karbidlarning yuqori haroratlarda ham saqlanishini qo'llab-quvvatlaydi. Fazalarning shakllanish kinetikasi termodinamik imkoniyatlar bilan chegaralanadi. Yuqori haroratda austenitning stabil sohasida kinetik energiya yetarli bo'lgani uchun uglerod atomlari tez diffuziya qiladi va faza o'zgarishlari tez sodir bo'ladi. Past haroratda esa kinetik energiyaning kamayishi jarayonni sekinlashtiradi, natijada karbidlar cho'kadi, lekin ularning to'liq shakllanishi ko'p vaqt talab etadi. Shuningdek, materialning kristall tuzilishi va diffraktsion cheklovlari karbidlar shakllanishining geometrik yo'nalishini belgilaydi

Kalit so'zlar: Thermo-Calc, fazaviy diagramma, diffuziya, yuqori xromli cho'yan, fazalar kinetikasi, entalpiya, Gibbs energiyasi, fazaning hajmiy ulushi, abraziv yeyilish, ikkilamchi karbid, ko'p komponentli material, stabilashtirish, metallografik tahlil.

В данной исследовательской работе был проведен анализ материала системы Fe-Cr-C с содержанием C 2-3 % и Cr 15-30 %. С помощью программы Thermo-Calc предсказаны равновесные типы фаз высокохромистого чугуна при различных температурах и обсуждено влияние содержания Cr, C на фазовую диаграмму. Материалы химического состава Cr-31 % C – 2,6 %, Cr – 30 %, C – 3,1 %, Cr – 28 %, C – 2,58 %, Cr – 17,5 %, C – 2,88 % в сплаве системы Fe-Cr-C. Анализы были получены с помощью сечений Single point, One Axis va Phase Diagram в диапазоне температур 200-1000°C, давления 1 атм., объема системы 1 моль. Высокое содержание хрома в составах Cr – 30 и Cr – 31 (C – 3,1% и C – 2,6 % соответственно) приводит к поддержанию содержания карбидов на высоких значениях. Это явление подтверждает влияние хрома на стабилизацию карбидов, поскольку хром обеспечивает высокую термодинамическую стабильность и поддерживает сохранность карбидов даже при высоких температурах. Кинетика фазообразования ограничена термодинамическими возможностями. Благодаря достаточной кинетической энергии в стабильной зоне аустенита при высокой температуре атомы углерода быстро диффундируют и быстро происходят фазовые изменения. При низкой температуре уменьшение кинетической энергии замедляет процесс, в результате чего карбиды выпадают в осадок, но полное их образование занимает длительное время. Кроме того, кристаллическая структура и дифракционные ограничения материала определяют геометрическое направление образования карбидов.

Ключевые слова: Thermo-Calc, фазовая диаграмма, диффузия, высокохромистый чугун, фазовая кинетика, энтальпия, энергия Гиббса, объемная доля фазы, абразивная стойкость, вторичный карбид, аустенит, многокомпонентный материал, стабилизация, металлографический анализ, влияние химических элементов.

Jahonda bugungi kunning muhim vazifalaridan biri quyimakorlik usulida olinayotgan metal va qotishmalar mustahkamligini oshirish, mexanik va ekspluatatsion xossalarni yaxshilash orqali iqtisodiy samaradorligini yuksaltirish yetakchi o'rinlarni egallaydi [1]. Dunyo miqyosida bu sohada maqsadli ilmiy-tadqiqotlar jumladan, termik ishlov berishning yangi meyorlarini ishlab chiqish va foydalanish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Yuqori xromli cho'yanlar asosiy yeyilishga bardoshli material hisoblanadi. Yetarlicha yeyilishga qarshiligi va mikrostrukturada qattiq karbidlarning mavjudligi tufayli yuqori xromli cho'yanlar mashinasozlik, metallurgiya va tog'-kon sanoati kabi sohalarda keng qo'llaniladi. Uning

bunday ekspluatatsion xususiyati termik ishlov berilgandan keyin martensit va oz miqdorda saqlanib qolgan austenitdan tashkil topgan matritsada taqsimlangan katta miqdordagi yuqori qattqlikdagi M_7C_3 karbidlari hisobiga to'g'ri keladi [2, 3]. Biroq bu turdagi materiallardan foydalanish sohalari cheklangan va olimlar ushbu muammoni bartaraf etish yo'llarini qidirishmoqda. Shuning uchun turli omillarning abraziv yeyilishga ta'sirini o'rganish, metallarning abraziv chidamligini yaxshilash va yangi yeyilishga bardoshli qotishmalarni ishlab chiqish hozirgi tog'-kon mashinasozligi va metallurgiyaning asosiy vazifalaridan biri hisoblanadi. Yuqori xromli oq cho'yanlarning xususiyatlariga ko'ra, agar uning kimyoviy tarkibi nazorat qilinsa va to'g'ri termik ishlov berish

rejimlari tanlansa, yuqori xromli ushbum materialning abraziv yeyilishga qarshiligi va qattiqligi boshqa ko'plab uglerodli po'latlarga qaraganda yaxshiroqdir.

Metod va metodologiya. Mazkur tadqiqot ishida tarkibida C 2-3 %, Cr 15-30 % bo'lgan Fe-Cr-C tizimidagi material tahlili o'tkazilgan. Turli haroratlarda yuqori xromli cho'yanlarning muvozanat fazasi turlari Thermo-Calc dasturi ta'minoti yordamida bashorat qilindi hamda Cr, C miqdorining fazaviy diagrammaga ta'siri muhokama qilindi. Thermo-Calc dasturiy ta'minoti eruvchanlik chegaralari, faza diagrammalari, faza shakllanishi, fazaga o'tish, harorat o'zgarishi, faza tarkibi va miqdori kabi xususiyatlarni tushunish uchun material tizimining termodinamik xususiyatlarini hisoblash uchun CALPHAD usulidan foydalanadi. CALPHAD moddiy tizimning termodinamik funksiyalarini olish uchun kimyoviy tarkib va harorat polinomiali sifatida ifodalangan o'rnatilgan eksperimental ma'lumotlardan foydalanadi va keyinchalik ularni ma'lumotlar bazasida saqlaydi [4]. Keyinchalik ma'lumotlar bazasi turli xil materiallar xususiyatlari uchun harorat va kompozitsion funksiyalarni ta'minlash uchun ishlatiladi. Bu yuqori xromli oq cho'yanlarning tadqiq qilish va rivojlantirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Tahlil jarayoning birinchi bosqichi yagona muvozanat bo'limi orqali amalga oshirildi. Ushbu turdagi hisob-kitoblar muayyan shartlar to'plami uchun muvozanatni hisoblash imkonini beradi. Hisoblash natijalari ushbu sharoitlarda shakllanishi bashorat qilingan barqaror fazalarni, shuningdek, ushbu bosqichlarning tarkibini ko'rsatadigan jadval shaklida taqdim etiladi. Fe-Cr-C tizimidagi qotishmada kimyoviy tarkibi Cr – 31 %, C – 2,6 %, Cr – 30 %, C – 3,1 %, Cr – 28 %, C – 2,58 %, Cr – 17,5 %, C – 2,88 % bo'lgan materiallar 200-1000°C harorat oralig'ida bosim 1 atm, tizimi hajmi 1 mol Singli point, One Axis va Phase Diagram bo'limlari orqali tahlillar olindi. Singli point bo'limi Cr, C miqdori va haroratning o'zgarishi natijasida hosil bo'ladigan stabil va metastabil fazalar, ularning hajmiy ulushlari, entalpiya qiymati, Gibbs energiyasi va fazalar tarkibida kimyoviy elementlarning miqdorlarini aniqlash imkonini beradi.

Natija va muhokamalar. 1-rasmda M_7C_3 va $M_{23}C_6$ karbidlarining hosil bo'lishi, harorat va kimyoviy tarkib o'zgarishi natijasida hajmiy ulushining o'zgarishi keltirilgan. 1a-rasmda harorat oshgani sayin M_7C_3 miqdorining dastlab ortib, keyinchalik pasayishi ko'zga tashlanadi. Bu jarayon past haroratlarda diffuziya tezligining nisbatan pastligi sababli karbidning kristallanish jarayoni faolroq bo'lishiga ishora qiladi. Oraliq haroratlarda, ayniqsa 400-600°C diapazonida, maksimal karbid miqdori kuzatiladi, bu esa rekristallanish va karbidlarning o'sish jarayonlari bilan izohlanishi mumkin. 800°C va undan yuqori haroratlarda esa karbid miqdori kamayadi, bu esa yuqori haroratlarda karbidlarning erishi yoki disotsiatsiyasiga sabab bo'lishi mumkin. Cr-31, Cr-30, Cr-28 va Cr-17,5

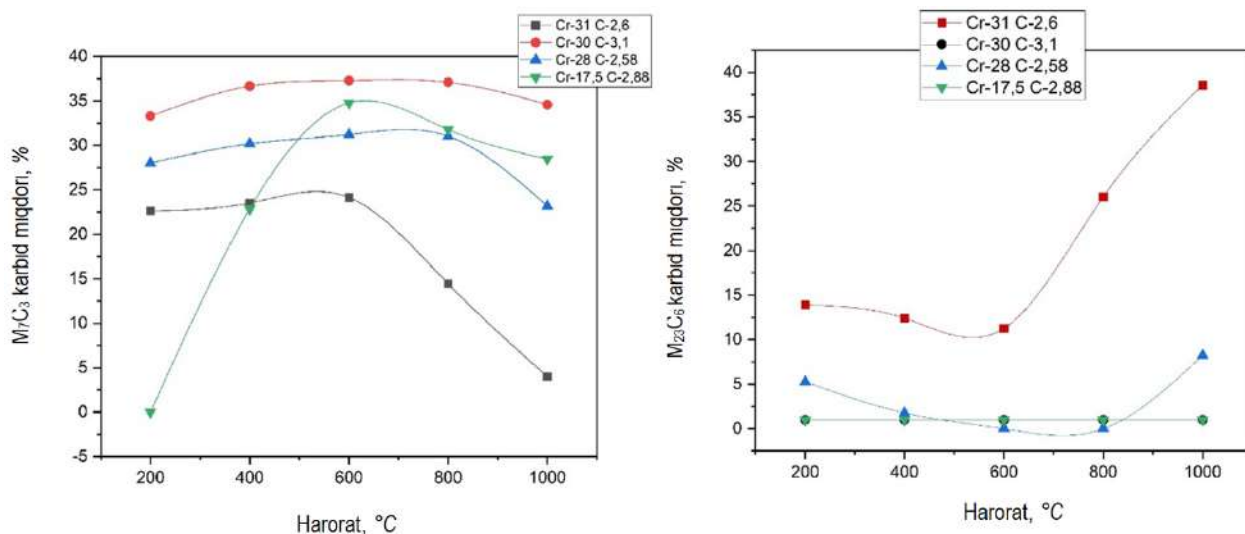
materiallarda xromning konsentratsiyasi M_7C_3 miqdoriga sezilarli ta'sir qilmoqda. Ayniqsa Cr-30 va Cr-31 kompozitsiyalarida yuqori xrom miqdori (mos ravishda C – 3,1% va C – 2,6 %) karbid miqdorining yuqori qiymatlarda saqlanishiga olib keladi. Bu hodisa xromning karbidlarni barqarorlashtirishdagi ta'sirini tasdiqlaydi, chunki xrom yuqori termodinamik barqarorlikni ta'minlaydi va karbidlarning yuqori haroratlarda ham saqlanishini qo'llab-quvvatlaydi. Bu xulosa xromli qotishmalarda M_7C_3 fazasining yuqori issiqlikka chidamliligi uchun muhim ilmiy asos yaratadi [5].

Undan tashqari Cr-17.5, Cr-28 va Cr-31 konsentratsiyalari orasida harorat va M_7C_3 miqdori o'rtasidagi optimal nuqtalar mavjudligi kuzatiladi. Cr-17.5 kompozitsiyasi uchun maksimal M_7C_3 miqdori 600°C da kuzatilsa, Cr-30 va Cr-28 kompozitsiyalarida yuqori haroratlarda maksimal qiymatlar saqlanadi. Bu har bir qotishma uchun o'ziga xos mikrostrukturaviy barqarorlik sharoitlari mavjudligini ko'rsatadi va harorat bilan bog'liq diffuziya, faza o'zgarishi kabi jarayonlarning qotishmaning kimyoviy tarkibiga bog'liq ekanligini ta'kidlaydi.

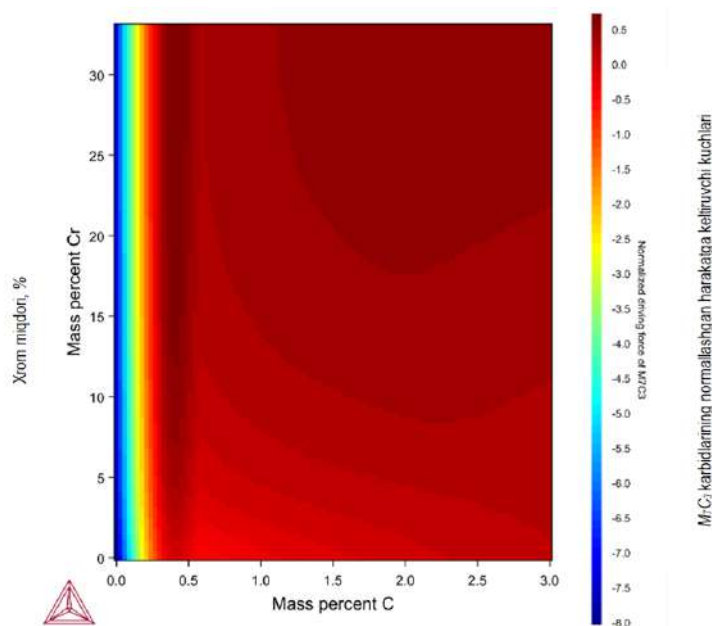
Yuqori haroratlarda M_7C_3 karbid miqdorining kamayishi termodinamik nuqtai nazardan qaraganda, karbidlarning yuqori haroratlarda austenit yoki boshqa barqaror fazalarga disotsiatsiyalanish ehtimolini ko'rsatadi. Karbidlarning yuqori xromli qotishmalarda yuqori haroratlarda ham barqaror bo'lishi, xrom atomlarining diffuziya jarayoniga ijobiy ta'sir qilishidan dalolat beradi. Bu kabi jarayonlar yuqori haroratlarda qotishmalar tarkibida yangi fazalar hosil bo'lishini keltirib chiqarishi mumkin va bu hodisalar issiqlikka chidamli qotishmalarning uzoq muddatda mexanik xususiyatlarini aniqlashda muhimdir [6].

1b-rasmda $M_{23}C_6$ karbidining xrom va uglerodning turli konsentratsiyalari ostida haroratga bog'liq miqdori o'zgarishi tasvirlangan. Ko'rinib turibdiki, harorat ortishi bilan $M_{23}C_6$ karbid miqdori, ayniqsa Cr – 31 (C – 2,6 %) tarkibli kompozitsiya uchun, yuqori qiymatlarga erishadi. 800°C dan so'ng bu kompozitsiyada karbid miqdori keskin ko'tariladi va 1000°C da maksimal qiymatga yetadi. Bu o'sish yuqori haroratlarda karbidlarning termodinamik barqarorligi va ularning austenit matritsada ko'proq konsentratsiyalanishi bilan izohlanishi mumkin.

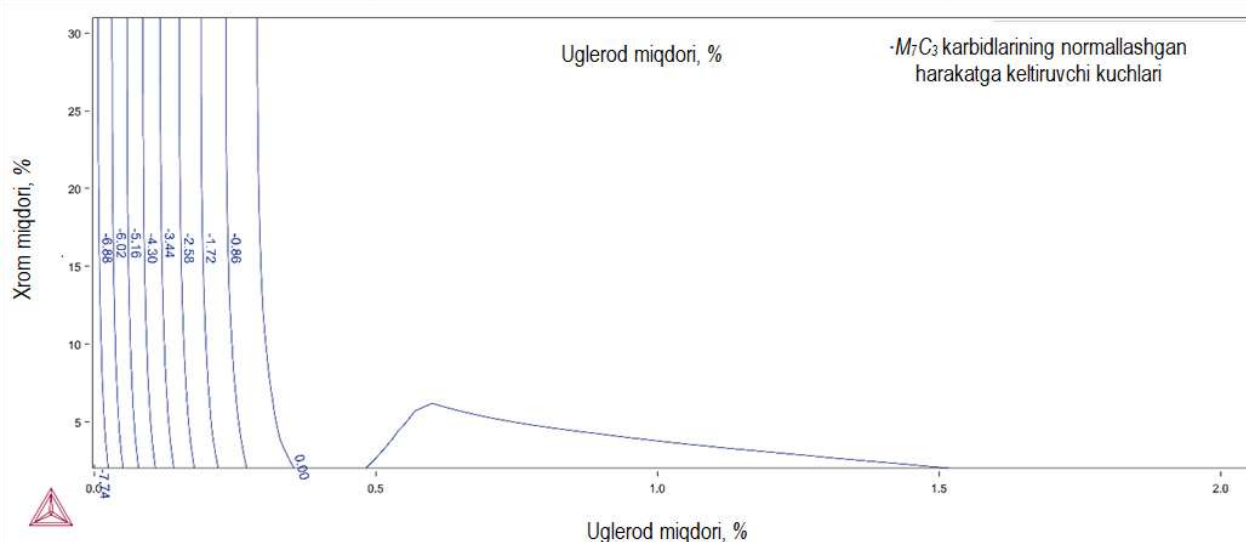
1b-rasmda to'rt xil tarkib orasida faqat Cr-31 (C – 2,6 %) qotishmasida $M_{23}C_6$ miqdori harorat oshishi bilan sezilarli darajada ortadi. Boshqa tarkiblarda (Cr-30, Cr-28 va Cr-17.5) esa karbid miqdori past va nisbatan barqaror saqlanadi. Bu xrom va uglerodning ma'lum bir nisbatlari $M_{23}C_6$ karbidining barqarorligiga sezilarli ta'sir qilyotganligini ko'rsatadi. Xususan, yuqori xrom va nisbatan past uglerodli Cr-31 qotishmasi uchun $M_{23}C_6$ karbidining ko'payishi yuqori xrom konsentratsiyasining karbidlarning kristallanishiga ta'sirini tasdiqlaydi [7]. Cr-30, Cr-28 va Cr-17.5 kompozitsiyalarida $M_{23}C_6$ karbid miqdori harorat



1-rasm. Fe-Cr-C qotishmalarida a) M_7C_3 va b) $M_{23}C_6$ karbidlarining haroratga bog'liq tarkibiy o'zgarishlari



M_7C_3 karbidining normallashgan harakatga keltiruvchi kuchlari



2-rasm. Cr va C konsentratsiyasining o'zgarishiga qarab M_7C_3 karbidining shakllanishiga intilishi (normalized driving force): a) heat map b) contour map. Cr – 31 %, C – 2,6 %

o'zgarishidan deyarli ta'sirlanmaydi va past darajada saqlanadi. Bu qotishmalar uchun $M_{23}C_6$ karbidi hosil bo'lishiga termodinamik sharoitlar kamroq mos kelishini yoki boshqa fazalar, masalan, M_7C_3 , M_3C_2 kabi karbid fazalari ustunlik qilishini ko'rsatadi.

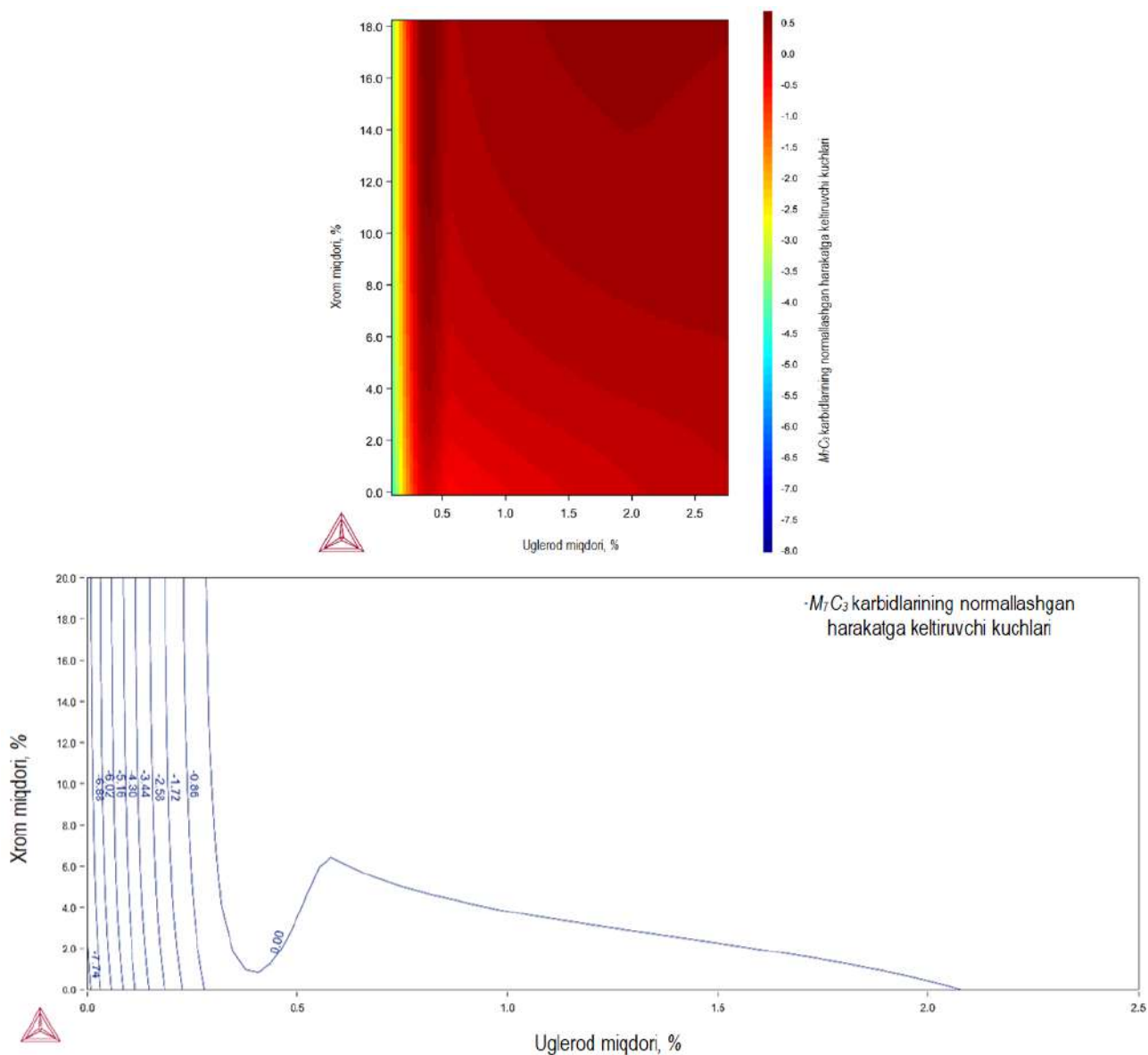
800°C va undan yuqori haroratlarda Cr-31 tarkibli qotishmada $M_{23}C_6$ miqdorining ortishi yuqori haroratlarda diffuziya jarayonlarining jadallashishini va karbidlarning yanada barqaror bo'lishini anglatadi. Bu jarayon yuqori haroratlarda xromning uglerod bilan o'zaro ta'sirini kuchaytiradi va yuqori issiqlik sharoitlarida barqaror fazaning hosil bo'lishiga yordam beradi. Boshqa tarkiblarda esa bu jarayonlar unchalik intensiv emasligi sababli karbid miqdori o'zgarmasdan qoladi.

Cr-31 % C-2.6 % materialda 1000°C da Cr (xrom) va C (uglerod) konsentratsiyasining o'zgarishiga qarab M_7C_3 karbidining shakllanishiga intilishini (normalized driving force) ifodalashda xizmat qiluvchi grafiklar 2-rasmda keltirilgan. Heat map 2a-rasm ranglar orqali normalashtirilgan harakatlantiruvchi kuchlarning o'zgarishini ko'rsatadi, bunda rang intensivligi Cr va C miqdorlariga bog'liq holda harakatlantiruvchi kuchning nisbiy qiymatlarini ifodalaydi. Pastki qismda 2b-rasm ko'k ranglar past

energiya qiymatlarini, yuqori qismda esa qizil ranglar yuqori energiya qiymatlarini aks ettiradi. Bu grafikdan ko'rinib turibdiki, xromning yuqori konsentratsiyasida va uglerodning nisbatan past miqdorida M_7C_3 karbidining shakllanishi uchun katta miqdordagi harakatlantirish kuchi mavjud.

3a-rasmda esa Cr-17.5% C-2.88% bo'lgan kompozitsiyaning uglerod (C) va xrom (Cr) elementlarining massaviy ulushlariga nisbatan M_7C_3 karbid hosil bo'lishi uchun harakatlantiruvchi kuchning normalashgan qiymatlari aks ettirilgan. Ranglar spektri orqali, materialning termodinamik potentsialiga asoslanib, ma'lum bir uglerod va xrom miqdorida fazaning stabil yoki metastabil holatga o'tishi tahlil qilinmoqda.

Qizil va sariq ranglar (ijobiy qiymatlar): Bu ranglar M_7C_3 fazasi uchun harakatlanuvchi kuchning yuqori ekanligini anglatadi. Ayniqsa, yuqori Cr (14-18 %) va past C (0-0.5 %) miqdorlarida ushbu fazaning hosil bo'lishi uchun eng qulay sharoit mavjud. Ko'k va yashil ranglar (salbiy qiymatlar): Past harakatlanuvchi kuchni yoki fazaning hosil bo'lish ehtimolini pastligini anglatadi. Xromning kam miqdorlarida (6% dan kam) va yuqori uglerod (>1,5 %) sharoitlarida bu faza metastabil holatga



3-rasm. Cr va C konsentratsiyasining o'zgarishiga qarab M_7C_3 karbidning shakllanishiga intilishi (normalized driving force): a) heat map; b) contour map. Cr-17.5% C-2.88%

o'tadi. Ikkinchi grafikda (3b-rasm) har bir kontur chizig'i M_7C_3 karbid hosil bo'lishining termodinamik chegaralarini ko'rsatadi. Ayniqsa, 0 qiymatli kontur ushbu fazaning hosil bo'lishi yoki yo'qligi uchun kritik sharoitlarni belgilaydi.

Xromning massaviy ulushi 0-6% oralig'ida M_7C_3 fazasi hosil bo'lish ehtimoli past. Buning asosiy sababi, Cr tarkibi yetarli bo'lmagan holda Cr atomlari karbid hosil bo'lishida barqaror birikmalar hosil qila olmasligi hisoblanadi. Xrom miqdori oshgan sari, ayniqsa 14-18% oralig'ida, uglerod miqdorining yuqoriligi (0,5-1,0%) termodinamik barqarorlikni oshiradi [8-11]. Bu esa M_7C_3 fazasining hosil bo'lishi uchun muhim termodinamika sharoitini yaratadi.

M_7C_3 karbid fazasining stabil sharoitda hosil bo'lishi termodinamik va kinetik omillarga bog'liq bo'ladi. Grafiklar shuni ko'rsatadiki, xromning yuqori miqdori Cr atomlarining karbid hosil qilish uchun zarur bo'lgan lokal konsentratsiyasini oshiradi. Bu esa past glerodli sohalarda ($C < 0.5\%$) karbid hosil bo'lish ehtimolini oshiradi. Uglerod miqdori ortgan sari ($C > 1.5\%$), Cr atomlari o'zaro bog'lanib, boshqa karbid fazalarini (masalan, $M_{23}C_6$) hosil qilishi mumkin. Bu esa M_7C_3 uchun hara-

katlanuvchi normallashtirilgan kuchning kamayishiga olib keladi. Xromning past konsentratsiyasida ($Cr < 6\%$) uglerod atomlarining tarqalish kinetikasi sust bo'lishi tufayli, M_7C_3 fazasi hosil bo'lishi uchun zarur bo'lgan atomlararo diffuziya sodir bo'lmaydi [12-13]. Xromning yuqori miqdorida ($Cr > 14\%$) diffuziya kinetikasi faollashadi, bu esa M_7C_3 ning stabil barqarorlik sohasini kengaytiradi.

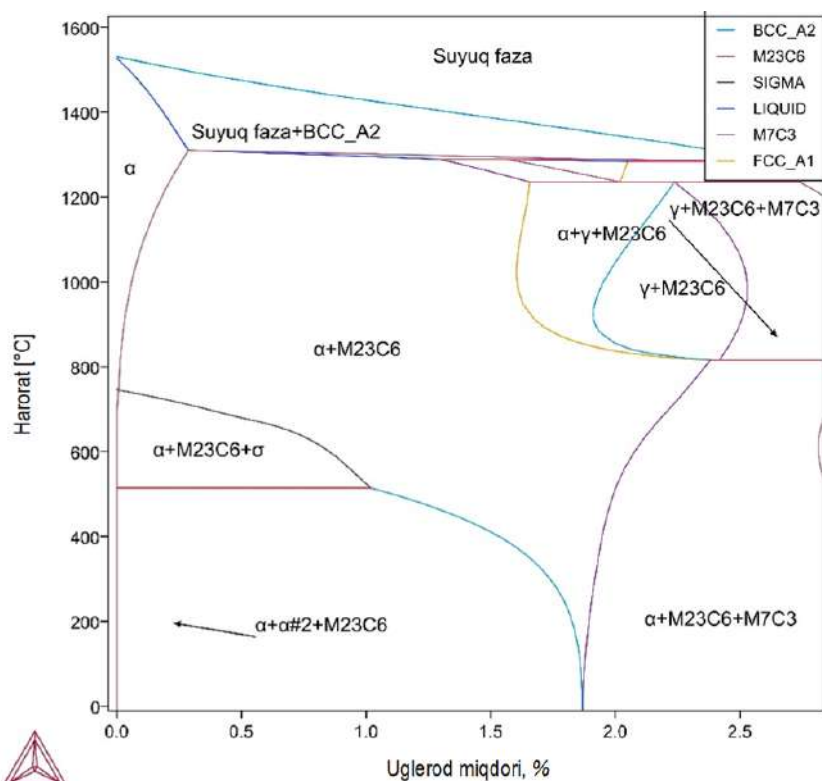
Ushbu natijalar yuqoridagi boshqa grafiklar bilan solishtirilganda, uglerod va xrom o'rtasidagi nozik muvozanat M_7C_3 karbid fazasining barqaror yoki metastabil holatga o'tishiga sabab bo'lishi ko'rinadi. Ushbu grafiklar materiallarga termik ishlov berish va termodinamik holatini boshqarishda karbid fazalarining hosil bo'lishini oldindan bashorat qilish imkonini beradi. Bu esa yuqori xromli qotishmalarda M_7C_3 fazasining rolini o'rganish uchun muhim ahamiyat kasb etadi.

Fe-Cr-C qotishmalarining holat diagrammalari 4-5 keltirilgan. 4-rasmda Cr-31% C-2.6% qotishmasining turli harorat va uglerod miqdori o'zgarishi bo'yicha politermik holat diagrammasi ko'rsatib o'tilgan. Ushbu diagrammada jami 7 ta faza turli kombinatsiyalarda hosil bo'lganini ko'rish mumkin.

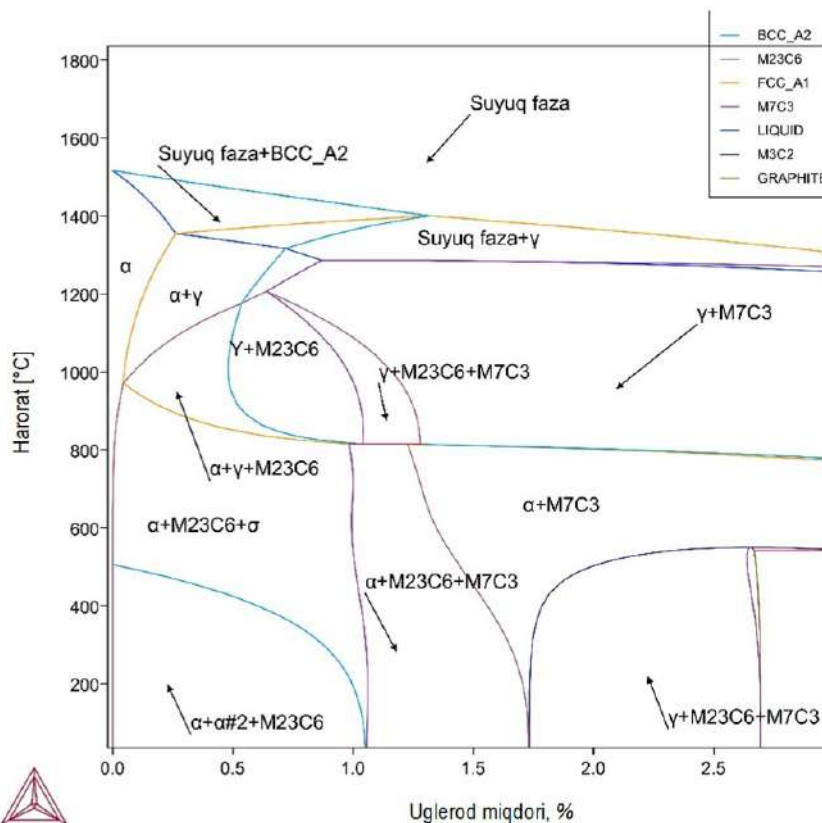
Suyuq fazaning hosil bo'lishi uglerod miqdorining ko'payishi bilan ortib boradi. Dastlabki kristallanish jarayonida hajmi markazlashgan kub panjarali metall asos feritit hosil bo'la boshlaydi. Uglerod midorining C-0-2.0 % va haroratning 500-1250°C bo'lishi strukturada $\alpha+M_{23}C_6$ fazalarining barqaror bo'lishiga zamin yaratadi. Bu holat deyarli 0°C gacha shunday ravishda boradi lekin strukturada yuqoridagi ikki fazaga qo'shimcha ravishda sigma fazasining ham hosil bo'lishini kuzatish mumkin. Diagrammada uglerod miqdorining 1.5-3.0 % va haroratning 850-1200°C gacha bo'lgan sohasida strukturani asosan metal asos sifatida austenite va qoldiq feritit tashkil etadi. Austenit yuqori haroratda mavjud bo'lib, uglerod miqdori o'rtacha qiymatda bo'lganda termodinamik barqaror holatda $M_{23}C_6$ karbidlarini hosil qiladi. $\gamma+M_{23}C_6+M_7C_3$ strukturaning hosil bo'lishi past haroratda $M_{23}C_6$ karbidlari bilan birga M_7C_3 karbidlari ham shakllana boshlaydi, bu uglerodning ko'proq to'planishi va yangi fazalarning cho'kishini ko'rsatadi [15]. Bu soha uglerod miqdori yuqori bo'lgan hududda (taxminan 1,2-2,0 % mass C) va 500-800°C oralig'iga to'g'ri keladi. Diagrammaning ushbu qismida yuqori uglerodli hududlarda fazalar murakkablashadi, ya'ni γ faza o'zidan ko'proq karbid fazalarini ($M_{23}C_6$ va M_7C_3) hosil qiladi. Uglerod miqdori oshishi bilan $M_{23}C_6$ karbidlaridan M_7C_3 karbidlariga o'tish kuzatiladi. Harorat pasayishi bilan karbidlar cho'kadi, bu esa materialning ichki energiyasini pasaytiradi va fazalar muvozanatga keladi. Austenit yuqori haroratda uglerodni yaxshi ushlab turadi, ammo harorat pasayganda karbidlar ajraladi. $M_{23}C_6$ va M_7C_3 karbidlarining shakllanish kinetikasi harorat va uglerodning konsentratsiyasiga bog'liq. Bu fazalar asta-sekin cho'kib, fazalar orasidagi o'tishlarni sekinlashtiradi.

5-rasmdagi diagramma Cr-17.5% C-2.88% qotishmaning kengroq sohalarni o'z ichiga oladi va uglerodning turli mass foizlaridagi haroratlar bilan fazalar hosil bo'lishini ko'rsatadi. Yuqori haroratlarda (1400 °C dan yuqori) material suyuq holatda bo'ladi. Uglerod miqdorining oshishi bilan suyuq faza tarkibidagi uglerod miqdori ortadi, bu esa materialning kristallanish haroratini pasaytiradi. Ferrit va $M_{23}C_6$ karbidlari fazasi 0,2-0,8% C oralig'ida va 600-900 °C haroratda hosil bo'ladi. Uglerod past bo'lganida, α -faza dominant bo'lib qoladi va uglerodning bir qismi $M_{23}C_6$ karbidlariga aylanishi mumkin.

Austenit uglerodni o'z ichiga olishi mumkin, ammo harorat pasayishi bilan uglerod $M_{23}C_6$ karbidlari sifatida ajraladi. Bu faza uglerod miqdori o'rtacha qiymatlarda (taxminan 0,5-1,2% C) va 800-1100°C harorat oralig'ida hosil bo'ladi. $\gamma+M_{23}C_6+M_7C_3$: Bu uchlik faza uglerod miqdori yuqori bo'lgan hududda (taxminan 1,2-2,2 % C) va 600-1000°C oralig'ida hosil bo'ladi. Harorat pasayganda $M_{23}C_6$ karbidlari bilan bir qatorda M_7C_3 karbidlari ham shakllana boshlaydi. M_7C_3 ko'proq uglerod bilan boyigan joylarda ajraladi. Past haroratlarda (taxminan 500°C dan pastda)



4-rasm. Fe-Cr-C qotishmalarining harorat va uglerod miqdorio'zgaruvchan bo'lgan holat diagrammasi (Cr-31% C-2.6%)



5-rasm. Fe-Cr-C qotishmalarining harorat va uglerod miqdorio'zgaruvchan bo'lgan holat diagrammasi (Cr-17.5% C-2.88%)

uglerod miqdori yuqori bo'lgan joylarda M_7C_3 dominant bo'lib qoladi. α -faza (ferrit) uglerodni ko'p sig'dira olmaydi va M_7C_3 kabi karbidlar ajraladi. Uglerod miqdori oshgan sari murakkab fazalar (masalan, $M_{23}C_6$ va M_7C_3) hosil bo'lishi kuzatiladi. Past uglerodli sharoitda ferrit (α) dominant bo'ladi va oddiy karbidlar ($M_{23}C_6$) hosil qiladi. Yuqori haroratlarda faqat suyuq faza va austenit mavjud bo'ladi. Harorat pasayishi bilan kinetik va termodinamik jarayonlar karbidlarning hosil bo'lishiga olib keladi. Materiallarda faza o'zgarishlari harorat va tarkibning dinamik o'zgarishiga tayanadi. Haroratning pasayishi va uglerod konsentratsiyasining oshishi bir vaqtning o'zida termodinamik muvozanat, kinetik jarayonlar va kristallografik sharoitlarni boshqaradi. Yuqori haroratlarda material suyuq holatda bo'ladi, chunki bu sharoitda atomlar orasidagi bog'lanish energiyasi issiqlik vibratsiyalarini yengib chiqadi. Termodinamik jihatdan suyuq fazaning Gibbs erkin energiyasi (G) boshqa fazalarga nisbatan kamroq bo'lib, uni stabil qiladi [15-17].

Austenit yuqori haroratda stabil bo'lgan fazadir. Uglerod austenitning FCC (Face-Centered Cubic) panjara strukturasi diffuziya qilib, uning stabil holatini oshiradi. Austenitning Gibbs erkin energiyasi harorat va uglerod konsentratsiyasiga bog'liq. Uglerodning austenitda yuqori diffuziya tezligi tufayli bu faza yuqori haroratda kinetik jihatdan ustunlikka ega. Termodinamik nuqtai nazardan, uglerod miqdorining oshishi G_y ni kamaytirib, austenitning stabil bo'lish sohasini kengaytiradi. Harorat pasayganda, austenitdagi uglerod konsentratsiyasi ortib boradi, chunki past haroratda uglerodning eruvchanligi kamayadi. Bu sharoitda uglerod atomlari energiyaviy qulay bo'lgan yangi fazalar — karbidlar ($M_{23}C_6$, M_7C_3) tarkibiga kiradi. Karbidlar hosil bo'lishi uchun ularning Gibbs energiyasi 0 dan kichkina bo'lishi kerak. Bu jarayonni kinetik jihatdan uglerod atomlarining diffuziya tezligi boshqaradi, chunki past haroratda atomlarning harakatlanishi sekinlashadi, bu esa jarayonni nisbatan qiyinlashtiradi.

Fazalarning shakllanish kinetikasi termodinamik imkoniyatlar bilan chegaralanadi. Yuqori haroratda austenitning stabil sohasida kinetik energiya yetarli bo'lgani uchun uglerod atomlari tez diffuziya qiladi va faza o'zgarishlari tez sodir bo'ladi. Past haroratda esa kinetik energiyaning kamayishi jarayonni sekinlashtiradi, natijada karbidlar cho'kadi, lekin ularning to'liq shakllanishi ko'p vaqt talab etadi. Shuningdek, mate-

rialning kristall tuzilishi va diffraksiyon cheklovlari karbidlar shakllanishining geometrik yo'nalishini belgilaydi. Austenitning FCC (yoqlari markazlashgan kub) strukturasi karbidlarning murakkabroq strukturalariga o'tish vaqtida fazalar chegaralarida katta energiya o'zgarishi yuzaga keladi, bu esa yangi fazalarning shakllanish jarayoniga qo'shimcha ta'sir ko'rsatadi [12-15].

Harorat va uglerod konsentratsiyasining dinamik o'zgarishi materiallarda faza o'zgarishlarining kinetikasi va termodinamikasi bilan bog'liq murakkab jarayonlarni tashkil etadi. Yuqori haroratda austenitning stabil sohasida uglerodning yuqori eruvchanligi kuzatilsa, past haroratda uning cheklangan eruvchanligi sababli karbidlarning shakllanishi boshlanadi. Ushbu jarayonlar materialning issiqlik va mexanik xususiyatlarini boshqarishda hal qiluvchi rol o'ynaydi va ular metallurgik jarayonlarni optimallashtirish uchun asos bo'lib xizmat qiladi.

Xulosa. Mazkur tadqiqot ishida $Fe-Cr-C$ qotishmalarida harorat, uglerod va xrom konsentratsiyasidagi dinamik o'zgarishlar asosida fazalarning kinetikasi va termodinamikasi modellashtirish asosida olib borildi. Yuqoridagi tahlillar natijalaridan kelib chiqib quyidagi xulosalar qilish mumkin:

- yuqori haroratlarda xrom va uglerod atomlari o'rtasidagi diffuziya jarayonlarining jadallashishi $M_{23}C_6$ karbidlarining miqdorini sezilarli darajada oshib borishiga xizmat qiladi. Natijada, $M_{23}C_6$ karbidining termodinamik barqarorligi kuchayib, yuqori issiqlik sharoitlarida mustahkam fazaning hosil bo'lishiga olib keladi;

- M_7C_3 karbid miqdorining kamayishi termodinamik nuqtai nazardan qaraganda, karbidlarning yuqori haroratlarda austenit yoki boshqa barqaror fazalarga disotsiatsiyalanish ehtimolini ko'rsatadi. Bu esa yuqori haroratlarda qotishmalar tarkibida yangi fazalar hosil bo'lishini keltirib chiqarishi mumkin;

- xrom va uglerod miqdorining oshib borishi (14-18 % Cr) (0,5-1,0 % C) termodinamik barqarorlikni oshiradi natijada, M_7C_3 fazasining hosil bo'lishi uchun muhim termodinamik sharoitni yaratadi;

- normalashgan harakatlaniruvchi kuchlarning qiymati manfiy bo'lganda M_7C_3 karbidlari hosil bo'lmaydi. Qiymatning musbatlashib borishi ushbu fazalarning hosil bo'lishiga sharoit yaratib beradi.

Bibliografik ro'yxat:

1. Tabrett C.P., Sare I.R. Effect of high temperature and sub-ambient treatments on the matrix structure and abrasion resistance of a high-chromium white iron // Scripta Mater. 1998. Volume 38, pp. 1747-1753.
2. Wiengmoon A., Chairuang Sri T., Brown A., et al. Microstructural and crystallographical study of carbides in 30wt%Cr cast irons // Acta Mater. 2005. Volume 53, pp. 4143-4154.
3. Wang J., Sun Z.P., Liu H.H., et al. Study on hardening dynamics of a kind of high chromium cast iron subjected to subcritical treatment // Foundry. 2003. Volume 52, pp. 1063-1068.
4. Holmberg Kenneth, Ali Erdemir. Influence of tribology on global energy consumption, cost and emissions // Friction, 2017. Volume 5, Issue 3, pp. 263-284
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. Chung R.J. et al. Effects of titanium addition on microstructure and wear resistance of hypereutectic high chromium cast iron Fe-25wt.%Cr-4wt.%C: 1-4. // Wear. 2009. Volume 267, Issues 1-4, pp. 356-361.
16. 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.
17. 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.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ



Хайруллин Р.Р.,
заместитель начальника
Управления ИКТ
АО «НГМК»



Кадиров Ё.Б.,
заведующий кафедрой
«Автоматизация и управление» НГГТУ,
PhD

Maqolada konchilik sanoatida kompyuter ko'rish texnologiyalarini qo'llashning zamonaviy yondashuvlari ko'rib chiqilgan. Mashinaviy ko'rish texnologiyalari yordamida hal qilinadigan asosiy vazifalar, jumladan, rudaning sifatini nazorat qilish, uskunalar holatini monitoring qilish, foydali qazilmalarni qazib olish va tashish jarayonlarini avtomatlashtirish tasvirlangan. Sanoatning turli korxonalarida kompyuter ko'rish tizimlarini joriy etish misollari keltirilgan, shuningdek, ushbu texnologiyaning istiqbolli rivojlanish yo'nalishlari tahlil qilingan. Ishlab chiqarish samaradorligi va xavfsizligini oshirishda sun'iy intellekt va neyrotarmoqlar algoritmlarining o'rni alohida ta'kidlangan.

Tayanch iboralar: kompyuter ko'rish, mashinaviy ko'rish, sun'iy intellekt, konchilik sanoati, avtomatlashtirish, sifat nazorati, uskunalar monitoringi, neyrotarmoqlar, tasvirlarni qayta ishlash, 3D rekonstruktsiya, prediktiv tahlil, chuqur o'rganish.

В статье рассматриваются современные подходы к применению компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности. Описаны основные задачи, решаемые с помощью технологий машинного зрения, такие как контроль качества руды, мониторинг состояния оборудования, автоматизация процессов добычи и транспортировки полезных ископаемых. Приведены примеры внедрения систем компьютерного зрения на различных предприятиях отрасли, а также рассмотрены перспективные направления развития данной технологии. Подчеркивается роль искусственного интеллекта и нейросетевых алгоритмов в повышении эффективности и безопасности производства.

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное зрение, искусственный интеллект, горнодобывающая промышленность, автоматизация, контроль качества, мониторинг оборудования, нейросети, обработка изображений, 3D-реконструкция, предиктивная аналитика, глубокое обучение.

Внедрение технологий компьютерного зрения (КЗ) в горнодобывающей промышленности позволяет существенно повысить эффективность и безопасность производства. Компьютерное зрение, основанное на применении искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), способствует автоматизации контроля технологических процессов, снижению рисков аварийных ситуаций и увеличению производительности. В данной статье рассматриваются ключевые аспекты использования КЗ в различных сферах горнодобывающей отрасли.

Современные технологии гиперспектрального анализа и машинного зрения позволяют осуществлять автоматизированный контроль состава руды в режиме реального времени. Камеры высокого разрешения и спектрометры способны анализировать минеральный состав и определять процентное содержание примесей. Это позволяет значительно повысить эффективность процесса обогащения руды и снизить затраты на переработку [1]. Методы обработки изображений на основе искусственного интеллекта позволяют автоматизировать процессы идентификации минералов и разделения руды по категориям. Такие решения уже применяются в крупнейших добывающих компаниях мира. Например, технология Hyperspectral Imaging Systems позволяет выявлять даже незначительные примеси в породах, что улучшает точность сортировки материалов перед их переработкой. Использование таких технологий особенно актуально для переработки руды с низким содержанием ценных минералов, где традиционные методы отбора проб и лабора-

торного анализа занимают слишком много времени и ресурсов. На рис. 1 изображены карты минералов, созданные с использованием гиперспектральных данных, собранных сотрудниками Геологической службы США в карьере Крессон на шахте Криппл-Крик и Виктор в Криппл-Крик, штат Колорадо, США.

Инновационные системы машинного зрения позволяют существенно повысить выход полезных ископаемых при снижении энергозатрат и отходов.

Компьютерное зрение играет важную роль в предиктивном техническом обслуживании горного оборудования. Использование инфракрасных и термографических камер позволяет в реальном времени выявлять перегрев подшипников, утечки жидкостей, коррозию и механические повреждения. Например, системы на основе тепловизоров могут обнаруживать нарушения в работе редукторов и насосов ещё до того, как они приведут к аварийным остановкам. Дополнительно системы анализа вибраций, совмещённые с алгоритмами компьютерного зрения, предсказывают износ узлов и механизмов задолго до критических отказов. Анализ визуальных данных, интегрированный с датчиками IoT, позволяет в автоматическом режиме прогнозировать необходимость технического обслуживания, минимизируя простои оборудования.

Автоматизированные карьерные самосвалы, оснащенные компьютерным зрением, способны самостоятельно определять оптимальный маршрут движения, избегать препятствий и взаимодействовать с другими автономными машинами.

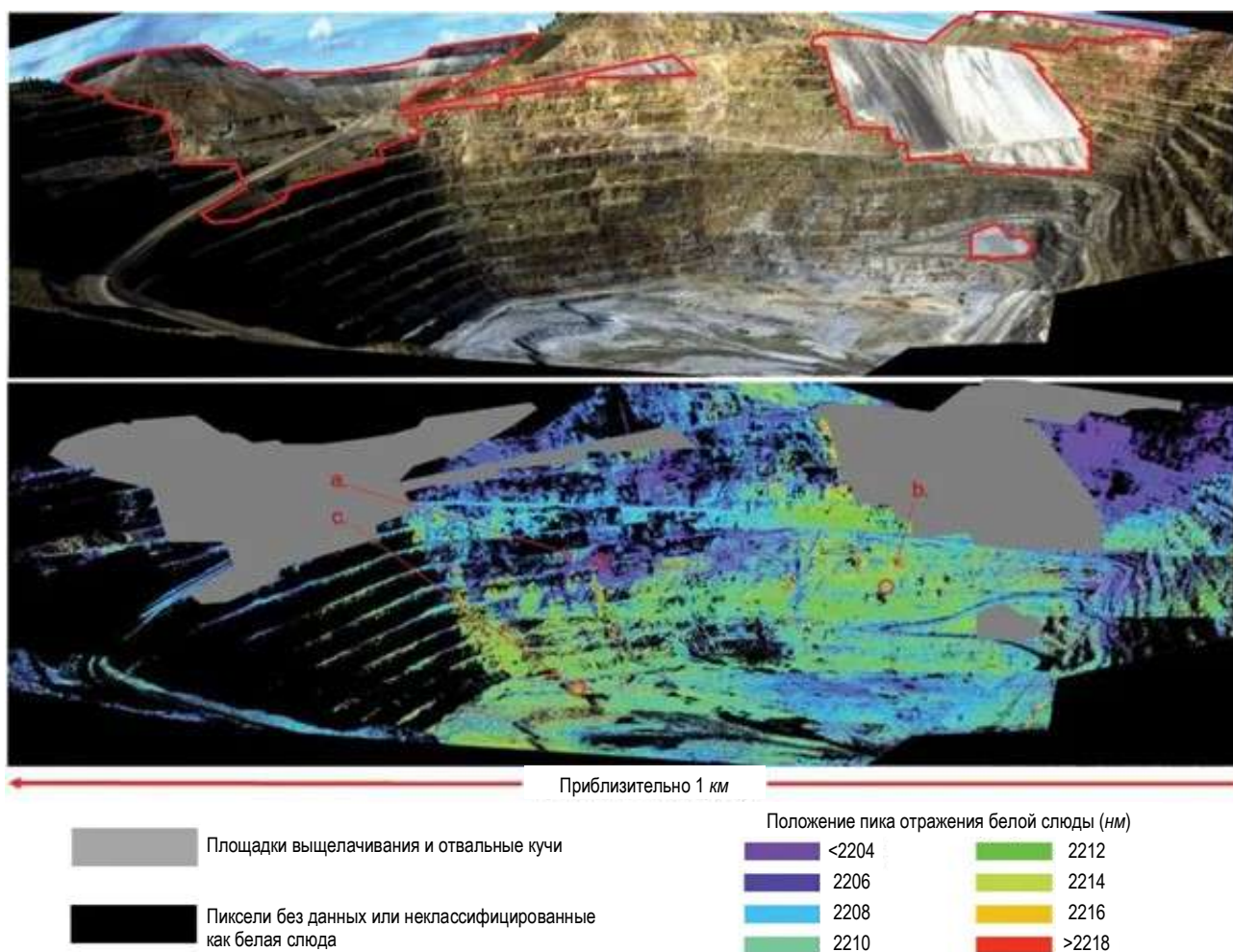


Рис. 1. Карты минералов, созданные с использованием гиперспектральных данных, собранных сотрудниками Геологической службы США в карьере Крессон на шахте Криппл-Крик и Виктор в Криппл-Крик, штат Колорадо, США

Компании, такие как Caterpillar и Komatsu, уже активно внедряют беспилотные самосвалы в горнодобывающие операции. Например, системы автономной навигации используют лидары и камеры для определения окружающей обстановки и динамического построения маршрутов в сложных условиях карьера. Автоматизированные системы бурения с компьютерным зрением позволяют более точно позиционировать буровые установки, снижая вероятность ошибок и потерь материала.

Подобные решения уже применяются на добывающих предприятиях, например, в Австралии и Канаде, где роботизированные буровые установки выполняют задачи без участия человека, анализируя качество пород и оптимизируя параметры бурения.

Системы мониторинга безопасности используют компьютерное зрение для автоматического распознавания нарушения правил техники безопасности. Они могут отслеживать ношение касок, сигнальных жилетов, а также фиксировать проникновение посторонних лиц в опасные зоны. Такие решения уже применяются на ряде карьеров, где системы видеонаблюдения интегрированы с алгоритмами машинного обучения для автоматической идентификации работников и контроля за соблюдением стандартов безопасности. Интеллектуальные системы видеонаблюдения с машинным обучением позволяют анализировать поведение работников и предотвращать возможные аварийные ситуации.

Например, алгоритмы могут фиксировать опасное поведение, такое как нахождение рядом с движущейся техникой или игнориро-

вание сигналов тревоги. Подобные системы, реализованные на предприятиях Rio Tinto и ВНР, позволили сократить количество несчастных случаев на 30 % [2]. На рис. 2 представлена система видеоаналитики для определения опасных и запретных зон на производстве. Также важным направлением является применение дронов с компьютерным зрением для инспекции труднодоступных участков. Это позволяет оперативно выявлять возможные нарушения инфраструктуры, оценивать уровень опасности и предотвращать аварийные ситуации без необходимости отправки людей в потенциально опасные зоны. Компьютерное зрение использует сложные алгоритмы нейросетевой обработки изображений, которые позволяют автоматизировать анализ изображений, повышая скорость и точность обнаружения дефектов, аномалий и объектов в горнодобывающей промышленности. Основные методы обработки данных включают:

Convolutional Neural Networks (CNN) — свёрточные нейронные сети применяются для детекции и классификации объектов на изображениях, таких как рудные тела, горные породы и инфраструктурные элементы [3].

Generative Adversarial Networks (GAN) — генеративно-сопоставительные сети используются для моделирования различных сценариев и прогнозирования возможных дефектов, что помогает в создании высокоточных цифровых двойников горных объектов.

Recurrent Neural Networks (RNN) — рекуррентные нейронные сети применяются для анализа временных последовательностей



Рис. 2. Система видеоаналитики для определения опасных и запретных зон на производстве

событий, например, изменений в структуре горных пород в течение времени. Эти методы позволяют в реальном времени анализировать и предсказывать изменения в горных массивах, отслеживать эрозию и прогнозировать потенциальные обрушения. Совмещение компьютерного зрения с технологией предиктивной аналитики значительно улучшает процессы мониторинга и диагностики в горнодобывающей отрасли. Эффективное применение компьютерного зрения требует значительных вычислительных мощностей и специализированного оборудования. Основные аппаратные и программные ресурсы включают:

GPU-серверы для ускоренного обучения нейросетей, такие как NVIDIA Tesla и A100, обеспечивающие высокую скорость обработки данных.

Облачные платформы (AWS, Google Cloud) для хранения больших объемов информации и её распределённой обработки, что особенно важно при анализе данных с множества датчиков и камер в удалённых карьерах.

Edge-компьютеры (например, NVIDIA Jetson), используемые в автономных системах горнодобывающей техники, позволяющие проводить анализ данных непосредственно на объектах без необходимости передачи в центральные серверы.

Применение edge-вычислений снижает задержки при передаче данных и позволяет мгновенно реагировать на изменения окружающей среды, что критично для обеспечения безопасности и эффективности работы горнодобывающих комплексов.

Компьютерное зрение активно интегрируется с другими передовыми технологиями, такими как Интернет вещей (IoT), цифровые двойники и предиктивная аналитика.

Интернет вещей (IoT) — сенсоры IoT собирают данные в реальном времени о состоянии горных пород, вибрациях, температуре оборудования и передают их в системы анализа компьютерного зрения, что позволяет выявлять потенциальные опасности и оптимизировать производственные процессы.

Цифровые двойники — трехмерные модели горных объектов, созданные на основе данных компьютерного зрения, позволяют

моделировать возможные сценарии добычи и прогнозировать износ оборудования, снижая эксплуатационные затраты [4]. На рис. 3 изображена 3D модель карьера.

Big Data и предиктивная аналитика — использование больших данных и алгоритмов машинного обучения помогает анализировать миллионы изображений и предсказывать риски на основе исторических данных. Это позволяет оперативно принимать решения по модернизации техники и предотвращению аварийных ситуаций.

Совмещение компьютерного зрения с технологиями IoT и цифровых двойников даёт возможность не только повысить уровень автоматизации процессов, но и улучшить управление добычей, делая её более безопасной и эффективной.

Будущее развитие компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности связано с постоянным совершенствованием алгоритмов обработки изображений, интеграцией с передовыми вычислительными технологиями и улучшением беспроводной связи. Рассмотрим ключевые направления развития данной области.

Одна из главных задач, стоящих перед разработчиками систем компьютерного зрения, заключается в улучшении точности моделей. Это достигается за счёт увеличения объемов и разнообразия обучающих данных. В горнодобывающей промышленности это особенно актуально, поскольку анализируемые изображения и видеопотоки могут существенно отличаться в зависимости от погодных условий, освещения, типа руды и характеристик горных пород [5].

Современные методы, такие как самообучение нейросетей (self-supervised learning), позволяют использовать огромные массивы неразмеченных данных, что снижает затраты на ручную разметку и увеличивает качество модели. Кроме того, генеративно-состязательные сети (GAN) могут создавать искусственные изображения рудных месторождений, что позволяет дополнительно обогащать обучающие выборки. Использование специализированных датасетов, таких как MineVision Dataset и RockNet, помогает создавать более точные и адаптируемые алгоритмы, способные работать в сложных условиях карьера и подземных шахт. Внедрение



Рис. 3. 3D модель карьера

активного обучения и обратной связи от операторов позволяет постепенно адаптировать алгоритмы к изменяющимся условиям эксплуатации.

Квантовые вычисления открывают новые возможности для анализа больших массивов данных, поступающих с камер компьютерного зрения. В горнодобывающей промышленности системы КЗ генерируют огромные объемы информации, требующие быстрой обработки и анализа в реальном времени. Квантовые алгоритмы, такие как вариационный квантовый эйлер (VQE) и квантовый градиентный спуск, позволяют значительно ускорить процессы оптимизации моделей машинного зрения.

Основные направления использования квантовых вычислений:

- ускоренное обучение нейросетей для обработки изображений рудных месторождений;
- оптимизация маршрутов движения автономной техники на основе комплексного анализа рельефа;
- повышение точности предсказания разрушений горных пород с учетом многомерных зависимостей в данных.

Компании, такие как D-Wave, IBM и Google, уже работают над квантовыми алгоритмами для промышленного машинного обучения, что в ближайшем будущем позволит вывести компьютерное зрение в горнодобывающей отрасли на новый уровень.

Следующее поколение беспроводных технологий связи 6G, ожидаемое к 2030 году, предоставит возможность мгновенной передачи данных с высокой скоростью (до 1 Тбит/с) и сверхнизкими задержками. Это откроет новые горизонты для компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности:

Реализация полностью автономных горнодобывающих комплексов – техника сможет обмениваться данными в режиме реального времени, избегая задержек, связанных с текущими 4G/5G сетями;

Облачная обработка данных – благодаря высокой скорости передачи изображений анализ можно будет выполнять в мощных дата-центрах без необходимости локальных вычислений;

Усовершенствованное предсказательное обслуживание – передача данных с камер мониторинга оборудования станет еще быст-

рее, что позволит анализировать изменения в механизмах в реальном времени и прогнозировать отказ на основе мгновенных вычислений.

Кроме того, 6G обеспечит улучшенные возможности для интеграции компьютерного зрения с дополненной и виртуальной реальностью (AR/VR), что позволит операторам дистанционно контролировать процессы добычи и принимать решения, основываясь на детальных цифровых моделях рудников.

Перспективы развития компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности связаны с совершенствованием алгоритмов машинного обучения, внедрением квантовых вычислений и расширением возможностей беспроводной связи. Совмещение этих технологий позволит достичь беспрецедентного уровня автоматизации, повысить безопасность работников и значительно сократить затраты на техническое обслуживание оборудования. В ближайшее десятилетие ожидается переход на полностью автономные горнодобывающие комплексы, работающие на основе искусственного интеллекта и компьютерного зрения.

Компьютерное зрение становится неотъемлемой частью цифровой трансформации горнодобывающей промышленности. Внедрение технологий компьютерного зрения не только автоматизирует ключевые процессы, но и приводит к значительному повышению эффективности производства, снижению затрат и повышению уровня безопасности. Одним из ключевых преимуществ компьютерного зрения является возможность автоматизированного контроля качества руды в режиме реального времени. Системы гиперспектрального анализа и машинного обучения позволяют идентифицировать минеральный состав руды с высокой точностью, исключая влияние человеческого фактора и снижая затраты на лабораторные исследования. Это особенно важно для предприятий, работающих с низкосортными рудами, где точность анализа играет решающую роль в рентабельности добычи.

Мониторинг состояния оборудования с помощью компьютерного зрения также позволяет значительно повысить надежность горной техники [6]. Использование инфракрасных и термографических камер в сочетании с алгоритмами машинного обучения позволяет

выявлять микротрещины, перегрев и другие потенциальные неисправности задолго до критических отказов. Это способствует переходу от реактивного к предиктивному техническому обслуживанию, снижая вероятность аварий и простоев.

Автоматизация добычи и транспортировки полезных ископаемых является еще одним значительным достижением, возможным благодаря компьютерному зрению [7]. Автономные карьерные самосвалы и роботизированные буровые установки уже сегодня используются в крупнейших горнодобывающих компаниях. Технологии машинного зрения позволяют им в режиме реального времени анализировать дорожные условия, избегать препятствий и оптимизировать маршруты, повышая общую производительность добычи.

Обеспечение безопасности на производстве с использованием интеллектуальных систем видеонаблюдения и компьютерного зрения значительно снижает травматизм на горнодобывающих объектах. Автоматический контроль соблюдения техники безопасности, обнаружение несанкционированного проникновения в опасные зоны и анализ поведения персонала позволяют предотвращать аварийные ситуации, обеспечивая более безопасные условия труда.

Перспективы развития компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности связаны с дальнейшим улучшением алгоритмов машинного обучения, увеличением вычислительных мощностей и интеграцией с квантовыми вычислениями. Развитие 6G-сетей обеспечит моментальный обмен данными между автономными системами, что ускорит обработку информации и повысит эффективность работы беспилотной техники и предиктивных систем диагностики.

Таким образом, компьютерное зрение не только облегчает и оптимизирует процессы добычи полезных ископаемых, но и открывает новые горизонты для дальнейшей цифровизации отрасли. Совмещение технологий машинного зрения, искусственного интеллекта и Интернета вещей позволит создать полностью автономные горнодобывающие комплексы, работающие с максимальной эффективностью и минимальным риском для персонала. В ближайшие годы можно ожидать дальнейшего развития систем компьютерного зрения, расширения их функционала и интеграции с передовыми цифровыми технологиями. Это создаст новые возможности для оптимизации горнодобывающих процессов, повысит рентабельность отрасли и укрепит ее устойчивость к внешним вызовам.

Библиографический список:

1. Калашников В.А., Соловьёв В.И. Приложения компьютерного зрения в горнодобывающей промышленности. *Прикладная информатика*. – Москва: Финансовый университет, 2023. – Т. 18. – № 1 (103). – С. 4-21.
2. Селянкин В.В. Компьютерное зрение. Анализ и обработка изображений. – Санкт-Петербург: Лань, 2021. – С. 45-67.
3. Ронкин М.В., Акимова Е.Н., Мисилов В.Е., Решетников К.И. Обзор применения глубоких нейронных сетей и параллельных архитектур в задачах фрагментации горных пород. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Вычислительная математика и информатика*. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2023. – Т. 12. – № 4. – С. 12-18.
4. Шалиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – С. 612-630.
5. Артюх А.В., Горбачев С.Е., Барабанов А.Г., Чекушина Т.В. Применение искусственного интеллекта для повышения эффективности технологических процессов в горной промышленности. *Инновационные процессы обогащения и глубокой переработки редкометаллического и горнохимического сырья и комплексных руд цветных и черных металлов*. – Москва: Горная книга, 2024. – С. 550-553.
6. Qin S., Li L. Visual Analysis of Image Processing in the Mining Field Based on a Knowledge Map. *Sustainability*. – Basel: MDPI, 2023. – Vol. 15. – No. 3. – Article 1810.
7. Klette R. Компьютерное зрение: Теория и алгоритмы. – Москва: Техносфера, 2019. – 506 с.

«GORNII VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 111-115

COMPUTER VISION IN THE MINING INDUSTRY

¹Khayrullin R.R., Deputy Head of the Department of Information and Communication Technologies.

²Kadirov Yo.B., Head of the Department of "Automation and Control", PhD.

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

²Navoi State Mining and Technological University, Navoi, Uzbekistan.

This article discusses modern approaches to the application of computer vision in the mining industry. It outlines the main tasks addressed by machine vision technologies, such as ore quality control, equipment condition monitoring, and automation of extraction and transportation of mineral resources. Examples of the implementation of computer vision systems at various enterprises in the industry are provided, as well as promising directions for the development of this technology. The role of artificial intelligence and neural network algorithms in improving the efficiency and safety of production is emphasized.

Keywords: computer vision, machine vision, artificial intelligence, mining industry, automation, quality control, equipment monitoring, neural networks, image processing, 3D reconstruction, predictive analytics, deep learning.

Bibliography:

1. Kalashnikov V.A., Solovyov V.I. Applications of computer vision in the mining industry. *Applied Informatics*. – Moscow: Financial University, 2023. – Vol. 18. – No. 1 (103). – Pp. 4-21.
2. Selyankin V.V. *Computer Vision: Analysis and Image Processing*. – Saint Petersburg: Lan, 2021. – Pp. 45-67.
3. Ronkin M.V., Akimova E.N., Misilov V.E., Reshetnikov K.I. Review of the application of deep neural networks and parallel architectures in rock fragmentation tasks. *Bulletin of South Ural State University. Series: Computational Mathematics and Informatics*. – Chelyabinsk: SUSU Publishing House, 2023. – Vol. 12. – No. 4. – Pp. 12-18.
4. Shapiro L., Stockman G. *Computer Vision*. – Moscow: Knowledge Laboratory, 2020. – Pp. 612-630.
5. Artyukh A.V., Gorbachev S.E., Barabanov A.G., Chekushina T.V. Application of artificial intelligence to increase the efficiency of technological processes in the mining industry. *Innovative Processes of Enrichment and Deep Processing of Rare Metal and Mining-Chemical Raw Materials and Complex Ores of Ferrous and Non-Ferrous Metals*. – Moscow: Mining Book, 2024. – Pp. 550-553.
6. Qin S., Li L. Visual Analysis of Image Processing in the Mining Field Based on a Knowledge Map. *Sustainability*. – Basel: MDPI, 2023. – Vol. 15. – No. 3. – Article 1810.
7. Klette R. *Computer Vision: Theory and Algorithms*. – Moscow: Technosphere, 2019. – 506 p.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ ПУТЁМ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА АО «НГМК»



Холбоев Г.О.,
главный энергетик
АО «НГМК», PhD



Бакоев Х.Ю.,
начальник отдела охраны
окружающей среды Департамента
охраны труда, промышленной безопасности
и экологии (ESG) АО «НГМК»

Maqolada «NKMK» AJ korxonalarida tozalangan oqava suvlarni qayta ishlatish texnologiyasini joriy etish orqali suv ta'minoti va suvni tejamkorlik muammolarini hal qilishning ekologik jihatlarini o'rganilgan. O'zbekiston va umuman Markaziy Osiyoda suv resurslarining yetishmasligi sharoitida suvdan oqilona foydalanish samaradorligini oshirish va ikklamchi suv resurslaridan unumli foydalanish muhim bo'lib, taraqqiyot uchun asosiy omil bo'lib qolayapti. «NKMK» AJ korxonalaridagi hozirgi suv ta'minoti holati, suv olishni qisqartirish, aylanma suv ta'minotini joriy etish va suvlarni to'liq qayta ishlatishni ta'minlash bo'yicha loyihalar amalga oshirilishi ko'rib chiqilgan. Shuningdek, yangi suv olish miqdorini qisqartirish, oqava suvlarni chiqarishni minimallashtirish va tozalangan oqava suvlarni texnologik jarayonlarda ko'proq ishlatish bo'yicha olib borilgan ishlar natijalari qayd etilgan. Ayrim korxonalar uchun suvning solishtirma iste'molini va tozalangan oqava suvlardan foydalanish ulushini kamaytirish to'g'risidagi ma'lumotlar taqdim etiladi, bu asosiy barqarorlikni tartibga solish va o'rtacha foydalanishni saqlash yo'lidagi asosiy qadamdir.

Kalit so'zlar: atrof-muhit, tabiiy resurslardan oqilona foydalanish, sanitariya va ekologik vaziyatni yaxshilash, tozalangan oqava suvlar, tashlamalar miqdori, chiqindi suvlari manbalarini diversifikatsiyalash, chiqindi suvlarini tahlil qilish tizimi, tozalangan oqava suvlarning tashlash manbalari, tozalangan oqava suvlarini sug'orish maqsadlarida ishlatish tadbirlari.

В статье исследованы экологические аспекты решения проблем водоснабжения и водосбережения на базе АО «НГМК» посредством внедрения технологии повторного использования очищенных сточных вод. В условиях дефицита водных ресурсов, характерных для Узбекистана и Центральной Азии в целом, повышение эффективности водопользования и использования вторичных водных ресурсов становятся ключевыми для развития. Показана реализация текущей ситуации с водоснабжением на предприятиях АО «НГМК», проектов по сокращению водозабора, внедрению оборотного водоснабжения и обеспечению полного повторного включения вод. Также отмечены результаты работ по сокращению объемов забора свежей воды, минимизации сбросов сточных вод и увеличению использования очищенных сточных вод в технологических процессах. Приведены данные о снижении удельного водопотребления и доле использования очищенных сточных вод для нуждающихся предприятий, что является обязательным шагом в направлении регулирования основной устойчивости и соблюдения умеренного использования.

Ключевые слова: окружающая среда, рациональное использование ресурсов, улучшение санитарной и экологической ситуации, количество выбросов, диверсификация сточных источников воды, система анализа сточных вод, источники сброса очищенных сточных вод, порядок использования очищенных сточных вод для полива.

Гидроэнергетические ресурсы Узбекистана составляют всего 4,92 % всей территории страны, общие водные ресурсы – 50-60 км³/год, из которых только 12,2 км³ формируются на территории республики, а остальной объем воды поступает извне – с гор Тянь-Шаня и Памиро-Алтая, от тающих летом снегов и ледников. Масштабные потери воды происходят на фоне неблагоприятных прогнозов о будущей ситуации со снабжением водой региона Центральной Азии, в частности Узбекистана. К 2050 году, по прогнозам Всемирного банка, поток воды в бассейне реки Сырдарья может уменьшиться на 2-5 %, а в бассейне реки Амударья – на 10-15 %, что усилит дефицит воды. Это нанесёт ущерб не только сельскому хозяйству, но и гидроэнергетике, поскольку продуктивность гидроэлектростанций к 2050 году в некоторых частях региона может снизиться до 20 % [1].

Из года в год в республике увеличивается дефицит водных ресурсов в связи с глобальным изменением климата, увеличением

численности населения, ускоренным развитием различных отраслей национальной экономики и ростом их спроса на воду. Поэтому в сложившейся ситуации нам необходимо экономить воду и повышать нашу культуру водопользования.

В Стратегии действий Республики Узбекистан, по пяти приоритетным направлениям развития в качестве важных задач обозначено «предотвращение экологических проблем связанных со здоровьем и генетическим фондом населения, окружающей природной средой, улучшением снабжения его питьевой водой в сельских районах путём постепенного внедрения экономических и эффективных технологий».

В связи с совершенствованием методов накопления, хранения и использования местных водных ресурсов в Центральном Кызылкуме, а также с целью предупреждения экологических проблем, таких как опустынивание, данное направление имеет важное научно-практическое значение [2]. Охрана окружающей среды является

Таблица 1

Общий объем забора воды, тыс. м³ (мл)

| Объем забора воды | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| | 112 300 | 122 550 | 124 031 | 129 107 |

■ 2021 ■ 2022 ■ 2023

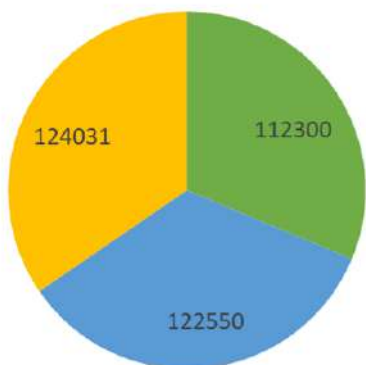


Рис. 1. Общий объем забора воды, тыс. м³

Таблица 1

Общий объем забора воды, тыс. м³ (мл)

| Типы источников | 2021 г. | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. |
|----------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Поверхностные | 92 123 | 97 862 | 95 499 | 92 090 |
| Подземные | 7 072 | 8 075 | 12 377 | 14 183 |
| Шахтные, из карьера, из хвостохранилищ | 7 024 | 12 121 | 12 632 | 19 473 |
| От сторонних поставщиков | 6 037 | 4 492 | 3 523 | 3 361 |
| Итого: | 112 256 | 122 550 | 124 031 | 129 107 |



Рис. 2. Диаграмма общего объема забора воды по источникам, тыс. м³

одним из ключевых аспектов устойчивого развития «НГМК», направленного на обеспечение баланса между экономическим ростом и сохранением природных экосистем. Это достигается через эффективное использование природных ресурсов, снижение эмиссий, минимизацию сточных вод и отходов, а также внедрение энергосберегающих технологий и возобновляемых источников энергии. Эффективное управление и экономное использование водных ресурсов являются ключевыми в устойчивом развитии не только АО «НГМК», но и в масштабах Узбекистана, так как регион характеризуется дефицитом водных ресурсов.

В АО «НГМК» действует «Программа по дальнейшему совершенствованию сбережения и рационального использования водных ресурсов на 2022-2026 гг.». Разработанный план водопотребления предполагает распределение водных ресурсов для технических, хозяйственно-питьевых и ирригационных нужд до 2026 года в разрезе каждого подразделения с указанием источников водоснабжения. Данные предоставлены и согласованы с Министерством водного хозяйства и Министерством горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан [3].

Для научного изучения проблем водоснабжения и водосбережения в АО «НГМК» на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории функционирует «Лаборатория водных проблем», основная задача которой заключается в проведении исследований и разработке инновационных решений для очистки и вторичного использования городских и промышленных сточных вод в производственном процессе. Лаборатория оснащена передовым оборудованием и укомплектована высококвалифицированными специалистами, имеющими научные степени.

Специальное водопользование и водопотребление подразделений АО «НГМК» осуществляется в соответствии с разрешением, выдаваемым Министерством Экологии, природных ресурсов и изменению климата. Для каждого производственного объекта Госэкоэкспертизой Министерства Экологии природных ресурсов Республики Узбекистан выданы заключения экспертизы проектов предельно допустимых сбросов (ПДС).

В АО «НГМК», основным источником водоснабжения которого является река Амударья, в последние годы реализуются

определённые проекты, научные разработки и ряд мероприятий по экономии воды и рациональному использованию водных ресурсов. Если в результате проведённых на комбинате работ по экономии воды средний удельный расход воды для переработки на Гидрометаллургических заводах в 2020 г. составил 1,05 м³/т, то в 2024 г. этот показатель составил 0,92 м³/т. Также, если в 2020 г. доля оборотной очищенной воды, использованной в производственных процессах гидрометаллургических заводов, и шахтных вод составляла 16 %, то к 2023 г. этот показатель доведён до 24 % (табл. 1-2, рис. 1-2).

Учитывая, что АО «НГМК» является одной из ведущих золотодобывающих компаний в мире и занимает ключевое положение в экономике республики, 22 мая 2024 года было принято постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-185 «О мерах по устойчивому развитию Акционерного общества «Навоийский горно-металлургический комбинат» до 2030 года».

В «Дорожной карте» по организационным вопросам устойчивого развития комбината до 2030 года в постановлении, особое внимание уделено вопросам водосбережения.

Добыча и переработка золота включает в себя использование большого количества электроэнергии и воды. Учитывая, что основная часть производственных объектов комбината находится в пустыне Кызылкум, вопросы водосбережения всегда являются актуальными (табл. 3). В целях дальнейшего совершенствования реформ, связанных с экономией и эффективным использованием воды, 9 июля 2024 г. был принят Приказ комбината № 343 «Об утверждении Программ по инновационному развитию и рациональному использованию водных ресурсов АО «НГМК» на 2024-2030 гг.». Данным приказом утверждена «Программа по экономии водных ресурсов и рациональному использованию воды в АО «НГМК» на 2024-2030 гг.». В программу включён план мероприятий, состоящий из 80 пунктов, в соответствии с которыми в течение 2024-2030 гг. планируется сэкономить 36 млн. м³ воды на сумму 175 897 млн. сум. Запланированный объём экономии воды, позволит обеспечить бесперебойным водоснабжением жителей городов Зарафшан и Учкудук в течение почти трёх лет.

Основной целью реализации Программы является снижение к 2030 году средней удельной нормы потребляемой свежей воды для переработки на Гидрометаллургических заводах до 0,8 м³/т и увеличение доли оборотной, очищенной и шахтной воды, используемой в производственных процессах, до 35-40 %. Кроме того, к 2040 году планируется достичь доли очищенной (оборотной) воды в производстве на уровне 45-50 % [4].

Для АО «НГМК» управление водными ресурсами преимущественно означает поиск и внедрение эффективных технологий рециркуляции воды (повторного использования) для достижения независимости от внешних источников водоснабжения. Таким образом, определяется соотношение «свежая вода – оборотная вода», которое должно рассчитываться, исходя из наилучших доступных технологий (НДТ) подготовки оборотной воды, что будет являться ключевым параметром оценки эффективности водопользования. Вода является стратегически важным ресурсом, и доступ к ней в регионах Центральной Азии с высоким уровнем водного стресса и её рациональное использование является критически важным фактором для устойчивого развития Компании и благосостояния сообществ.

Согласно Водному атласу конфликтов, регионы присутствия и ведения производственной деятельности АО «НГМК» не находятся в зонах риска возникновения конфликтов из-за водных ресурсов. В целях управления и эффективного использования водных ресурсов АО «НГМК» внедряет программы по их рациональному использованию в своей деятельности.

Планы развития производства должны учитывать доступность необходимых ресурсов. Большинство производственных объектов

Таблица 3
Объёмы водозабора пресной и технической воды тыс. м³

| Подразделения | Питьевая вода | Техническая вода | Общий объём забора воды, 2024 г. |
|-------------------------------|---------------|------------------|----------------------------------|
| ЦРУ | 3 506 | 87 597 | 91 104 |
| СевРУ | 3 402 | 16 655 | 20 057 |
| ЮРУ | 930 | 5 528 | 6 458 |
| РУ «Кызылкум» | 350 | 10 007 | 10 358 |
| ПО «НМЗ» | 218 | 647 | 865 |
| Прочие подразделения г. Навои | 128 | 137 | 265 |
| Итого: | 8 535 | 120 572 | 129 107 |

расположены на территориях с засушливым климатом. В связи с этим, АО «НГМК» проводит постоянную активную работу и внедряет программы рационального использования водных ресурсов, мероприятия по повышению уровня оборотного водоснабжения и повторного использования воды.

В 2024 г. существенных изменений в характере воздействия АО «НГМК» на водные ресурсы в регионах, где расположены предприятия Компании (Навоийская, Самаркандская, Джизакская и Хорезмская области) не наблюдалось.

Основные мощности по добыче и производству АО «НГМК» расположены в засушливых и маловодных районах Зарафшан – Учкудукского промышленного региона.

Водоснабжение производственных объектов, расположенных в городе Навои (Рудоуправление «Кызылкум», ПО «НМЗ» и др.), осуществляется по договору со стороны водоснабжающей организации – Государственного унитарного предприятия «Иссиклик манбаи». Водоснабжение (забор воды) в городе Навои осуществляется из реки Зарафшан.

Работы по исследованию водных ресурсов и водотоков в районе Компании проводит ГУП «Узбекгидрогеология» по заказу Компании на договорной основе. По итогам исследований выдаются гидрогеологические заключения, в которых указывается объём запасов, химические свойства, приток и другие параметры водного бассейна.

Водоснабжение объектов АО «НГМК» в регионах производится в основном из поверхностных источников – рек Амударья и Зарафшан, Тусунсайского водохранилища, а также из подземных источников – месторождения Карак-Ата, Бешбулак, Санзор и Бойтуп.

Питьевое и техническое водоснабжение населённых пунктов, производственных и социальных объектов АО «НГМК» в Зарафшан – Учкудукском регионе, города Зарафшан и Учкудук, обеспечивается из реки Амударья, расположенной на расстоянии более 310 км от источника, с помощью проложенных по пустыне водоводов «Амударья-Зарафшан» и «Зарафшан-Учкудук».

Данный водовод необходим не только для технологических и производственных целей, но также для обеспечения водоснабжением всё местное население города Зарафшан, что делает рациональное потребление водных ресурсов приоритетной задачей АО «НГМК» [6].

За отчетный год компанией было отобрано 129.1 млн м³ воды.

Основная ответственность за стабильную и надёжную работу энергосистем АО «НГМК», включая систему водоснабжения, лежит на специалистах энергослужб «НГМК». Надёжность и безопасность водоснабжения промышленных объектов АО «НГМК» обеспечивается:

- наличием запасных резервуаров воды (озёра, резервуары) и количеством водоводов (2 и более) от источника;
- насосными станциями и резервным оборудованием, установленным на позиции и имеющимся на складах;

Таблица 4

Количество повторно используемых водных ресурсов в разбивке по типам и по подразделениям за 2024 г. (тыс. м³)

| Подразделения АО «НГМК» | 2024 г. | | | |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| | Оборотная вода с хвостохранилища | Использование шахтных (карьерных) вод | Повторное использование вод от КОС | Всего |
| ЦРУ | 6807 | 1 295 | 0 | 8 102 |
| Сев РУ | – | – | 4 542 | 4 542 |
| ЮРУ | 1432 | 2049 | – | 3 481 |
| РУ «Кызылкум» | 2 909 | 439 | – | 3 348 |
| Итого: | 11 148 | 3 783 | 4 542 | 19 473 |

– обученным эксплуатационно-ремонтным персоналом и ремонтно-восстановительной техникой, обслуживающими систему водоснабжения – в разрезе каждого подразделения.

Одним из основных направлений водосбережения АО «НГМК» является рациональное использование воды с применением новых технологий, в том числе модернизации производства, экономии и повторного использования водных ресурсов, научных достижений и опыта персонала АО «НГМК».

В АО «НГМК» реализуется направление минимизации негативного воздействия на водные ресурсы. Для этого, согласно программе экономии и рационального использования энергоресурсов на постоянной основе выполняется ряд мероприятий в области экономии водных ресурсов:

- повторное использование воды в технологических процессах;
- использование оборотного водоснабжения;
- использование шахтных и грунтовых вод;
- внедрение системы капельного орошения для полива зелёных насаждений на территории заводов и рудоуправлений;
- оптимизация работы и техническое обслуживание технологического оборудования.

Компания реализует процесс повторного использования промышленных и очищенных коммунальных сточных вод для технологических нужд, полива зелёных насаждений. Очищенные сточные воды городов Учкудук, Зарафшан, полностью используются для технологических нужд подразделений Компании, а также на орошение зелёных насаждений прилегающих территорий, что составляет около 4 млн м³ (4 тыс. мл) в год.

Экономия водных ресурсов в значительной мере зависит от правильной организации и технико-экономической обоснованности нормирования расходов водных ресурсов, а также топлива и электроэнергии. В условиях роста объёмов производства увеличивается необходимость рационального водопотребления, а также повышения доли повторно используемой воды. АО «НГМК» продолжает работы по повышению объёмов повторного использования воды и сокращению объёма забираемой свежей воды. Однако, также стоит принимать во внимание изменения в структуре водного баланса: жесткий контроль объёма потребления из поверхностных вод, использование солоноватых подземных вод, увеличение доли повторно использованной и оборотной воды (табл. 4).

Реализованные мероприятия. В 2024 г. в АО «НГМК» был утверждён «План мероприятий по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов на 2024 год». Планом мероприятий предусматриваются затраты на рациональное использование водных ресурсов в размере 1,53 млн долл. США [7] (табл. 5).

Водоотведение. Использованная в производственных процессах вода обязательно проходит очистку перед сбросом в природные источники (табл. 6)

АО «НГМК» не осуществляет сброс в поверхностные или подземные воды. Сброс производственных стоков производится на

Таблица 5

Цели и результаты по рациональному использованию и экономии водных ресурсов по АО «НГМК»

| Годы | Единица измерения | По плану | По факту | % |
|---------|-------------------|----------|----------|-------|
| 2022 г. | мл | 14 552 | 15 048 | 103,4 |
| | тыс. долларов США | 4 704 | 2 567 | – |
| 2023 г. | мл | 1 827 | 1 867 | 103 |
| | тыс. долларов США | 657 | 689 | – |
| 2024 г. | мл | 6 818 | 6 929 | 102 |
| | тыс. долларов США | 2 418 | 3 156 | – |

Таблица 6

Общий объём сбросов по Компании (тыс. м³)

| Показатель | 2022 г. | 2023 г. | 2024 г. |
|---------------------|---------|---------|---------|
| Общий объём сбросов | 5 102 | 5 157 | 3 997 |

Таблица 7

Объёмы очищенных и повторно использованных стоков в 2023 г., (тыс. м³)

| Очищенных стоков | Сброшенных неочищенных стоков | Повторно использованных стоков |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 3 356,6 | 640,357 | 3 356,6 |

хвостохранилища. Сброс очищенных бытовых стоков производится на рельеф или уходит на повторное использование на производственных активах АО «НГМК». Объём сбросов сточных вод в 2023 г. составляет 3 997 тыс. м³, что ниже прошлогоднего показателя на 1,4 % (табл. 7).

Планы на 2025 год и среднесрочную перспективу.

В целях реализации «Программы по экономии водных ресурсов и дальнейшего совершенствования рационального использования воды в АО «НГМК» на 2022-2026 гг.», планируется увеличение объёмов повторного использования воды из хвостохранилищ в технологическом процессе.

Ускорить работу по экономии водных ресурсов, широкому использованию оборотных вод и разработать соответствующие показатели эффективности.

В среднесрочной перспективе намечена Программа инновационного развития АО «НГМК» на 2025 год, которая включает, но не ограничивается следующими проектами в области водных ресурсов:

Изучение возможности отделения воды с хвостовой пульпы ГМЗ-2 (ГМЗ-7) АО «НГМК» в сгустителях пастового типа;

Разработка технологии доведения химического состава сточной воды прудка хвостохранилища ГМЗ-3 до химического состава технической воды.

Библиографический список:

1. Гусев Л.Ю. Водно-энергетические проблемы Центральной Азии и возможные пути их разрешения // Вестник МГИМО университета. – № 6 (33). – М.: Издательство: «МГИМО-Университет», 2013. – С. 36. <https://www.vestnik.mgimo.ru/jour/article/view/1116/903>.
2. Абдурахманова И.К., Вафоев Р. Состояние и использование земельно-водных ресурсов Узбекистана (орошаемое земледелие) // Вестник Прикаспия. № 4. – РФ – Астраханская область: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия», ноябрь 2017 г. – С. 49-56. <http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/abdurahmanova-vafoev-sayliev.pdf>.
3. Постановление Кабинета Министров № 218 от 4 мая 2007 года «О Программе водоснабжения и рационального использования водных ресурсов в Республике Узбекистан».
4. Распоряжение Кабинета Министров РУз № 05/1-70 от 21 мая 2010 года «Реализация мероприятий по разработке стратегии комплексного развития и модернизации систем водоснабжения и канализации Республики Узбекистан на 2010-2020 годы».
5. Захарова К. Водно-энергетические проблемы в Центральной Азии на современном этапе // Проблемы постсоветского пространства. № 5 (3). – Москва, 2018. – С. 302. <https://www.postsovietarea.com/jour/article/view/165/165>.
6. Отчёт об устойчивом развитии АО «НГМК» за 2022 год. GRI 2-24, 3-3, EM-MM-160a.1. – С. 56-61.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 116-120

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SOLVING WATER ISSUES THROUGH THE REUSE OF TREATED WASTEWATER AT JSC «NGMC»

Kholboev G.O., Chief Energy Specialist, PhD.

Bakoev K.Yu., Head of the Environmental Protection Department, Labor Protection, Industrial Safety, and Ecology (ESG).

JSC «Navoi Mining and Metallurgical Combine». Navoi, Uzbekistan.

The article examines the environmental aspects of solving water supply and water conservation problems at JSC "NGMC" through the implementation of treated wastewater reuse technology. In the context of water resource scarcity, typical for Uzbekistan and Central Asia as a whole, improving water use efficiency and utilizing secondary water resources have become key factors for development. The article discusses the current situation regarding water supply at JSC "NGMC" facilities, projects aimed at reducing water intake, the introduction of circulating water supply systems, and ensuring the full reuse of water. It also highlights the results of efforts to reduce fresh water intake volumes, minimize wastewater discharges, and increase the use of treated wastewater in technological processes. Data on the reduction of specific water consumption and the share of treated wastewater used by necessary enterprises are presented, which is an essential step towards regulating overall sustainability and ensuring moderate usage.

Keywords: environment, rational use of resources, improvement of sanitary and overall conditions, treated wastewater, environmental volumes, diversification of wastewater sources, wastewater analysis system, treated wastewater discharge sources, reuse of treated wastewater.

Bibliography:

1. Gusev L.Yu. Water-Energy Problems of Central Asia and Possible Solutions // Bulletin of MGIMO University. – No. 6 (33). – Moscow: Publishing House: "MGIMO-University", 2013. – p. 36. <https://www.vestnik.mgimo.ru/jour/article/view/1116/903>.
2. Abdurakhmanova I.K., Vafoev R. State and Use of Land and Water Resources in Uzbekistan (Irrigated Agriculture) // Caspian Bulletin. No. 4. – Russia, Astrakhan region: Federal State Budgetary Scientific Institution "Caspian Scientific Research Institute of Arid Agriculture", November 2017. – pp. 49-56. <http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/abdurahmanova-vafoev-sayliev.pdf>.
3. Cabinet of Ministers Resolution No. 218 of May 4, 2007, "On the Water Supply and Rational Use of Water Resources in the Republic of Uzbekistan."
4. Cabinet of Ministers Decree No. 05/1-70 of May 21, 2010, "Implementation of Measures to Develop a Comprehensive Strategy for the Development and Modernization of Water Supply and Sewerage Systems in the Republic of Uzbekistan for 2010-2020."
5. Zakharova K. Water-Energy Problems in Central Asia at the Present Stage // Problems of the Post-Soviet Space. No. 5 (3). – Moscow, 2018. – p. 302. <https://www.postsovietarea.com/jour/article/view/165/165>.
6. JSC "NMMC" Sustainability Report for 2022 GRI 2-24, 3-3, EM-MM-160a.1, – pp. 56-61.

ОБЗОР ОСНОВНЫХ СОБЫТИЙ В ЗОЛОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ В 2024 ГОДУ



Джулибеков Н.К.,
директор
по административным вопросам
АО «НГМК», к.э.н.



Костаев У.У.,
начальник
Отдела бюджетирования и контроллинга
АО «НГМК», д.э.н.

Maqolada 2024-yil davomida xorijiy kompaniyalar va respublika korxonalarini tomonidan amalga oshirilgan asosiy voqealar keltirilgan. Asosan, qimmatbaho metallar, rangli, noyob va yer osti metallarni qazib olish hajmlari, shuningdek, yangi obyektlar qurilishi va respublikaning yetakchi metallurgiya korxonalarining mavjud quvvatlarini rekonstruksiya qilish masalalari batafsil yoritilgan. Shuningdek, maqolada oltin bozori, investitsiyalar, oltin bozorining rivojlanish istiqbollari, oltin narxlari prognozi va O'zbekiston Respublikasi Markaziy Bankining oltin-valyuta zaxiralari bo'yicha qiziqarli faktlar keltirilgan.

Kalit so'zlar: oltin, normativ hujjatlar, voqealar xronologiyasi, tog'-metallurgiya korxonalarini, oltin zaxiralari, qimmatbaho metallarni qazib olish qiymati, oltin-valyuta zaxiralari.

В статье приведены основные события, происходящие в 2024 году в сфере золотодобычи зарубежных компаний и предприятий республики. Подробно освещены объемы добычи драгоценных металлов, цветных, редких и редкоземельных металлов, а также строительства новых объектов и реконструкция действующих мощностей ведущих предприятий металлургической отрасли республики. Также в статье приведены интересные факты по рынку золота и инвестиции, перспективы развития мирового рынка золота, прогноз цен на золото и объем золотовалютных резервов Центрального банка Республики Узбекистан.

Ключевые слова: золото, нормативные акты, хронология событий, горно-металлургические предприятия, запасы золота, себестоимость добычи драгоценных металлов, золотовалютные резервы.

Производство золота

В 2024 году глобальный спрос на золото достиг исторического максимума – 4974 тонны, увеличившись на 1 % по сравнению с предыдущим годом [1]. Основными факторами роста стали активные закупки центральных банков и высокий интерес инвесторов. Мировые компании продемонстрировали рост добычи и переработки золота. Текущие оценки предполагают, что производство золота выросло в 2024 году на 1 % до 3 661 тонны, что немного превышает рекорд в 3 656 тонн, установленный в 2018 году.

Узбекистан занимает важное место на мировом рынке золота, являясь одним из крупнейших производителей и экспортеров этого драгоценного металла.

За прошедший год золотодобывающая отрасль Узбекистана продемонстрировала значительный рост и укрепление позиций на мировом рынке. Центральный банк Узбекистана приобрел 11 тонн золота, заняв девятое место среди крупнейших покупателей. Производство драгметалла в стране составило более 3,6 млн. тройских унций с темпом роста 108 %, чему способствовали высокие показатели добычи на предприятиях Алмалыкского и Навоийского горно-металлургические комбинаты («АГМК» и «НГМК»), которые являются крупнейшими золотыми и медными горнодобывающими предприятиями страны.

Таким образом, 2024 год стал для Узбекистана годом значительных достижений в золотодобывающей отрасли, укрепив его позиции на мировом рынке и обеспечив устойчивый экономический рост.

Государственное управление

В последние годы правительство Узбекистана принимает меры для диверсификации экономики и повышения конкурентоспособности золотодобывающей отрасли. Это включает в себя улучшение технологий добычи и переработки золота, привлечение инвестиций, а также проведение реформ в области законодательства и налоговой политики.

В 2024 году в сфере горнодобывающей отрасли Республики Узбекистан были приняты несколько ключевых нормативно-правовых документов, направленных на совершенствование управления недрами, повышение безопасности и эффективности отрасли.

1. Закон Республики Узбекистан «О недрах» (ЗРУ-987).

Принят 31 октября 2024 года, данный закон регулирует отношения, связанные с владением, распоряжением и охраной недр. Он устанавливает правовые основы для использования недр, включая добычу полезных ископаемых, и направлен на обеспечение рационального и эффективного использования природных ресурсов.

2. Постановление Президента Республики Узбекистан ПП-186.

Принято 24 мая 2024 года, это постановление направлено на эффективную организацию деятельности Инспекции по контролю в сфере горнодобывающей промышленности и геологии при Министерстве горнодобывающей промышленности и геологии. Документ определяет задачи и функции инспекции, а также механизмы контроля за соблюдением законодательства в области горнодобывающей деятельности.

4. Указ Президента Республики Узбекистан №УП-224

Принят 24 декабря 2024 года, данный указ направлен на совершенствование процедур контроля и обеспечения безопасности в горнодобывающей отрасли, сфере геологии и недропользования. Он предусматривает привлечение Инспекции по контролю в сфере горнодобывающей промышленности и геологии для проведения совместных контрольных мероприятий на предприятиях отрасли.

5. Указ Президента Республики Узбекистан № УП№-104

В целях дальнейшего развития и превращения ювелирной промышленности в одну из ведущих отраслей республики, внедрения эффективных механизмов государственной поддержки деятельности по производству и реализации ювелирных изделий, увеличения показателей экспорта продукции и обеспечения её конкурентоспособности на внутреннем и внешнем рынках издан Указ Президента Республики Узбекистан от 23 июля 2024 года УП №-104 «О мерах по дальнейшему развитию ювелирной отрасли и обеспечению её конкурентоспособности».

Согласно указу, в период с 2024 по 2026 год в Бухарской и Наманганской областях будут созданы по одному ювелирному центру, а в Ташкенте – два ювелирных центра.

С 1 сентября 2024 года аффинажные предприятия, являющиеся членами Ассоциации «Узбекзаргарсаноати», смогут приобретать драгоценные металлы у АГМК и НГМК по прямым договорам с предварительной оплатой, а затем реализовывать их в приемлемых формах и объёмах.

С 1 августа 2024 года при помещении готовых ювелирных изделий под таможенный режим «временный вывоз» для показа на зарубежных выставках и ярмарках будет взиматься сбор в размере 1 БРВ (340 тысяч сум).

Также с 1 октября 2024 года по 1 октября 2027 года освобождаются от уплаты таможенной пошлины оборудования, упаковочная и этикеточная продукция, не производимые в Узбекистане и используемые в ювелирной отрасли, ввозимые по утвержденным перечням.

Ювелирные изделия, временно ввозимые нерезидентами Узбекистана для Международной выставки-продажи Uzbek Jewellery Fair и подлежащие обратному вывозу, будут освобождены от таможенных сборов.

Эти нормативно-правовые акты отражают стремление Узбекистана к модернизации и повышению эффективности горнодобывающей отрасли, обеспечению безопасности и рациональному использованию природных ресурсов.

Ключевые события 2024 года

Хронология НГМК

3-6 марта 2024 года в городе Торонто (Канада) прошла конференция PDAC 2024: The World's Premier Mineral Exploration & Mining Convention – крупнейшее мировое мероприятие горнодобывающей промышленности, в том числе по разведке и добыче полезных ископаемых. В конференции PDAC, которая проводится с 1932 года Ассоциацией старателей и разработчиков Канады, ежегодно принимают участие 30 тысяч посетителей, представители свыше тысячи компаний из более чем 130 стран мира. В рамках данной конференции проходят сетевые выставки и мероприятия, презентации, встречи с инвесторами, двусторонние переговоры.

На руднике «Мурунтау» приступили к работе автосамосвалы «Komatsu 860E-1K» грузоподъемностью 254 тонны – первая горная техника такого типа, введенная в эксплуатацию в Центральной Азии. Это является подтверждением того, что в горнодобывающей промышленности Республики Узбекистан открывается новая страница.

Производительность этой современной горной техники составляет более 15 % по сравнению с имеющимися на руднике автосамосвалами, что позволяет до 5 % экономить топливо и

сократить затраты. Ещё одна его особенность в том, что при возникновении неисправностей в автосамосвале они автоматически выявляются и отображаются на специальном экране. Также вредное воздействие автосамосвала на окружающую среду сравнительно невелико.

31 мая состоялось праздничное торжество, посвящённое Дню работников горной и металлургической промышленности Республики Узбекистан, 60-летию образования Центрального рудоуправления, 55-летию Гидрометаллургического завода № 2 и Объединенной энергослужбы внешнего водоснабжения АО «НГМК». На котором приняли участие представители разных профессий, работающие в Центральном рудоуправлении и Зарафшанском управлении строительства НГМК, а также ветераны труда и пенсионеры.

Как было отмечено на мероприятии, Центральное рудоуправление, в котором трудятся более 21 тысячи работников, является крупнейшим подразделением комбината, Гидрометаллургический завод № 2 – «валютный цех» государства, Объединённая энергослужба внешнего водоснабжения – коллектив, который приносит «жизнь» пустыне, и каждый из них занимает особое место в экономике республики, социально-экономическом развитии региона.

В июле международные рейтинговые агентства S&P Global Ratings и Fitch Ratings впервые присвоили кредитный рейтинг НГМК. Компании присвоен долгосрочный кредитный рейтинг «BB-» со «стабильным» прогнозом, что соответствует суверенному рейтингу Узбекистана.

Аналитики S&P оценили собственный кредитный портфель комбината на уровне «BB+». В рамках реализации инвестиционного проекта «Добыча руды на золотых месторождениях «Кокпатас» и «Даугызтау» (III очередь)», общая стоимость которого составляет 281,1 млн долларов в июле на Гидрометаллургическом заводе № 3 запущен мельничный блок № 7 мощностью переработки 1 млн тонн золотосодержащей руды в год.

В будущем также планируется расширение цехов флотации, биоокисления, фильтрации, сушки и обжига. Это, в свою очередь, способствует увеличению объёмов производства. За счёт этого, количество мельничных блоков на заводе увеличилось до 7. К концу года появится возможность увеличить годовую мощность завода по переработке руды до 10 млн тонн.

Следует отметить, что необходимое оборудование и запасные части для данного мельничного блока были локализованы и изготовлены на Навоийском машиностроительном заводе и в подразделениях Северного рудоуправления комбината. Строительные работы проведены Зарафшанским управлением строительства.

Совместно с компанией Ji An Tai International завершён этап подготовки технико-экономической основы разработки рудника Урусай в Караолакском районе (20 млн. долл.), созданы производственные мощности.

Были проведены соответствующие работы по подготовке рудника, установлено необходимое оборудование, переработано 1 миллион тонн руды, а произведённое золото было реализовано НГМК. Следует отметить, что это первый золотой рудник на территории Каракалпакстана. 28 августа 2024 года организация CERT International вручила АО «НГМК» сертификат международного стандарта ISO 37001:2016. Как было отмечено на мероприятии, данный международный стандарт служит созданию эффективной системы антикоррупционного управления и включает в себя международные методы создания эффективной антикоррупционной системы в компании.

Внедрение международного стандарта ISO 37001:2016 в деятельность НГМК имеет большое значение для повышения доверия граждан к компании, международного престижа и имиджа комбината.

В сентябре НГМК как наиболее образцовый налогоплательщик, внесший вклад в развитие экономики страны, награждён Почётной грамотой Налогового комитета при Кабинете Министров Республики Узбекистан.

В 2024 году в бюджет Узбекистана поступило 274 триллионов сум налогов, что на 19,3 % больше, чем в 2023 году. На долю АО «НГМК» и АО «АГМК» пришлось более 25 % от всех налоговых поступлений. Кроме того, НГМК занимает значительную долю в экономике Узбекистана. В 2024 году компания обеспечила поступление в государственный бюджет Узбекистана порядка 57,5 триллионов сум. Доля НГМК в валовом внутреннем продукте республики составляет – 6,3 % доли, в производстве промышленной продукции – 10,3 %. Эти данные подчеркивают значительный вклад АО «НГМК» в экономику Узбекистана, учитывая его роль как одного из ведущих производителей в горнодобывающей отрасли.

11 октября АО «НГМК» разместило дебютный двухтраншевый выпуск международных облигаций общим объемом 1 миллиард долларов США, разделённый на два транша по 500 миллионов долларов каждый, с сроками погашения 4 и 7 лет и доходностью 6,7 % и 6,95 % годовых соответственно. В целях обеспечения устойчивого производства драгоценных металлов за счёт освоения новых месторождений и увеличения минерально-сырьевой базы, расширения перерабатывающих мощностей утверждены меры по стратегическому развитию АО «НГМК» до 2030 года, предусматривающие увеличение производства золота на 37 % и серебра в 10 раз по отношению к 2023 году.

Президент Республики Узбекистан Шавкат Мирзиёев 2 декабря ознакомился с ходом выполнения программ трансформации металлургических предприятий и их планами на 2025 год.

На совещании отмечено что, за последние семь лет производство в этой отрасли выросло в 1,5 раза. В частности, годовой объём добычи золота увеличился на 26 тонн, серебра – на 77 тонн, меди – на 32 тысячи тонн по сравнению с 2016 годом.

За последние пять лет в горно-металлургическую отрасль было привлечено около 9,5 миллиарда долларов инвестиций, что позволило запустить 15 крупных проектов. В результате отрасль стала важнейшим драйвером трансформации экономики, на долю которой приходится треть всего объёма промышленного производства страны.

Горнодобывающая промышленность стимулирует рост таких отраслей, как электротехника, производство строительных материалов, химическая промышленность и ювелирное дело, предоставляя им необходимое сырьё. Кроме того, комбинаты активно сотрудничают с более чем 60 малыми и средними предприятиями на основе кооперации.

Продолжение этой работы и повышение экономической эффективности остаются актуальной задачей. Предприятия отрасли должны стать привлекательными компаниями на международных финансовых рынках.

На совещании министр горнодобывающей промышленности и геологии, а также руководители комбинатов представили планы на будущее.

В 2025 году в проекты горнодобывающей и геологической отраслей планируется привлечь 1 миллиард долларов инвестиций. Производство каолина должно вырасти на 50 %, а добыча угля достигнуть 10 миллионов тонн.

Навоийский горно-металлургический комбинат в этом году впервые разместил евробонды на международном рынке и привлёк 1 миллиард долларов по низкой ставке. В следующем году планируется выпуск евробондов на сумму ещё 500 миллионов долларов.

На Алмалыкском горно-металлургическом комбинате в эксплуатацию будет введена третья фабрика по обогащению медной руды, а на Узбекском металлургическом комбинате – новый литейно-прокатный комплекс. Комбинат технологических металлов Узбекиста-

на расширит производство редкоземельных металлов, востребованных в «зеленой экономике».

Президент подчеркнул, что в следующем году комбинаты должны провести масштабные изменения через трансформацию, чтобы повысить свою конкурентоспособность на мировых рынках.

Среди важнейших задач были выделены: снижение себестоимости продукции, полная цифровизация деятельности, привлечение средств с международных рынков, внедрение новых технологий и автоматизация производственных процессов.

Президент отметил, что предприятия должны быстро адаптироваться к изменениям в мировой экономике и проявлять инициативу. Были определены меры по сокращению расходов на основе принципов экономии и эффективности, а также по обеспечению бесперебойного снабжения промышленности необходимым сырьём.

Хронология АГМК

В мае завершены работы по модернизации линий флотации на участке сортировки молибдена в цехе селекции и сушки медно-молибденового концентрата медной обогатительной фабрики.

АГМК учредил АО «Узбекский комбинат технологических металлов» с уставным капиталом 257 млрд сум. Предприятие будет использовать запасы металлического сырья, включая литий, графит, вольфрам, тантал-ниобий и магний, проводить глубокую переработку, а также утроит ассортимент продукции до 48.

В августе в рамках инвестиционного проекта по освоению месторождения «Ёшлик I» введена в эксплуатацию трансформаторная подстанция ТП-8 напряжением 110/35/6 кВ, обеспечивающая электроснабжение рудников «Ёшлик I», а также его горнотехнический комплекс, и «Кальмакыр».

Кроме этого, в августе запущена вторая очередь Ингичкинской обогатительной фабрики.

19 ноября на Ташкентской фондовой бирже была проведена крупная сделка с акциями АО «АГМК». В ходе сделки были проданы 175 472 021 акции, что составляет 24,7 % всех выпущенных акций комбината. Цена каждой акции составила 69 499 сум, что в 17,7 раза превышает её номинальную стоимость.

Общий объём сделки составил 12,195 трлн сум (около 954,3 млн долл. по курсу ЦБ), что стало рекордным результатом за всю историю работы фондовой биржи.

Результаты деятельности горно-металлургических предприятий НГМК

Масштабные реформы, проводимые в Узбекистане под руководством главы государства Шавката Мирзиёева, вывели горно-металлургическую отрасль на новый этап развития. За последние восемь лет НГМК превратился в многоотраслевой стратегический производственный кластер, охватывающий такие основные отрасли, как геология, горнодобывающая промышленность, металлургия, энергетика, локализация, цифровизация, транспорт и строительство.

В соответствии с программой по увеличению производства драгоценных металлов в 2017-2026 гг., утвержденной постановлением Президента Республики Узбекистан от 1 марта 2017 года, перед НГМК поставлена задача увеличить производство золота в 2026 году на 30 %, за счёт реализации 27 крупных инвестиционных проектов.

В рамках реализации программы в 2017-2024 гг. на реализацию 24 крупных инвестиционных проектов было выделено 3 млрд долларов США, что позволило создать 14,4 тысяч новых рабочих мест.

В рамках программы введены в эксплуатацию четыре новые производственные мощности, такие как современные гидрометаллургические заводы (ГМЗ) № 5, 6 и 7, а также вторая очередь ГМЗ № 2. В результате комплекса работ, проводимых по устойчивому развитию НГМК, объём производства промышленной продукции составил 94 трлн сум. Объём производства золота в 2024 году по сравнению с предыдущим годом увеличился на 5,3 %, что на 23,4

тонны или 32,2 % больше, чем в 2016 году. В результате в 2024 году программа 2017-2026 гг. была реализована на 2 года раньше запланированного срока с перевыполнением в 2 516 кг.

По Инвестиционной программе освоены средства на сумму 789,6 млн долларов, с темпом роста к 2023 году 166,8 %. Создано 715 новых рабочих мест. Введены в эксплуатацию следующие значимые инвестиционные проекты на общую стоимость 402,2 млн долларов:

Строительство комплекса по добыче и переработке золотосодержащих полезных ископаемых на руднике «Пистали» (ГМЗ 6) (инфраструктурные объекты).

Строительство 3-й линии водовода «Амударья-Зарафшан» и реконструкция насосных станций.

В рамках Программы локализации по 183 проектам произведено локализованной продукции на сумму 915,8 млрд сум. Темп роста к 2023 году составил 145,5 %.

В рамках данной программы многие товары и материалы, ранее импортировавшиеся из-за рубежа и постоянно востребованные для производственных нужд НГМК, осваиваются в условиях собственных мощностей компании. В частности, успешно освоено выпуск шаровых мельниц измельчения, пультов на основе дистанционных систем автоматизации, шкафов управления, запасных частей для горно-шахтовой буровой техники, а также запасных частей и комплектующих для большегрузных автосамосвалов.

По межотраслевой промышленной кооперации у местных производителей закуплено продукции на сумму 6,2 трлн сум. Для производственных нужд комбината на мощностях местных предприятий осваивается более 200 новых видов продукции. Кроме того, в рамках механизма «взять на буксир», впервые внедренного в республике, за последние три года в кооперации произведено свыше 1 400 видов промышленной продукции на сумму 1,4 трлн сум, которая была задействована в производственных процессах комбината.

В результате принятых мер, направленных на оптимизацию затрат, обеспечено снижение себестоимости продукции на 3,7 трлн сум или на 13,0 %. Мероприятия включают локализацию производства запасных частей и комплектующих к технологическому и горнодобывающему оборудованию, техническую модернизацию, внедрение ресурсосберегающих технологий, оптимизацию технологических процессов, повышение эффективности работы за счет цифровизации, эффективное использование сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, широкое внедрение ресурсов «зеленой энергетики».

Себестоимость одной тройской унции золота, произведенного комбинатом в 2024 году, по AISC составила 979 долларов [1], что является одним из самых низких показателей среди ведущих компаний, тогда как средний показатель AISC ведущих мировых производителей золота в третьем квартале 2024 года достиг 1 456 долларов за унцию, что на 9% больше в годовом исчислении [2]. Основными факторами роста расходов стали выплаты роялти (увеличившиеся за счёт более высоких цен на золото), инфляция затрат на вводимые ресурсы, особенно затраты на рабочую силу и электроэнергию, а также более высокие капитальные затраты на поддержание. Несколько крупных производителей золота столкнулись с сокращением объемов из-за планового технического обслуживания фабрик в течение квартала, что также увеличило удельный AISC.

АГМК

За 2024 год трудовым коллективом АГМК выполнены все прогнозные показатели. В частности, произведено товарной продукции на сумму более 38,15 трлн сум, прогнозный показатель выполнен на 116,1 %. Также изготовлено товаров народного потребления на сумму 7,5 млрд сум.

Осуществлён экспорт продукции на общую сумму 610,8 млн долларов, прогноз выполнен на 111,1 %.

В разрезе продукции за отчетный период зарубежным потребителям поставлено 51 698 тонн медной продукции. Экспортировано 15 183 тонны свинцового концентрата и 760 тонн молибденовой продукции. Также выполнены задания по экспорту рения, кадмия, медного купороса, палладиевого порошка.

Для справки: в 2024 году перед трудовым коллективом АГМК стояла задача реализовать экспорт продукции на сумму 550,0 млн долларов, которая была выполнена уже в середине ноября.

Из года в год расширяется география экспорта. В настоящее время продукция комбината экспортируется в 19 стран. Зарубежным партнёрам поставляется в основном медь, цинк, молибден, рений, свинцовый концентрат, кадмий, палладиевый порошок. В 2024 году были освоены новые рынки сбыта. В частности, продукция АГМК реализуется на экспорт в такие страны, как Гвинея, Сенегал, Сербия, ЮАР, Марокко и Португалия.

В рамках инвестиционной программы освоено 1 943,9 млн долларов.

В 2024 году по 268 проектам произведено локализованной продукции на 1 567 млрд сум, прогноз выполнен на 103 %. По сравнению с аналогичным периодом 2023 года темп роста увеличился в 3,6 раза, эффективность импортозамещения составила 121,5 млн долларов. Узбекским комбинатом технологических металлов по 32 проектам – 131,7 млрд сум (шаровые опоры для карьерной техники, шамотные кирпичи, стальные фрезы и свёрла, токарные резцы). На медеплавильном заводе изготовлено продукции на сумму 24,4 млрд сум.

Посредством промышленной кооперации в прошлом году у местных производителей закуплено продукции на 1 376,7 млрд сум, прогноз в этом направлении выполнен на 102 %. Эффективность импортозамещения составила 41 млн долларов.

Стоит отметить, что благодаря приобретению стальных шаров у АО «Узметкомбинат», раствора аммиачной селитры у АО «Максам-Чирчик» и АО «Навоиазот», бутилированного ксантогената у ООО «Zhongtong Chemical», масляной фазы у ООО «Chilon Lubricants» эффективность импортозамещения составила 5,7 млн долларов.

АО «АГМК» оказывает всестороннюю поддержку отечественным производителям на основе механизма «взятие на буксир», в результате которого освоено производство ранее импортированной продукции на 6,6 млн долларов.

В бюджет осуществлены выплаты в размере 19,3 трлн сум.

Золотовалютные резервы

Согласно данным Центрального банка, общий объём официальных резервов увеличился с 34,6 миллиарда до 41,2 миллиарда долларов США, или на 19,1 %. Стоимость золотого запаса выросла на 7,4 млрд долларов – с 24,6 млрд до 32,0 млрд долларов. Физический объём золота увеличился почти на 0,4 млн тройских унций – до 12,3 млн тройских унций. Это связано с тем, что за год унция золота подорожала примерно с 2075 до 2611 долларов (+26 %).

Кроме того, в прошлом году Центральный банк в рамках диверсификации активов начал закупку иностранных ценных бумаг. К концу года их объём достиг 101,7 млн долларов [4].

Перспективы развития мирового рынка золота

Эксперты прогнозируют, что в 2025 году спрос на золото останется высоким. Центральные банки продолжают увеличивать свои резервы, а инвесторы будут рассматривать драгметалл как надёжный актив на фоне экономической нестабильности. При этом спрос на ювелирные изделия, вероятно, останется под давлением из-за высоких цен.

Золотодобывающая отрасль мира продолжает быть важной частью глобальной экономики, и ее перспективы развития зависят от нескольких факторов.

Технологические инновации

Применение новых технологий, таких как автоматизация,

использование роботов, искусственного интеллекта, а также улучшение методов переработки руды и извлечения золота, повысит эффективность добычи. Эти технологии помогут снизить затраты и увеличивать продуктивность.

Снижение запасов легкодоступного золота

Легкодоступные месторождения золота, расположенные в поверхностных шахтах, постепенно истощаются. Это ведёт к увеличению затрат на добычу из более глубоких шахт и отдалённых районов. Компании будут вынуждены инвестировать в более сложные проекты с высокими рисками.

Цены на золото

Динамика цен на золото будет оставаться одним из ключевых факторов, определяющих развитие отрасли. В случае роста цен на золото добыча будет становиться более выгодной, что стимулирует новые инвестиции в проекты. В то же время, падение цен может ограничить интерес к новым проектам.

Некоторые аналитики не исключают возможность достижения рекордных уровней, близких к 2 700 – 3 000 долларов за унцию,

если в мире произойдут значительные экономические потрясения или геополитические события, сильно повлиявшие на спрос на безопасные активы.

Рынок золота и инвестиции

Золото продолжает использоваться не только как драгоценный металл для ювелирных изделий, но и как инвестиционный инструмент (золотые слитки, монеты, ETF). Это открывает дополнительные возможности для добычи и торговли золотом.

Перспективы золотодобычи будут зависеть от того, насколько отрасль сможет адаптироваться к изменениям в технологиях, окружающей среде и глобальных экономических условиях. В долгосрочной перспективе развитие новых методов добычи, а также фокус на устойчивость и экологичность могут стать важными факторами успеха.

Рынок золота в Узбекистане будет зависеть от внутренних макроэкономических факторов, таких как валютная политика, уровень инфляции и динамика экспортных рынков. С учётом мирового тренда на укрепление золотых резервов страна, скорее всего, продолжит придерживаться стратегии накопления этого актива.

Библиографический список:

1. Годовой отчет Всемирного совета по золоту World Gold Council "Gold Demand Trends Q4 and Full Year 2024".
2. Финансовые показатели НГМК основаны на предварительной финансовой отчетности по МСФО за 2024 год. В настоящее время проводится аудит финансовой отчетности по МСФО за 2024 год.
3. <https://www.gold.org>. Всемирный совет по золоту World Gold Council.
4. Центральный банк Республики Узбекистан. <https://cbu.uz/ru/statistics/intreserves/2156505>.

«GORNIY VESTNIK UZBEKISTANA», 2025, № 1 (100) pp. 121-125 REVIEW OF KEY EVENTS IN THE GOLD MINING INDUSTRY IN 2024

Dzhulibekov N.K., Director of Administrative Affairs, PhD in Economics.

Kostaev U.U., Head of the Budgeting and Controlling Department, Doctor of Economics.

JSC «Navoi Mining and Metallurgical Combine». Navoi, Uzbekistan.

This article presents the main events that took place in 2024 in the gold mining sector involving foreign companies and domestic enterprises. It provides detailed coverage of the production volumes of precious metals, non-ferrous, rare, and rare earth metals, as well as the construction of new facilities and the reconstruction of existing capacities at the leading metallurgical enterprises of the Republic. The article also includes interesting facts about the gold market and investments, prospects for the development of the global gold market, gold price forecasts, and the volume of gold and foreign exchange reserves of the Central Bank of the Republic of Uzbekistan.

Keywords: gold, regulatory acts, chronology of events, mining and metallurgical enterprises, gold reserves, cost of precious metal extraction, gold and foreign exchange reserves.

Bibliography:

1. World Gold Council Annual Report "Gold Demand Trends Q4 and Full Year 2024".
2. Financial indicators of NMMC are based on preliminary IFRS financial statements for 2024. Currently, the IFRS financial statements for 2024 are undergoing audit.
3. <https://www.gold.org> – World Gold Council.
4. Central Bank of the Republic of Uzbekistan. <https://cbu.uz/ru/statistics/intreserves/2156505>.

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Редакция журнала «Горный вестник Узбекистана» в лице главного редактора сообщает, что открывает рубрику данная колонка. Журнал стремится заинтересовать Вас в этом издании, заинтересовать в чтении и оценке представленных в нём публикаций и, возможно, подвигнуть Вас на опубликование Ваших работ – научных статей, рецензий, резюме, тезисов докладов.

Конечно же, в настоящий период непросто найти темы, которые еще не освещались на страницах научных изданий, как периодических, так и монографических. Тем не менее, острота технической тематики не снижается, оставляя на пике актуальности ранее уже анализируемые проблемы. В условиях обновления законодательства открывается огромное поле для исследований представителей технических, геолого-минералогических, экономических наук, выработке предложений специалистами-практиками.

В представленных в настоящем журнале статьях и аналитических обзорах всегда стремимся рассматривать фундаментальные проблемы технической науки, наиболее актуальные в современный период. Не будут оставлены без внимания и прикладные проблемы различных областей применения технических знаний – а именно проблемы оформления отраслевого развития в Узбекистане. В публикуемых работах планируется обращаться и к обзорам практики производств, рассматривающих спорные вопросы фактического применения в производстве. В свою очередь, это знаменует попытки авторов научных и научно-практических статей сформулировать дельные предложения по совершенствованию теоретико-практических подходов.

Дискуссия открывается статьёй четвёртого номера журнала за 2024 год «**Использование дефеката в процессах очистки воды Навоийского горно-металлургического комбината**», автор Азимова Д.А.

1. Разные нормативные требования к качеству воды:

Сточные воды горно-металлургического предприятия и питьевая вода – принципиально разные категории, и к ним применяются разные нормативные документы.

Разница в подходах:

Цель очистки сточных вод – уменьшить выброс вредных веществ до уровня, безопасного для экосистемы (а не для питья).

Цель очистки питьевой воды – устранение любых загрязнителей до концентраций, безопасных для человека при ежедневном потреблении.

То есть, методика очистки сточных вод не должна сравниваться с нормативами питьевой воды – это некорректный критерий эффективности.

2. Каким нормативам должна соответствовать очищенная вода?

Для оценки эффективности метода очистки воды следует сравнивать не с СанПиН для питьевой воды, а с нормативами для сточных вод:

Основные нормативные документы для сточных вод в СНГ:

ПДК (предельно допустимые концентрации) загрязняющих веществ в воде водоемов рыбохозяйственного назначения – Применяется для оценки воздействия на окружающую среду.

O'zDSt 950:2011 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством».

ГОСТ 31861-2012 – «Вода. Общие требования к сбросу сточных вод в водоемы»

Европейские стандарты (EU Water Framework Directive) и нормативы EPA (США) для промышленных сбросов.

Правильный подход:

Если цель – сброс воды в водоём, сравниваем с ПДК по Санитарным нормам и правилами проектирования и эксплуатации зон санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения (СанПиН РУз N 0244-07).

Если цель – повторное использование в технологическом цикле, оцениваем по нормам производственных потребностей (ГОСТ 9.314-90).

Если цель – подготовка воды для питья, тогда нужна глубокая доочистка и только потом – сравнение с СанПиН РУз N 0067-96 - Гигиенические критерии качества питьевой воды.

3. Почему в статье допущена ошибка?

В работе приведены концентрации загрязнителей до и после очистки, но не указаны корректные нормативы для оценки эффективности очистки.

Ошибки автора:

В таблицах сравниваются сточные воды с нормами питьевой воды, что не имеет смысла.

Не приведено соответствие с ПДК для водоёмов значения. Не рассмотрено, можно ли использовать очищенную воду в оборотном водоснабжении предприятия.

Как правильно:

Провести сравнение с ПДК для сточных вод, сбрасываемых в водоёмы.

Указать, нужно ли дополнительное доочищение перед сбросом.

Рассмотреть, можно ли использовать воду повторно в производстве.

Заключение: почему это критический недостаток статьи?

Сравнение с питьевой водой не имеет практического смысла, так как сточные воды не предназначены для питья.

Оценка эффективности очистки некорректна, так как не учтены нормативы для сточных вод.

Метод очистки может оказаться недостаточно эффективным для промышленных норм, но это скрыто из-за неправильного сравнения.

Вывод: Без привязки к реальным нормам сброса или повторного использования статья не может считаться научно обоснованной. Требуется автору в будущем быть более внимательным при формировании статьи, а редакционному коллективу более тщательно изучать представленную статью и делать соответствующие выводы.



KOMATSU



ИП ООО «IKO Machinery»
Официальный дистрибьютор Komatsu в Узбекистане
Адрес: Узбекистан, 100167, Ташкент, ул. Гейдар Алиева 313

info.uz@iko.group
+99878 129-63-96
+99878 129-63-98
www.iko.group

 Epiroc

DM75

Станки серии DM75 для бурения взрывных скважин от «Epiroc» - демонстрируют высокую производительность при бурении пород любой категории