



ГЕОТЕХНОЛОГІЇ

Число 6

ISSN 2616–8839

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Редакція української «Гірничої енциклопедії»

2023

**ЗАСНОВНИЦЬКА
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

Журнал в інтернеті

Білецький В.С., д.т.н., професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», дійсний член Гірничої академії України та Академії економічних наук України, редактор відділу переробки корисних копалин, редактор випуску;

Фик І.М., д.т.н., професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», дійсний член Української нафтогазової академії, редактор відділу нафтогазової інженерії;

Суярко В.Г., д.г.–м.н., професор, Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна, академік Академії наук Вищої школи України та Української нафтогазової академії, редактор відділу геології;

Бондаренко В.І., д.т.н., професор, Національний гірничий університет, дійсний член Академії інженерних наук України, редактор відділу розробки твердих корисних копалин;

Гайко Г.І., д.т.н., професор, Національний технічний університет «Київська Політехніка», член–кореспондент Академії будівництва України, редактор відділу геобудівництва;

Барташук О.В., д.г.н., професор, Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна;

Височанський І.В., д.г.–м.н., професор, Харківський національний університет ім. В.Н.Каразіна;

Карпенко О.М., д.г.–м.н., професор, КНУ ім. Тараса Шевченка;

Коболєв В.П., д.г.н., член-кореспондент НАНУ, завідувач відділу сейсмометрії і фізичних властивостей речовини Землі, Інститут геофізики ім. С.І.Суботіна НАН України;

Наумко І.М., д.г.–м.н., с.н.с., член-кореспондент НАНУ, м. Львів;

Вітрик В.Г., к.т.н., ТОВ «НТП «Бурова техніка», дійсний член Української нафтогазової академії (УНГА);

Пьотр Салуга, доктор габлітований «Гірничо–металургійна академія ім. Станіслава Сташиця», Польща.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Засновник та видавець

61002, Україна, м. Харків, вул. Пушкінська, 85, корпус У–4, кафедра «Видобування нафти, газу і конденсату» НТУ «ХПІ». Телефон: (057) 707–65–15; (067) 717–80–68. E–mail: dngik@ukr.net, ukcdb@i.ua.

Адреса видавця та редколегії

Україна, 69097, Запорізька область, м. Запоріжжя, Хортицький р–н, вул. Сергієнка (Задніпровська), буд. 34. Типографія «УСПЕХ ПРИНТ», Наклад 100 примірників (1–й завод – 50 прим.). Формат 60x84 1/16.

Виготовлення

Папір крейдований і офсетний.

<http://library.kpi.kharkov.ua/>



GEO TECHNOLOGIES

Volume 6

ISSN 2616–8839

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

Editorial office of the Ukrainian "Mining Encyclopedia"

2023

EDITORIAL BOARD:

Journal in Internet

Biletsky V.S., D.Sc., Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", member of the Mining Academy of Ukraine and the Academy of Economic Sciences of Ukraine, editor of the mineral processing department, editor-in-chief of the issue;

Fyk I.M., D.Sc., Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", member of the Ukrainian Oil and Gas Academy; editor of the department of oil and gas engineering;

Suyarko V.G., Dr.Sc., Professor, Kharkiv National University V.N.Karazin, academician of the Academy of Sciences of the Higher School of Ukraine and the Ukrainian Oil and Gas Academy, editor of the department of geology;

Bondarenko V.I., D.Sc., Professor, National Mining University, member of the Academy of Engineering Sciences of Ukraine; editor of the department of Solid Minerals Development;

Gayko G.I., D.Sc., Professor, National Technical University "Kyiv Polytechnic", corresponding member of the Academy of Ukraine, editor of the Geo-construction department;

Bartyshchuk O.V., Dr.Sc., Professor, Kharkiv National University V.N.Karazin;

Vysochansky I.V., D.Sc., Professor, Kharkiv National University. VN Karazin;

Karpenko O.M., Dr.Sc., Professor, KNU Taras Shevchenko;

Kobolev V.P., D.Sc., Corresponding member of NASU, Head of seismometry and physical properties of the Earth Institute of Geophysics. S.I.Subotina NAS of Ukraine;

Naumko I.M., D.Sc., Corresponding member of NASU, Senior Researcher, Lviv;

Vitryk V.G., Ph.D., LLC "NTP" Drilling equipment", member of Ukrainian Oil and Gas Academy (UOGA);

Piotr Saluha, D.Sc., "Krakow Mining and Metallurgical Academy", Poland;

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 61002, Kharkov, str. Kyrpychova, 2.

Founder and publisher

61002, Ukraine, Kharkiv, str. Pushkinska, 85, Building U-4, Department of "Production of oil, gas and condensate" NTU "KhPI". Phone (057) 707-65-15; (067) 717-80-68. E-mail: dngik@ukr.net, ukcdb@i.ua.

Address of editor and editorial office

69097, Ukraine, Zaporozhye, Khortytskyi District, Serhiyenko (Zadne-provski) Street. 34. Printing "Success Print", Number of copies printed 100 (1st plant – 50). Sheet size 60x84 1/16. Coated paper and offset.

Production

<http://library.kpi.kharkov.ua>



УДК 622.323

ІСТОРИЯ ВИДОБУТКУ ТА ОДЕРЖАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОГО ВУГЛЕВОДНЕВОГО ГАЗУ

В. М. Орловський канд. техн. наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354

В. С. Білецький д-р техн. наук, професор (Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"), e-mail: BILETSK@i.ua, [https](https://orcid.org/0000-0003-2936-9680), ORCID-0000-0003-2936-9680

В. О. Подчерніна здобувач вищої освіти (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

HISTORY OF PRODUCTION AND RECEIVING OF UNCONVENTIONAL HYDROCARBON GAS

V. M. Orlovskyy PhD, associate professor (Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine), e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354

V.S. Biletskyi Dr. Sci. (Engin.), Professor (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"), ukcdb@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2936-9680>

V. O. Podchernina is a graduate (Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine)

ABSTRACT

Actuality of problem. The article is devoted to the history of mining and receiving of unconventional hydrocarbon gas and the development of technologies for its extraction.

The purpose of article. Tracking and introduction into scientific circulation of the main events, facts, technical and technological decisions that determined the development of technologies and industrial production of unconventional hydrocarbon gas.

Methods and apparatus. Literature review, involvement of archival materials, description of techniques and technology of mining and receiving of unconventional hydrocarbon gas.

Results. The sequence of events that reveal the technological and technical development of unconventional hydrocarbon gas extraction is traced.

Scientific value of development. Introduction of information on the history of mining and receiving of unconventional hydrocarbon gas and the development of technologies for its extraction into the scientific circulation.

Practical meaning. Unconventional hydrocarbon gas deposits and resources for obtaining biogas have been discovered in the world and in Ukraine. Their potential reserves enable the global and domestic economy to meet the needs of the fuel and energy complex and the chemical industry for a long time.

Keywords: *unconventional hydrocarbon gas, shale gas, gas from coal deposits, gas hydrates, biogas.*

ВСТУП

За даними геологорозвідувальної компанії CGGVeritas (Франція), світові запаси вуглеводневих ресурсів за енергетичним еквівалентом розподіляються таким чином: звичайна нафта 23%, природний газ 8%, важка нафта 19%, сланцевий газ 16%, бітуми 15%, метан вугільних пластів 12%, газ в щільних

породах 7%. При цьому за межами аналізу компанії залишився метан газогідратів Світового океану, запаси якого можуть у декілька разів перевищувати запаси традиційного природного газу. Ці дані свідчать, що вже в недалекому майбутньому нетрадиційні вуглеводні стануть основним енергетичним ресурсом людства, а

вдосконалення технологій їх видобування стає провідним завданням сучасної науки і техніки.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Сланцевий газ

Сланцевий газ (англ. shale gas) – це природний газ, що міститься у низькопористих і погано проникних глинисто-алевритових осадових гірських породах, які у світовій практиці часто називають сланцями, і складається на 95% з метану.

Поклади «сланцевого газу» знаходяться у гірських породах змішаної літології, які є одночасно і нафтогазоматеринською породою і резервуаром.

Сланцевий газ міститься у невеликих кількостях (0,2 – 3,2 млрд. м³/км²), але за рахунок розтину великих площ можна одержувати значні об'єми такого газу.

Перша комерційна свердловина на сланцевий газ була пробурена у США у Фредонії, Нью-Йорк у 1821 році Вільямом Хартом (William Hart), який в США вважається «батьком природного газу».

Але щоб добути цей газ, потрібно пробурити велику кількість горизонтальних свердловин, кожна з яких дасть лише обмежений обсяг газу. Тому довгий час розробляти такі родовища було нерентабельно.

Згадати про сланцевий газ змусила нафтова криза 1970-х років. У результаті були відкриті колосальні родовища, з котрих виділялися чотири – Barnett, Haynesville, Fayetteville та Marcellus.

існує монополії на буріння надр. Окремі приватні фірми у 1990-х роках продовжували дослідження у цьому напрямку. Найбільшою та найуспішнішою з них виявилася компанія ChesapeakeEnergy.

Фахівці компанії реанімували старі методи – передусім горизонтальне буріння, коли введений у пласт буровий інструмент починали поступово відхиляти, спрямовуючи його у горизонтальне положення. Після цього у пробурених горизонтальних свердловинах створювався ефект гідродару за рахунок закачування води, піску і хімікатів (рис. 1). Усе це повинно було замінити буріння багатьох свердловин.

Старі методи стали успішними завдяки розвитку технологій та відкриттю нових матеріалів для бурового обладнання. Завдяки різкому зростанню видобутку сланцевого газу, названому в ЗМІ «газовою революцією», у 2009 році США стали світовим лідером з видобутку газу (745,3 млрд. м³).

На початку 2000-х років компанія Devon Energy у США розпочала масштабний промисловий видобуток сланцевого газу. У 2002 році компанія на родовищі Барнетт в Техасі вперше застосувала комбінацію похило-скерованого буріння (в тому числі горизонтального) та багатостадійного гідророзриву пласта (англ. hydraulic fracturing).

До початку 2012 року ціни на природний газ у США впали до рівня значно нижчого собівартості видобутку сланцевого газу, у результаті чого найбільша компанія з видобутку сланцевого газу Chesapeake Energy оголосила про скорочення виробництва на 8 %, а капітальних вкладень в буріння – на 70 %.

Слідом за успіхами США у розвитку технологій видобутку сланцевого газу та успішної адаптації цих технологій для видобутку нафти з щільних колекторів, у ряді інших країн також звертають все більшу увагу на розвиток відповідних технологій.

Незважаючи на те, що експерти деяких європейських країн вважають видобуток сланцевого газу екологічним лихом і забороняють його на рівні державних мораторіїв, Польща першою серед європейських держав заявила про початок буріння розвідувальних свердловин: навесні 2012 року компанія ExxonMobil пробурила дві свердловини, але визнала проект нерентабельним.

У листопаді 2012 року Європарламент більшістю голосів дав дозвіл країнам

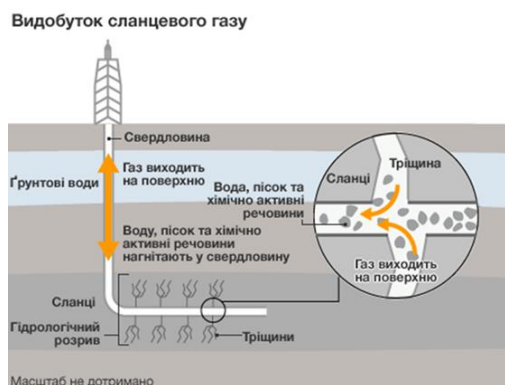


Рисунок 1 – Видобуток сланцевого газу

Проте у 1980-х роках криза завершилася, а технології видобутку як і раніше не дозволяли зробити цей процес економічно рентабельним. Технічній революції у газовидобутку сприяло те, що у США не

Євросоюзу на розвідку та видобування сланцевого газу. Парламентарі не підтримали вимогу фракцій ліберальних демократів та «зелених», що закликали до мораторію та наступної заборони на європейському рівні на використання технології гідророзриву пласта.

Згідно з даними 2011 року, агенції ЕІА обсяг досліджених і оцінених обсягів сланцевого газу в Україні становить 1,2 трлн. м³, що ставить Україну на четверте місце в Європі за обсягами резервів цього типу вуглеводнів після Польщі, Франції і Норвегії.

Влітку 2013 року у Харківській області розвідувальне буріння на свердловині «Біляївська-400», яке вела компанія Shell у рамках договору про спільну діяльність з ПАТ «Укргазвидобування», підтвердило наявність запасів сланцевого газу. У грудні 2013 року розпочато буріння другої свердловини у Харківській області – «Ново-Мечebilівська-100».

У березні 2015 року компанії «Shell» та «Укргазвидобування» повідомили про намір припинити дію договору про спільну діяльність, який передбачає пошук, розвідку та видобуток вуглеводнів на території Харківської області. Зокрема, йдеться про закриття свердловин «Біляївська-400» і «Ново-Мечebilівська-100». Причиною цього є те, що у процесі пошуково-розвідувального етапу робіт було встановлено, що подальша робота не є економічно доцільною.

На початку 2021 р. повідомлено, що Група Нафтогаз запустила в дослідно-промислову розробку перше родовище газу щільних порід (центрально-басейнового типу) — Святогірське (Юзівська площ^a)¹

Метан вугільних родовищ

Метан вугільних пластів (англ. *methane of coal deposits*), або шахтний метан впродовж багатьох років розглядався виключно як джерело вибухів і раптових викидів у шахтах у процесі видобутку вугілля.

Метан у вугіллі знаходиться у сорбованому на поверхні вугільних частинок стані, а також у розчиненому в органіці вугільної речовини і вільному стані у відкритих і закритих каналах і порах. Вміст газу у вугіллі залежить від глибини залягання пластів, ступеня вуглефікації вугілля, умов

залягання (структури) та багатьох інших чинників.

Як супутня корисна копалина шахтний метан використовується протягом останніх понад 50 років, переважно для енергетичних потреб шахт. На метан вугільних родовищ як самостійну корисну копалину звернули увагу лише після нафтової кризи 1973 року.

У США активне видобування шахтного метану почалося після ухвалення у 1980 році закону про альтернативні види палива, яким надавалася податкова знижка (tax credit), що дорівнює приблизно 15 – 20 доларів США на умовну тонну видобутого або використаного нетрадиційного газу.

Промислове видобування шахтного метану у США розпочалося у 1984 році, коли з 284 свердловин було отримано 280 млн. м³ газу.

Уже в 1992 році технологія видобування шахтного метану досягла такого високого рівня, що його собівартість стала у 2 – 3 рази нижчою за собівартість видобування природного газу. Основна частина вугільного газу у США видобувається на вугільних родовищах, де видобуток вугілля не проводиться або і зовсім не передбачається. Для запобігання шкідливому впливу на навколишнє середовище викидів метану із закритих шахт організовано його видобуток і подачу у газопроводи або використання як палива для котельних або енергоустановок.

У 1997 року число пробурених свердловин досягло 7300, а об'єм видобутку газу склав 32 млрд. м³.

У 2000 році число пробурених свердловин дорівнювало 8000, а об'єм видобування склав 35 млрд. м³. На вугільних родовищах США, переважна частина газу отримується за рахунок застосування методів інтенсифікації припливу, зокрема методу гідророзриву пластів. З полів діючих шахт США видобувається і використовується 1,8 млрд. м³ газу.

У 2008 році видобуток метану вугільних родовищ у США досяг піку в 1,97 TCF, коли він становив 7,8 відсотка видобутку газу в США. До 2018 року видобуток метану вугільних родовищ у США знизився до 0,95 TCF.

Позитивний багаторічний досвід утилізації метану із зупинених шахт накопичений у **Франції**. Останніми роками успішний комерційний видобуток газу із закритих шахт здійснюється у **Німеччині**.

¹ Нафтогаз запустив у роботу перше родовище газу щільних порід. <https://web.archive.org/web/20210122173353/http://oilreview.kiev.ua/2021/01/14/naftogaz-zapustiv-u-robotu-pershe-rodovishhe-gazu-shhilnix-porid/>

В Австралії комерційний видобуток газу з вугільних пластів почався в 1996 році в басейні Боуен у Квінсленді².

Внаслідок видобутку вугілля в Китаї викиди метану в атмосферу становлять 6—19 млрд м³ на рік. У 1996 році було засновано Китайську Об'єднану Корпорацію з метану з вугільних пластів (CUCBM). До 2009 року видобуток газу зріс до 700 мільйонів м³. У 2009 році розпочалося будівництво понад 3600 свердловин для його видобутку.

Наприкінці ХХ століття оцінені запаси метану вугільних родовищ ряду країн. Зокрема ресурси метану вугільних родовищ Китаю – 25 – 30 трлн. м³, США становлять 8,5 – 14 трлн. м³, Австралії – 6,0 трлн. м³, ФРН – 3 – 4 трлн. м³, України – 2,5 – 3,0 трлн. м³, Великобританії – 1,9 – 2,8 трлн. м³, Польщі – 1,6 – 2,0 трлн. м³.

В Україні до кінця ХХ ст. видобування метану вугільних пластів зумовлювалося лише вимогами техніки безпеки. Метан видобувається системами підземної і поверхневої дегазації через свердловини, пробурені у підземних гірничих виробках та з поверхні землі.

У 1980-ті роки ХХ століття у Донецькому вугільному басейні дегація здійснювалася на 115 – 120 шахтах із 272. Ефективність видобування метану тут не перевищувала 25 %. Із щорічно видобутих 800 млн. м³ метану використовувалося не більше 10 %, переважно для шахтних котелень.

В об'єднанні «Донецьквугілля» за 10 років зі всієї кількості метану, що виділився при видобутку вугілля, 80 % було викинуто в атмосферу системами вентиляції шахт, 18 % видобуто системами підземної дегазації шахт і 2 % – через свердловини, пробурені з поверхні. Метан, що міститься у вентиляційній суміші (концентрація 0,2 – 0,6 %) може використовуватися як дуттьове повітря енергетичних установок, проте ця технологія не знайшла практичного застосування. Отримана системами підземної дегазації метаноповітряна суміш на деяких шахтах має концентрацію метану 60 %, але як правило знаходиться в межах 25 – 30 %. Це обмежує її використання в енергетичних цілях.

В Україні є позитивний досвід вилучення й використання метану на вугільних

підприємствах. Наприклад, на шахтах Трудівська та ім. Засядька застосовуються попередня (з поверхні) і супутня (з виробок) дегація і використання метану, головним чином, для автотранспорту із застосуванням установок «Сінекс», побудовані і експлуатуються когенераційні електростанції потужністю 36 МВт електроенергії і 35 МВт — теплової енергії. Ці шахти повністю забезпечені власною електроенергією. Шахти «Краснолиманська», «Покровська», «Бажанова», «Холодна Балка», ім. Кірова, «Комунарська», «Щегловська-Глибока» використовують метан як паливо шахтних котелень. У шахтоуправлінні «Донбас», шахті «Чайкіно» та інших підприємствах ДХК ВАТ «Макіїввугілля», а також на шахтах «Комсомолець Донбасу» і «Краснодонська — Західна» метан використовується для обігріву шахтних стовбурів і запобігання їх обмерзання в зимовий час.³

У «Дніпровській Політехніці» (м.Дніпро) кафедра нафтогазової інженерії та буріння вважає пріоритетним підготовку фахівців спеціальності 185 з видобутку метану вугільних родовищ.

Газові гідрати

Газові гідрати (гідрати природних газів), або клатрати – це кристалічні сполуки, що утворюються за певних термобаричних умов з води і газу, які за зовнішніми ознаками подібні на звичайний лід. Гідрату-утворюючими газами можуть бути метан, етан, пропан, ізобутан та інші гази. Найпоширенішими газогідратами є гідрати метану – сполуки води з метаном, поклади яких у донних осадових породах морів та океанів є досить значними у різних частинах світу.

Назву «клатрати» (від лат. *clat (h) ratus* – «закритий ґратами, посаджений у клітку»), було дано дослідником Пауеллом у 1948 році. Клатратна природа газових гідратів, в яких молекули газу укладені в окремі осередки, утворені молекулами води за рахунок водневого зв'язку, підтверджена у 1950-ті роки після рентгеноструктурних досліджень Штакельберга і Мюллера, робіт Полінга та Клаусена. Історичні відомості, які наводять у своїх роботах Шнюков Є.Ф. свідчать, що у

² Geoscience Australia, Coal seam gas <https://web.archive.org/web/20131016025749/http://www.ga.gov.au/energy/petroleum-resources/coal-seam-gas.html>

³ В. І. Саранчук, В. В. Ошовський, Г. А. Власов, В. С. Білецький. Хімія і фізика горючих копалин. — Донецьк: Східний видавничий дім, 2008. — с. 600.

Чорному морі у 1920 – 1930-х роках спостерігалися виділення великої кількості горючих газів, які супроводжувалися спалахами та вибухами. Найбільш потужні спалахи були зафіксовані під час Кримського землетрусу (12.08.1927 р.) на відстані 55,5 км між Севастополем і мисом Лукул. Болгарські дослідники також стверджують, що викиди газу у Чорному морі відомі ще з часів Римської імперії.

Вперше газогідрати були відкриті англійським хіміком Гемфрі Деві у 1810 році. У 1888 році французький фізик і хімік Поль Віллар вперше у лабораторних умовах отримав гідрати вуглеводнів CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_2H_2 .

Газогідрати довгий час лишалися мало вивченими. У 1934 році Е.Г.Гаммершмідт (E.G.Hammershmidt) опублікував результати дослідження газопроводів США, робота яких ускладнювалася формуванням корків у зимовий час (<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ie50296a010>). Передбачалося, що утворюються крижані корки з конденсатної води. Гаммершмідт, спираючись на лабораторні дослідження, показав, що тверді корки складаються не з льоду, а з гідрату газу, який транспортується. Інтерес до газогідратів різко зріс. Потрібно було детально дослідити умови утворення газогідратів, створити ефективні засоби виключення ускладнень при трубопроводному транспорті газу.

Наступний період в історії дослідження газогідратів пов'язаний із відкриттям існування природних газогідратів, які відіграли одну із провідних ролей при формуванні планети, атмосфери та гідросфери Землі, але були невідомі.

Перше припущення про існування газогідратних покладів у районах вічної мерзлоти Канади у 1943 році зробив Д. Катц, професор Мічиганського університету, проте довести їх наявність бурінням свердловин тоді не вдалося. У 1946 році аналогічне припущення було висловлено професором Московського нафтового інституту ім. Губкіна Стрижовим І.М., проте доказової бази не було наведено. У 1963 році, коли в Росії (Якутія) була пробурена Мархинська свердловина глибиною 1850 м, яка на глибині 1450 м розкрила розріз порід з температурою 0°C , також було висловлено припущення про існування газогідратних скупчень в охолоджених пластах. На той час висловлена гіпотеза у багатьох викликала сумніви. Були потрібні докази можливості утворення гідратів у реальних пористих середовищах та формування газогідратних покладів.

Перші експериментальні дослідження умов утворення гідратів природного газу у пористому середовищі були виконані на кафедрі розробки газових родовищ Московського інституту нафтохімічної і газової промисловості ім. Губкіна. Отримані результати, які було викладено на науковій конференції молодих нафтовиків у Москві у квітні 1965 року, показали можливість утворення гідратів у пористих середовищах у реальних кернах і стали обґрунтуванням існування газогідратних покладів у надрах Землі.

Після комплексної міжнародної експерт-тизи, 24 грудня 1969 року Комітетом у справах винаходів і відкриттів СРСР було засвідчено, що автори Макогон Ю.Ф., Требін Ф.А., Трофимук А.А., Черський Н.В., Васильєв В.Г. зробили відкриття, яке визначається наступною формулою: *«Експериментально встановлена раніше невідома властивість природних газів утворювати у земній корі за певних термодинамічних умов поклади у твердому газогідратному стані»*.

У 1969 році почалася розробка Мессояхського родовища у Сибіру (Росія), де вперше вдалося вилучити природний газ безпосередньо із гідратів. Станом на 1990 рік на Мессояхському родовищі було видобуто до 36 % природного газу від загального обсягу газогідратних покладів.

Після доповіді на 11-й Світовій газовій конференції у червні 1970 року про результати лабораторних і промислових досліджень, відкриття одержало широкий міжнародний резонанс. Незабаром у ряді країн були створені національні програми досліджень і освоєння гідратних покладів.

У 1990-х роках дослідження були продовжені у лабораторіях США, Японії, Канади, Індії, Кореї, Німеччини та ін.

На межі ХХ – ХХІ ст. розвіданість ресурсів гідратів метану ще досить фрагментарна.

Світові запаси морських гідратів переважно приурочені до донних і піддонних покладів невеликої глибини залягання, оскільки вони характерні для материкових і острівних схилів до підніжжя і глибин внутрішніх і окраїнних морів. За оцінками фахівців, запаси газу, що містяться у метанових газових гідратах, у 100 разів більші за запаси газу з традиційних родовищ.

У 1998 році у **Канаді** на суші (дельта річки Макензі у північно-західній частині) пробурена свердловина, де на глибинах 819 – 1111 м виявлено пласт гідратів метану

потужністю 110 м. Ця свердловина уперше виявила гідрати метану і супутній їм «вільний газ» на глибині нижче рівня вічної мерзлоти.

Протягом останнього часу інтерес до проблеми газових гідратів у всьому світі значно посилюється. Вивчається поширення газових гідратів в океанах і криолітозоні материків, нестабільність при підвищенні температури і зниженні тиску. У деяких країнах уже розпочалося їх дослідно-промислове освоєння. Сьогодні морські газогідрати визнані фахівцями найперспективнішим альтернативним паливом у багатьох країнах, над їх розвідкою й освоєнням активно працюють у Франції, Німеччині, США, Канаді, Росії, Індії, Японії, Китаї, Україні.

США. Згідно з відомостями Адміністрації енергетичної інформації США, за різними оцінками світові запаси природного газу у формі газогідратів складають від 283 до 2831 трлн. м³. Однак, у зв'язку зі складністю використання метану з газогідратів, яка полягає у технологічних труднощах видобутку, а також у ризиках для довкілля та безпеки, пов'язаних з можливістю раптових викидів великої кількості метану, практичний видобуток на даному етапі розвитку технологій та із врахуванням наявних ресурсів природного газу з інших джерел у найближчі роки не розглядається.

На сьогодні усталеної технології видобутку гідрату метану поки не існує. Існують лише окремі дослідницькі проекти, які працюють над дослідженням та випробовуванням різних технологічних підходів для видобутку природного газу із газогідратів. Запропоновані і досліджувані технології видобутку метану із гідратів включають такі методи: термічний вплив, зниження тиску, і закачування інгібіторів гідратування.

За інформацією Програми з охорони навколишнього середовища ООН (UNEP Global Outlook on Methane Gas Hydrates), вивчення газогідратів проводилося або продовжується на 42 ділянках по всьому світі. Зокрема, у травні 2012 року компанія ConocoPhillips спільно з Департаментом енергетики США та Japan Oil, Gas and Metals National Corporation завершили практичний експеримент із видобутку природного газу із газогідратів на Алясці (рис. 2). Проект був ініційований для польового тестування технології видобутку метану із газогідратів шляхом заміщення метану двоокисом вуглецю. Тестова свердловина Ignik Sikumi-1

була пробурена у 2011 році, а видобуток метану тривав з січня по травень 2012 року. У свердловину, пробурену у товщі покладів газогідратів, під тиском закачувалась суміш азоту та двоокису вуглецю. Молекули двоокису вуглецю заміщували метан, формуючи гідрат діоксиду вуглецю, а вільний метан піднімався на поверхню. За час проведення експериментальних робіт було видобуто 24,2 тис. м³ метану.



Рисунок 2 – Свердловина для дослідження газогідратів на Алясці

За оцінками геологічної служби запаси гідрату метану у США становлять 9,6 трлн. м³.

В арктичних районах США та Канади запуснені експериментальні установки для видобутку гідрату метану, які на Алясці видали першу партію нової сировини. Арктичні поклади розташовані у вічній мерзлоті на глибині 500 метрів і нижче. У морських відкладеннях продуктивні пласти можуть мати кілометрову товщину. На даний час найбільш значні родовища гідратів метану розвідані у Канаді і на Алясці. В умовах арктичних температур гідрати можуть залишатися стабільними після витягання на поверхню.

У 2003 році Конгрес США виділив 42 млн. доларів на дослідження, пов'язані із видобутком метанового гідрату.

У 2006 році американський уряд направив на наукові дослідження газових гідратів 8,6 млн. доларів.

У 2007 році дослідження, що фінансуються із федерального бюджету, були сфокусовані на таких напрямках, як підтвердження можливості видобутку газових гідратів в Арктиці і вивчення можливості дистанційного виявлення та часткового визначення якісних характеристик арктичних газових гідратів.

В **Японії** на шельфі виявлені газогідратні родовища із значними запасами. У березні 2013 року Японська національна корпорація нафти, газу і металів (Japan Oil, Gas and Metals

National Corporation; JOGMEC) отримала приток метану зі свердловини глибиною 270 м, пробуреної у товщі осадових порід морського дна неподалік від берегів Японії, якою було відкрито шар метаногідратів потужністю 60 м. У проєкті використовувалася технологія дренажу або штучного зменшення тиску у пласті газогідратів, у результаті чого метан вивільняється і потрапляє до стовбура свердловини. За час тестування свердловини було видобуто близько 120000 м³ природного газу (близько 20000 м³ на добу). Крім того Японія спільно зі США, Канадою, Німеччиною та Індією здійснює проєкт видобутку газу з вічної мерзлоти у районі канадської провінції Маккензі.



Рисунок 3 – Спалення природного газу з газогідратів на факелі

Сьогодні серед інших країн дослідження у напрямку газогідратів ведуть Канада, Індія, Китай, Нова Зеландія, Тайвань, Бразилія, Чилі та Уругвай.

У 2017 році Геологічна служба Міністерства земельних і природних ресурсів **Китаю** повідомила, що експеримент із видобутку газових гідратів із родовища на дні Південно-Китайського моря закінчився «повним успіхом». Розробка родовища газових гідратів почалася 10 травня 2017 року. За перші 8 днів із родовища, розташованого на глибині понад 1200 м від поверхні моря і ще близько 200 м від поверхні дна, було отримано понад 120 тис. м³ газу із вмістом метану до 99,5 %.

Україна. За аналітичними даними Національного інституту стратегічних досліджень, у 1988 – 1989 роках експедиціями Міністерства геології і Академії наук СРСР були виявлені поклади газогідрату метану на шельфі Чорного моря. За мінімальними підрахунками об'єм метану у цих покладах оцінювався у 100 трлн. м³. З цих покладів на частку України припадає близько 25 трлн. м³ метану у газогідратних пластах,

розташованих вздовж Південного берега Криму, зокрема у западині Сорокіна, глибина якої 2000 м. На дні Чорного моря газогідратні поклади розташовані на глибині 300 – 1000 м, а під його дном у середньому на глибинах від 400 – 500 м до 800 – 1000 м.



Рисунок 4 – Брила гідрату метану на дні моря

У 1993 році Кабінет Міністрів України постановою «Про пошуки газогідратної сировини у Чорному морі і створення ефективних технологій її видобутку і переробки» підтримав розроблену українськими науковцями програму «Газогідрати Чорного моря». Проте на реалізацію програми не було передбачено фінансування із державного бюджету.

Через відсутність фінансування у 1990-х роках виконання програми обмежилось лише кількома експедиціями і лабораторними дослідженнями, тому мало обмежені практичні результати.

Інститут геологічних наук НАН України провів низку експедицій і досліджень, у результаті яких у донних шарах Чорного моря були виявлені концентрації метану та струменеві метанові газовиділення, які вказують на наявність газогідратів. Було також виявлено перспективні для видобутку газогідратів структури, з'ясовано фізико-хімічні особливості формування газогідратів, створено комплекс спеціалізованої геофізичної апаратури для пошуку газогідратів а також розпочато будівництво науково-дослідного судна.

Вивченням покладів газогідратів в Україні активно займаються також Інститут біології південних морів імені О.О. Ковалевського НАН України спільно з Центром морських екологічних наук Бременського університету (MARUM), якими було проведено 4 спільних морських експедицій у 2002, 2007, 2010 і 2011 роках.

У травні 2010 року на борту сучасного німецького наукового судна *Maria S. Merian* протягом двох місяців перспективи видобутку газогідратів досліджували вчені Інституту біології південних морів НАН України та фахівці бременського науково-дослідницького Центру екології моря MARUM (рис. 5). Дослідження проводилися поблизу грязьових вулканів у западині Сорокіна неподалік від Севастополя. Аналіз відібраних проб осадових відкладів підтвердив наявність газогідратів. Аналіз газу відібраних проб продемонстрував, що головним компонентом газової суміші був метан, а також у незначних кількостях містилися двоокис вуглецю, етан і пропан.



Рисунок 5 – Експедиція німецького судна *MARIA S. MERIAN*

У 2011 році експедиція на судні *Meteor* здійснила тестове буріння в осадових покладах Чорного моря за допомогою спеціального обладнання (*Drill Rig MeBo*). Максимальна глибина буріння склала 19 метрів. Було пробурено 52,15 м з відбором керну осадових порід загальною довжиною 40 м. У відібраних зразках породи (керні) була зафіксована наявність газогідратів. В українській частині Чорного моря під час даної експедиції тестове буріння осадових покладів не проводилося, але були відібрані проби поверхневих придонних порід і підтверджено наявність газогідратів у западині Сорокіна та в районі Керченської протоки.

Дослідження газогідратів Чорного моря проводяться також за проектом *SUGAR – Submarine Gas Hydrate Reservoirs*, започаткованим у 2008 році у Німеччині, який координується Інститутом морських досліджень Лейбніца в Кілі (*Leibniz Institute of Marine Sciences*). Так, з грудня 2013 по січень 2014 року відбувалися експедиції

судна *MARIA S. MERIAN* для дослідження покладів газогідратів у районі дельти Дунаю.

Слід відзначити, що дослідження перспектив видобутку газогідратів у Чорному морі і, зокрема, в українських його ділянках досі перебувають на початковій стадії і поки що не передбачають видобутку природного газу.

Проте у результаті геофізичних досліджень на схилі північно-західного шельфу Чорного моря (акваторія палеodelьти Дніпра) встановлені розмір і потужність донних газогідратонасичених відкладень, запропоновано місце розташування першої дослідно-промислової свердловини. В Одеській «Академії холоду» розроблено технологію добування метану з газогідратів, а також інноваційний проект «Метан – з газогідратів Чорного моря».

На сьогодні за оцінками науковців, запаси природного газу у покладах газогідратів української акваторії Чорного моря становлять 45 – 75 трлн. м³.

За прогнозами фахівців, кількості метану у газогідратах може вистачити для всього людства на 6 тисяч років.

Біогаз

Біогаз – узагальнена назва горючої газової суміші, що одержується при природному розкладанні речовин органічного походження у результаті анаеробного мікробіологічного процесу (метанового бродіння).

Історія розвитку біогазових технологій відноситься до стародавніх часів. Першими використовувати енергію біогазу почали китайці ще за сотню років до нашої доби.

Окремі випадки використання примітивних біогазових технологій були зафіксовані у Китаї, Індії, Ассирії і Персії починаючи з XVII століття до нашої доби.

У II столітті н. д. на території сучасної Німеччини існували примітивні біогазові установки. Алеманам, що населяли заболочені землі басейну Ельби, ввижались дракони у корчах на болоті. Вони вважали, що горючий газ, який скупчується в ямах на болотах – це смердюче дихання дракона. Щоб задобрити дракона у болото кидали жертвопринесення і залишки їжі. Люди вірили, що дракон приходить уночі і його подих залишається в ямах. Алемани шили зі шкіри тенти, накривали ними болото і відводили газ по шкіряних трубках до свого житла та спалювали його для приготування їжі.



Рисунок 6 – Виробництво біогазу у Китаї

У XVII столітті Ян Баптист ван Гельмонт виявив, що розкладаючись, біомаса виділяє займисті гази. Проте систематичні наукові дослідження біогазу почалися лише у XVIII столітті нашої доби.

У 1764 році Бенджамін Франклін у своєму листі Джозефу Прістлі описав експеримент, у ході якого він зміг підпалити поверхню заболоченого озера у Нью Джерсі, США.

Перше наукове обґрунтування горіння болотних газів, встановлення наявності метану у болотному газі і метанове бродіння було відкрито і досліджене у 1776 році італійським фізиком і фізіологом Алесандро Вольтою. Алесандро Вольта прийшов до висновку про існування залежності між кількістю біомаси, котра розкладається, і кількістю газу, який виділяється.

Після відкриття хімічної формули метану Дальтоном у 1804 році, Європейськими вченими були зроблені перші кроки у дослідженнях практичного застосування біогазу. У 1808 році британський фізик і хімік Хемфрі Деві виявив метан у біогазі.

Перші відомості про практичне використання європейцями біогазу, отриманого із сільськогосподарських відходів, відносяться до 1814 року, коли Хемфрі Дейві зібрав біогаз при дослідженні агрохімічних властивостей гною великої рогатої худоби. Для збору відходів, починаючи з 1881 року, стали використовуватися закриті ємності, які, після невеликої модифікації, отримали назву "септик".

У 1859 році у Бомбеї (Індія) була побудована перша задокументована біогазова установка.

У 1875 році російський вчений Попов вивчив вплив температури на генерацію біогазу, що виділяється із органічної сировини. Він з'ясував, що річкові

відкладення починають виділяти біогаз при температурі близько 6°C. При підвищенні температури до 50°C, кількість газу, що виділяється значно збільшується, не змінюючись за складом – 65 % метану; 30 % вуглекислого газу, 1 % сірководню і незначна кількість азоту, кисню, водню та закису вуглецю.

Український вчений-мікробіолог Омелянський В.Л. детально дослідив природу анаеробного бродіння, він показав, що у цьому процесі беруть участь бактерії.

Незабаром після цього, у 1881 році почалися дослідження європейських вчених з використанням біогазу для обігріву приміщень і освітлення вулиць. Починаючи з 1895 року, вуличні ліхтарі в одному з районів міста Ексетер (Англія), забезпечувались газом, який утворювався у результаті бродіння стічних вод і збирався у закриті ємності. Починаючи з 1897 року, очищення вод у цьому місті проводилася в ємностях, з яких збирали біогаз і використовували для обігріву та освітлення.

У 1897 році з'явилося повідомлення про отримання біогазу у Бомбеї, де газ збирався у колектор і використовувався в якості моторного палива у різних двигунах.

У період Першої світової війни почалося поширення біогазових установок по Європі, пов'язане з дефіцитом палива. Господарства, що мали такі установки, знаходилися у більш сприятливих умовах, хоча установки були ще недосконалі і у них використовувалися далеко не оптимальні режими.

На початку XX ст. були продовжені дослідження у галузі збільшення кількості виділеного біогазу при підвищенні температури бродіння. Німецькі вчені Імхофф і Бланк у 1914 – 1921 роках запатентували ряд нововведень, які полягали у запровадженні постійного підігріву ємностей з біомасою.

Перший великомасштабний завод із виробництва біогазу був побудований у 1911 році в англійському місті Бірмінгемі і використовувався для знезараження осаду стічних вод цього міста. Вироблюваний біогаз використовувався для виробництва електроенергії. Таким чином, англійські вчені стали піонерами практичного застосування технології виробництва біогазу. Вже до 1920 року вони розробили декілька типів установок для переробки стічних вод. Перша біогазова установка для переробки твердих відходів об'ємом 10 м³ була розроблена Ісманом і Дюсельє і побудована в Алжирі у 1938 році.

Одним із найважливіших наукових кроків у розвитку біогазових технологій стали експерименти Бусвелла у 30-х роках ХХ століття з комбінування різних видів органічних відходів з гноєм в якості сировини.

У 1930 році були виявлені бактерії, що беруть участь у процесі вироблення біогазу.

У роки Другої світової війни, коли енергоносії катастрофічно не вистачало, у Німеччині і Франції був зроблений акцент на отримання біогазу з відходів сільськогосподарського виробництва, головним чином із гною тварин. У Франції до середини 40-х років ХХ ст. експлуатувалося близько 2 тис. біогазових установок для переробки гною. Цілком природно, цей досвід поширювався на сусідні країни. Установки для виробництва біогазу існували і в Угорщині. За свідченнями військовослужбовців Радянської Армії у часи Другої світової війни, у селянських господарствах гній худоби не лежав у купах, а завантажувався у закриті ємності, звідки одержували горючий газ.

В СРСР дослідження біогазу проводились починаючи з 1940-х років. У 1948 – 1954 роках була розроблена і побудована перша лабораторна установка з виробництва біогазу. Однак технологія не отримала широкого поширення через дешевизну природних енергоресурсів. У зв'язку з енергетичною кризою у середині 1970-х років інтерес до енергозберігаючих технологій зріс, і у 1981 році при Держкомітеті з науки і техніки була створена спеціалізована секція за програмою розвитку біогазової галузі. Було створено кілька установок дослідного характеру. Найбільшим центром по розробці установок був Запорозький конструкторсько-технологічний інститут сільськогосподарського машинобудування. Було побудовано 10 комплектів обладнання з виробництва біогазу, два з яких експлуатувались в Україні. Одна з таких установок, що працювала у Білорусії, виробляла 400 – 500 м³ газу на добу з 50 м³ гною.

Європейські установки довоєнного періоду не витримали конкуренції у післявоєнний час з боку дешевих енергоносіїв (рідке паливо, природний газ, електроенергія) і були демонтовані. Вагомим імпульсом для їх розвитку на новій основі стала енергетична криза 1970-х років, коли почалося стихійне впровадження біогазових установок у країнах південно-східної Азії. Висока густота

населення й інтенсивне використання всіх придатних для вирощування сільськогосподарських культур площ землі, а також досить теплий клімат, необхідний для використання біогазових установок у найпростішому варіанті – без штучного підігріву сировини, стали основою різних національних і міжнародних програм із впровадження біогазових технологій. Сьогодні біогазові технології стали стандартом очищення стічних вод і переробки сільськогосподарських та твердих відходів і використовуються у більшості країн світу.

У більшості розвинених країн переробка органічних відходів у біогазових установках частіше використовується для виробництва теплоенергії й електрики. Вироблена таким чином енергія становить близько 3 – 4 % всієї споживаної енергії в європейських країнах. Використання електроенергії і тепла, виробленого за допомогою анаеробної переробки біомаси, в Європі зосереджено, в основному в Австрії, Фінляндії, Німеччині, Данії та Великобританії.

У **Швеції, Фінляндії, Австрії**, де держава стимулює використання біогазу (держава викупує електроенергію за «зеленим тарифом»), на частку виробництва енергії з нього припадає 15 – 20 %. Біогаз йде на виробництво тепла й електрики.

У **Німеччині**, за даними Німецької біогазової асоціації, у 2007 році налічувалося близько 4 тис. біогазових установок.

В **Австрії** кількість біогазових установок з об'ємом реакторів понад 2 тис. м³ становить понад 120.

У **Швеції** енергія біомаси виробляє 50 % необхідної теплової енергії.

В **Англії**, на батьківщині першого промислового біогазового реактора, за допомогою біогазу ще у 1990 році вдалося покрити всі енерговитрати у сільському господарстві. У Лондоні діє один з найбільших у світі комплексів з переробки побутових стічних вод.

Україна має великий потенціал у виробництві біогазу, проте на даний час доля біоенергетики у державі займає близько 3 %. Наявні лише поодинокі приклади впровадження біогазових технологій.

США. У 30-ті роки ХХ ст. досвід Європи був перенесений у США. У 1939 році тут була побудована біогазова установка з переробки тваринницьких відходів, яка успішно працювала протягом більш ніж 30 років. У 1954 році в Форт-Доджі був

побудували перший завод з переробки комунальних відходів з отриманням біогазу. Зараз у США налічується кілька сотень великих біогазових установок, з переробки відходів тваринництва і тисячі установок з утилізації міських стічних вод. Біогаз з установок використовується для опалення будинків і теплиць та для отримання електрики.

У країнах, що розвиваються широко поширене виробництво енергії і тепла за допомогою біогазових установок.

У **Китаї** перші біогазові установки з'явилися у заможних господарствах у 1940-х роках. З 1970-х років ведеться дослідницька робота по біогазовим установкам за підтримки уряду.

У сучасний період у Китаї, завдяки глибоким історичним корінням і програмам державної підтримки галузі, біогазові технології використовуються дуже широко. У 2000 році тут налічується близько 30 млн. біогазових установок. Китай є світовим лідером з впровадження технологій виробництва біогазу у сільських районах. Понад 31 млн. сімей користуються біогазом, ця цифра постійно зростає. Типова китайська установка має об'єм близько 6 – 8 м³, виробляє 300 м³ газу на рік і коштує приблизно \$ 200 – 250. З 2002 року уряд інвестує у розвиток біогазових установок щорічно близько 200 млн. доларів. Приблизно 50 % вартості установки компенсується державою.

В **Індії** ще у 1859 році була побудована біогазова установка у колонії хворих на проказу для переробки рідких і твердих відходів. У 1970-х роках за державної підтримки відбулося зростання кількості установок. У даний момент у країні працює близько 3,7 млн. установок, з розвитком галузі уряд надавав субсидії для їх будівництва і експлуатації, навчання фермерів, відкриття і роботи сервісних центрів.

У **Непалі** з розвитком біогазових технологій було відзначено значне збільшення річних заощаджень від заміни гасу, дров і вугілля на енергію, що отримується від біогазу. Під час реалізації програми було засновано 60 фірм-виробників установок, близько 100 організацій, які надають кошти на фінансування будівництва установок, прийняли стандарти якості для установок, займалися інтенсивним розвитком ринку біогазових технологій.

На **Філіппінах** біогазові установки виробляють газ для роботи моторів, що працюють на іригацію.

В Азії та Латинській Америці установки використовують для утилізації стічних вод, виробництва енергії та добрив.

У даний час інтерес до біогазових установок зростає, чому сприяє висока вартість енергоресурсів. Крім того, у силу специфічності вихідної сировини для установок, потреба у розвитку біогазових технологій може ґрунтуватись на утилізації стічних вод, очищенні індустріальних стічних вод, переробці сільськогосподарських та твердих побутових відходів.

Енергія, отримана з біогазу, належить до відновлюваної, оскільки виробляється із органічного поновлюваного субстрату. Фактом є те, що викопні енергоносії на Землі закінчуються й існує нагальна потреба в альтернативних джерелах, що додає ще більшого значення виробництву біогазу на біогазових установках. Крім того, енергетичне використання біогазу порівняно зі спалюванням природного газу, зрідженого газу, нафти і вугілля є нейтральним по відношенню до CO₂, оскільки CO₂, що виділяється, перебуває у межах природного кругообігу вуглецю і споживається рослинами протягом вегетаційного періоду. Таким чином, концентрація CO₂ в атмосфері порівняно з використанням твердого палива не збільшується.

ВИСНОВКИ

Введено у науковий обіг інформацію з історії видобутку та одержання нетрадиційного вуглеводневого газу та розвитку технологій його видобування, зокрема, сланцевого газу, метану вугільних родовищ, газових гідратів, біогазу.

У 2014 році компанія «Нафтогаз України» приєдналася до системи відображення даних AGSI+ за стандартами асоціації європейських операторів підземних газових сховищ (GSE). Укртрансгаз та Gaz-System підписали Угоду щодо інтеграції ГТС Польщі та України, зокрема, про будівництво нового інтерконектора між країнами

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. – Москва: Химия, 1980. – 296 с.
2. Біогаз // Енергоресурс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://energetyka.com.ua/statti/biotoplivo/538-biohaz>

3. Биогаз: основы производства // *Альтернативные топлива, энергетика* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=444
4. Бугай Ю.Н., Балакиров Ю.А. Газогидратные месторождения. К., МНТУ, 2001. – 170 с.
5. Василев А., Димитров Л. Оценка пространственного распределения и запасов газогидратов в Черном море // *Геология и геофизика*. – 2002. – Т. 43. – №7. – С. 672 – 684.
6. Воробьев А.Е., Молдабаева Г.Ж., Чекушина Е.В. Научный анализ мировых запасов аквальных залежей газогидратов // *Геология и геофизика* №7. т. 43, 2002. – С. 18 – 26
7. Перспективи та проблеми видобування метану із газогідратів в українському секторі Чорного моря / О.О. Волович // *Національний інститут стратегічних досліджень. Аналітична записка* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://www.niss.gov.ua/articles/1259/>
8. Газогідрати в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://shalegas.in.ua/gazogidraty-v-ukrayini/>
9. Биогаз – альтернативное топливо будущего / У. Громова // *Pronedra.ru* 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : <https://pronedra.ru/alternative/2012/07/10/biogaz>
10. Дядин Ю.А., Гуцин А.Л. Газовые гидраты. // *Соросовский образовательный журнал*, №3, 1998, с. 55 – 64.
11. История использования биогаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : <http://ekotenk.com.ua/info/hist/>
12. Історія розвитку біогазових технологій [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <http://teplozond.ru/energetichni-ta-ekologichni-aspekti/istoriya-rozvitku-biogazovix-technologij.html>
13. История использования биогаза [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : <http://ekotenk.com.ua/info/hist/>
14. Коллет Т.С., Льюис Р., Такаши У. Растущий интерес к газовым гидратам. // *Schlumberger, Нефтегазовое обозрение*, осень 2001. – т. 6. – №2. – с. 38 – 54.
15. Кузнецов Ф.А., Истомина В.А., Родионова Т.В. Газовые гидраты: исторический экскурс, современное состояние, перспективы исследований // *Российский химический журнал*, 2003. – т. 48. – №3. – с. 5 – 18.
16. Макогон Ю.Ф. Природные газовые гидраты: распространение, модели образования, ресурсы. // *Российский химический журнал*, 2003. – т. 48. – №3. – с. 70 – 79.
17. Макогон Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения. Геология и полезные ископаемые Мирового океана Техасский университет, 2010. – №2.
18. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. – Москва: Недра, 1974. – 208 с.
19. Макогон Ю.Ф. Особенности Эксплуатации Месторождений Природных Газов в Зоне Вечной Мерзлоты. Москва, ЦНТИ, Газовая Промышленность, 1966. – С. 19.
20. Мала гірнича енциклопедія: в 3 т. / укл. В.С. Білецький. – Донецьк: Донбас, 2004. – ISBN 966-7804-14-3.
21. Перспективи біогазу в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : <https://www.epravda.com.ua/columns/2013/07/3/383399/>
22. Перспективи виробництва теплової енергії з біомаси в Україні. Аналітична записка // *Біологічна асоціація України №6* 2013. – 23 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL : http://www.journal.esco.co.ua/industry/2013_6/art215.pdf
23. Рябцев Г.Л., Сапегин С.В., Кривогуз М.И. Нетрадиционные углеводороды. – К.: Психея, 2014. – 352 с.
24. Соловьёв В.А. Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое. // *Российский химический журнал*, т. 48, №3, 2003, с. 59 – 69.
25. To the history of gas hydrates discovery / Yu.F. Makogon // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. – 2015. – № 1. – С. 91 – 96.
26. Шнюков Е.Ф. Газогидраты метана в Черном море // *Геология и полезные ископаемые Мирового океана*. – 2005. – №2. – С. 41 – 52.
27. Газогідрати. Гідратоутворення та основи розробки газових гідратів: Монографія. / В. І. Бондаренко та ін. — Дніпропетровськ: Літограф. 2015. — 219 с.
28. Педченко М. М. Гідратоутворення вуглеводневих газів: монографія / М. М. Педченко; за ред. В. С. Білецького — Полтава: ПолтНТУ, 2014. — 182 с.
29. Українська нафтогазова енциклопедія / за загальною редакцією В. С. Іванишина. — Львів : Сполом, 2016. — 603 с.
30. Нетрадиційний природний газ у світі та Україні: запаси та перспективи видобутку / М. О. Кизим, О. В. Лелюк. — Х. : ІНЖЕК, 2012. — 155 с.
31. Історія та перспективи нафтогазовидобування: навчальний посібник / Білецький В. С., Гайко Г. І., Орловський В. М. — Львів: Видавництво «Новий Світ — 2000», 2019. — 302 с.
32. Глумачно-термінологічний словник-довідник з нафти і газу: (5-ти мовний укр.-рос.-англ.-фр.-нім.): в 2 т. / В. С. Бойко, Р. В. Бойко. — Київ, 2004—2006. — Т. 1 : А-К: близько 4800 ст. — Київ: Міжнар. екон. фундація, 2004. — 551 с

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Актуальність проблеми. Стаття присвячена історії становлення вітчизняної нафтогазової промисловості. Нафта і природний газ є сировиною для хімічної галузі та паливно-енергетичного комплексу.

Мета. Простеження і введення у науковий обіг основних подій, фактів, технічних та технологічних рішень, які визначили розвиток нафтової і газової промисловості на теренах України у XVIII–XX ст.

Методи і апаратура. Літературний огляд, залучення архівних матеріалів, опис техніки і технології видобування нафти і природного газу в Україні.

Результати. Простежено послідовність подій, які розкривають технологічний та технічний розвиток видобутку нафти і природного газу в Україні, зокрема в Західному, Східному і Південному нафтогазовидобувних регіонах України.

Наукова цінність розробки. Введення у науковий обіг основних подій, фактів, технічних та технологічних рішень, які визначили розвиток нафтової і газової промисловості на теренах України у XVIII – XX ст.

Практичне значення. В Україні виявлені родовища зі значними прогнозними ресурсами нафти, природного газу та газоконденсату. Їх запаси дають можливість Україні забезпечувати власні потреби паливно-енергетичного комплексу і хімічної промисловості та експортувати вуглеводневу продукцію європейським споживачам.

Ключові слова: *нафтогазова промисловість України, зародження нафтогазової промисловості, родовища нафти і газу, історія видобування нафти і газу.*

ABSTRACT (IN POLAND)

Pilność problemu. Artykuł poświęcony jest historii powstania krajowego przemysłu naftowego i gazowego. Ropa i gaz ziemny to surowce dla przemysłu chemicznego i kompleksu paliwowo-energetycznego.

Bramka. Prześledzenie i wprowadzenie do obiegu naukowego głównych wydarzeń, faktów, decyzji technicznych i technologicznych, które zdeterminowały rozwój przemysłu naftowego i gazowego na terenie Ukrainy w XVIII–XX wieku.

Metody i sprzęt. Przegląd literatury, wykorzystanie materiałów archiwalnych, opis techniki i technologii wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego na Ukrainie.

Wyniki. Prześledzono sekwencję wydarzeń, które ujawniają rozwój technologiczny i techniczny wydobywania ropy naftowej i gazu ziemnego na Ukrainie, w szczególności w zachodnich, wschodnich i południowych regionach wydobywania ropy i gazu na Ukrainie.

Naukowa wartość rozwoju. Wprowadzenie do obiegu naukowego głównych wydarzeń, faktów, rozwiązań technicznych i technologicznych, które zdeterminowały rozwój przemysłu naftowego i gazowego na terenie Ukrainy w XVIII - XX wieku.

Praktyczne znaczenie. Na Ukrainie odkryto złoża o znacznych prognozowanych zasobach ropy naftowej, gazu ziemnego i kondensatu gazowego. Ich rezerwy umożliwiają Ukrainie zaspokojenie własnych potrzeb w kompleksie paliwowo-energetycznym i przemyśle chemicznym oraz eksport produktów węglowodorowych do konsumentów europejskich.

Słowa kluczowe: *przemysł naftowo-gazowy Ukrainy, geneza przemysłu naftowego i gazowego, złoża ropy i gazu, historia wydobywania ropy i gazu.*

ABOUT AUTHORS

V. M. Orlovskyy PhD, associate professor (Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine), e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354

V.S. Biletskyi Dr. Sci. (Engin.), Professor (National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”), ukcdb@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2936-9680>

V. O. Podchernina is a graduate (Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine)



УДК 622.7

ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ КОЛОННИХ МАШИН ПРИ ФЛОТАЦІЇ ВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ НА ЗБАГАЧУВАЛЬНІЙ ФАБРИЦІ «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА»,

Анатолій Редька¹, Анатолій Самойлов²,

¹ Генеральний директор ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА»,
тел. +380503471759, e-mail: a.n.redka@metinvestholding.com

² Інженер-технолог ТОВ «ЗБАГАЧУВАЛЬНА ФАБРИКА «СВЯТО-ВАРВАРИНСЬКА», кандидат технічних наук, тел. +380951058139, e-mail: anatoliy.samoylov@metinvestholding.com

EXPERIENCE OF USING COLUMN MACHINES FOR THE FLOTATION OF FINE COAL SLIMES AT THE PREPARATION PLANT "SVIATO-VARVARYNSKA"

Anatolii Redka¹, Anatolii Samoilo²,

¹ General Director of "PREPARATION PLANT "SVYATO-VARVARYNSKA" LLC, tel. +380503471759,
e-mail: a.n.redka@metinvestholding.com

² Process engineer of "PREPARATION PLANT "SVYATO-VARVARYNSKA" LLC, candidate of technical sciences,
tel. +380951058139, e-mail: anatoliy.samoylov@metinvestholding.com

ABSTRACT

Information is provided on the experience of modernizing the design scheme of the flotation section of the PP «Svyato-Varvarinskaya» and the results of studies of the influence of pulp parameters on the quality of fine slime flotation products. The need to reduce the pulp load on the column and increase the solid phase content in the flotation feed to increase the efficiency of enrichment has been shown. Information is provided on the parameters of the flotation process of fine coal slimes in column machines, which ensure the production of waste with an ash content of 82 – 83 % with the required concentrate quality. It has been established that column machines, in comparison with mechanical type machines, are more efficient when the solid phase size is less than 0,25 mm.

Key words: fine coal slimes, flotation, flotation machine column, technological scheme, process parameters, product quality

У рядовому вугіллі, що добувається в Україні та надходить на збагачувальні фабрики, з кожним роком збільшується кількість шламів розміром до 1 мм і в окремих випадках їх частка сягає 40 % [1]. Це обумовлено погіршенням гірничо-геологічних умов, підвищенням рівня механізації та подовженням конвеєрних систем з багаторазовими пересипами у зв'язку з віддаленням видобувних ділянок.

У процесах підготовки вугілля до збагачення та у операціях їх переробки має місце вторинне шлагоутворення [2], що збільшує обсяг шламів крупністю 0 – 1 мм ще майже на 30 %. Таким чином, при переробці вугілля з максимально можливою ефективністю все більшу актуальність набуває удосконалення технології флотації, яка є

практично єдиним методом збагачення тонких шламів. Зокрема це стосується застосування сучасного апаратурного обладнання, що найбільш відповідає характеристикам живлення флотації.

Збагачення вугільних шламів на фабриках України здійснюється переважно у флотаційних машинах механічного типу з об'ємом камер до 25 м³. Ці апарати забезпечують достатню високу технологічну ефективність переробки шламів крупністю менше 0,5 мм при вмісті твердого в пульпі вище 70 кг/м³ [3 – 5].

На сучасних вуглезбагачувальних фабриках, де з метою зниження витрат на переробку зернисті шлами крупністю 0,15 (0,3) – 0,5 (1,0) мм збагачують гравітаційними методами, вихідний продукт флотації з тонкими шлами суттєво

розріджується (до 40 – 50 кг/м³). У цих умовах більш конкурентоспроможними є колонні флотомашини, які отримали широке застосування за кордоном [6].

На відміну від механічних машин для колонних апаратів характерні [7]:

- висока ймовірність зіткнення частинок з бульбашками в умовах протитечійного руху та довгого шляху переміщення фаз внаслідок значної висоти колони;

- низький рівень турбулентності, що сприяє збереженню комплексів «бульбашка – вугільне зерно» та підвищенню селективності флотації;

- великий ступінь аерації та можливість регулювання витрати та дисперсності повітря;

- регулювання якості концентрату за рахунок зрошення пінного продукту;

- малі капітальні витрати та витрати електроенергії;

- знижена у 3 – 5 разів необхідна площа виробничих приміщень.

Як правило, у світовій практиці флотації в колонах із системою аерації SlamJet® піддаються вугільні шлами крупністю менше 0,15 мм або 0,04 – 0,15 мм [6]. Останній варіант спрощує процес зневоднення флотоконцентратів, знижує витрати на переробку, проте супроводжується втратами корисного продукту зі шламом, меншим за 0,04 мм.

При розробці технологічної схеми на ЗФ «Свято-Варваринська» застосовано унікальний для світової практики варіант із роздільною колонною флотацією середньозернистого (0,04 – 0,2 мм) та тонкого (менше 0,04 мм) шламу, що дозволило мінімізувати втрати паливної маси та вирішити питання глибокого механічного зневоднення з одержанням кінцевого товарного продукту вологістю до 9 % без використання дорогого та екологічно шкідливого процесу термічного сушіння. Розділення шламу перед флотацією передбачалося у гідроциклонах діаметром 150 мм.

Згідно з проектом, на кожній з двох секцій, що працюють паралельно, було встановлено по дві флотаційні колони CoalPro компанії СРТ (Канада) для пісків класифікації і стільки ж апаратів для збагачення тонкого шламу. На рис. 1 наведено проектну схему однієї секції відділення флотації ЗФ «Свято-Варваринська».

Після пуску фабрики в експлуатацію показники роботи флотоколон були незадовільними і нестабільними: зольність відходів флотації не перевищувала 67 – 70 %. Аналіз роботи флотаційного відділення показав необхідність адаптації апаратурного оформлення технологічної схеми до властивостей сировини, що переробляється, оптимізації навантаження на апарати і коригування параметрів роботи системи аерації.

Зокрема, було виявлено недостатнє питоме навантаження на погонний метр переливних порогів концентрату для машин, що флотують піски гідроциклонів.

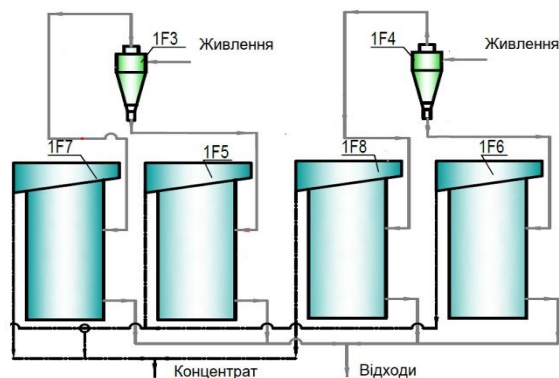


Рисунок 1 – Проектна схема однієї секції відділення флотації ЗФ «Свято-Варваринська».

У відсутності піногонів знижене навантаження по пінному продукту в поєднанні з великою довжиною переливних порогів не забезпечувала своєчасного видалення концентрату, призводила до ущільнення піни, підвищувала ймовірність винесення з флотоагрегатами частини паливної маси у відходи. Інтенсифікація процесу видалення концентрату флотації за рахунок підвищення витрат реагента-спінювача, як рекомендували співробітники компанії СРТ, призводила до запінювання водно-шламової системи. У зв'язку з цим було прийнято та реалізовано рішення щодо флотації пісків в одній машині на кожній секції. Це дозволило підвищити ефективність збагачення шламу та збільшити зольність відходів флотації на 5 – 7 %. Дві флотаційні колони, що вивільнилися, були використані для флотації тонких шламів і це знизило навантаження по пульпі на апарати цієї операції більш ніж на 30 % (до 520 м³/год).

Для зниження об'ємного навантаження на флотаційні колони тонких шламів за рахунок використання зливу магнітних сепараторів було зменшено кількість оборотної води, що подавалась для відмивання магнетиту від продуктів збагачення у відділенні гравітації, упорядковано регулювання рівня пульпи в зумпфах, змінено алгоритм підтримки заданих параметрів у колекторах системи аерації флотоколон. У результаті обсяг пульпи, що надходив на флотацію, знизився ще на 15 – 20 %. Виконані заходи дозволили суттєво покращити результати збагачення шламів та досягти зольності відходів флотації пісків та зливу гідроциклонів на рівні 86 – 88 % та 77 – 79 % відповідно.

Однак, великий обсяг оборотної води, який все ще використовувався для роботи гравітаційного відділення фабрики і надходив у кінцевому рахунку зі зливом гідроциклонів на флотаційні колони тонких шламів, визначав відносно високу низхідну швидкість пульпи в апаратах і не забезпечував достатнього часу флотації. Для пошуку шляхів подальшого підвищення ефективності флотації тонких шламів було проведено дослідження на одній із флотаційних колон, що збагачувала злив гідроциклонів.

Обробка отриманих даних дозволила отримати статистично значуще рівняння множинної регресії, що визначає залежність зольності відходів $A_{від}^d$ від параметрів живлення флотації (зольність твердої фази $A_{т}^d$, вміст твердого р і навантаження колони по пульпі V) у вигляді

$$A_{від}^d = f(A_{т}^d, p, p^2, V, V^2)$$

Значення коефіцієнта детермінації рівняння регресії $R^2 = 0,952$ свідчить про коректний опис якості відходів при зміні прийнятих вихідних параметрів в умовах стабільності реагентного режиму, витрати повітря і властивостей рядового вугілля, що надходило з ш/у «Покровське» в період відбору проб. З використанням даного рівняння проведено розрахунки зольності флотопродуктів при різних значеннях навантаження по пульпі та вмісту в ній твердої фази при середній за період спостережень зольності живлення 44,7 %, результати яких у графічному вигляді представлені на рис. 2.

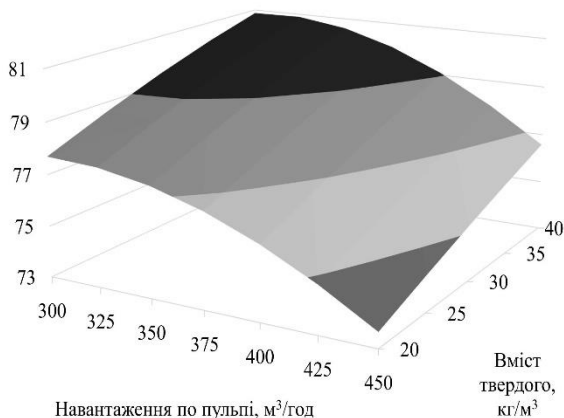


Рисунок 2 – Графік залежності зольності відходів флотації від параметрів пульпи

Отримані закономірності відповідають теоретичним основам колонної флотації [7]. Зниження об'ємного навантаження на флотоколону підвищує час флотації, що покращує результат збагачення. Цьому сприяє і зменшення нижньої швидкості пульпи, оскільки знижується ймовірність винесення у відходи перевантажених дрібних бульбашок повітря. Підвищення навантаження на флотоколону по твердому зі збільшенням густини пульпи позитивно впливає на ефективність флотації за рахунок зростання обсягу цінного продукту і поліпшення умов його розвантаження.

При витратах пульпи 300 м³/год та вмісті твердого від 20 до 40 кг/м³ кількість флотоконцентрату на погонний метр переливного порогу збільшується з 0,2 до 0,4 т/год. Слід зазначити, що виробники обладнання рекомендують для шламів крупністю 0 – 0,15 мм підтримувати навантаження по концентрату на погонний метр у межах 0,64 – 0,96 т/год, але зазначають, що зі зменшенням розміру частинок

оптимальна продуктивність по цінному продукту знижується.

Проведені дослідження показали, що для підвищення ефективності флотації шламів доцільно знизити об'ємне навантаження на колони та підвищити вміст твердої фази у живленні флотації. Ці висновки були підтверджені у період вимушеного зменшення годинного навантаження на фабрику у 2016 – 2018 рр., що дозволило обгрунтувати необхідність реконструкції ЗФ у напрямку розширення фронту флото-фільтрувального обладнання. Крім поліпшення процесу флотації реконструкція вирішувала і проблему зростання кількості шламів у рядовому вугіллі у зв'язку з віддаленістю видобувних ділянок ш/у «Покровське» та збільшенням довжини транспортування рядового вугілля.

Для підвищення вмісту твердого у живленні флотації було впроваджено технологію некласифікованої флотації за рахунок відмови від попередньої класифікації шламів. Розширений діапазон крупності твердої фази не призвів до погіршення результатів збагачення, що пояснюється високою флотаційною активністю органічної маси і відсутністю породних мінералів, що розмокають. Уніфікація властивостей пульпи дозволила знизити вплив людського фактору при регулюванні параметрів процесу флотації, а відмова від операції класифікації зменшила споживання електроенергії на 560 кВт год і виключила необхідність у використанні гідроциклонів малого діаметра в кількості 120 шт.

Порівняння результатів розсіву продуктів флотації шламів вугілля ш/у «Покровське» на ЗФ «Свято-Варваринська» у колонних машинах та на ЦЗФ «Чумаківська» у флотомашин механічного типу показує, що колонна флотація забезпечує більш високу селективність розділення матеріалу крупністю менше 0,25 мм (рис. 3).

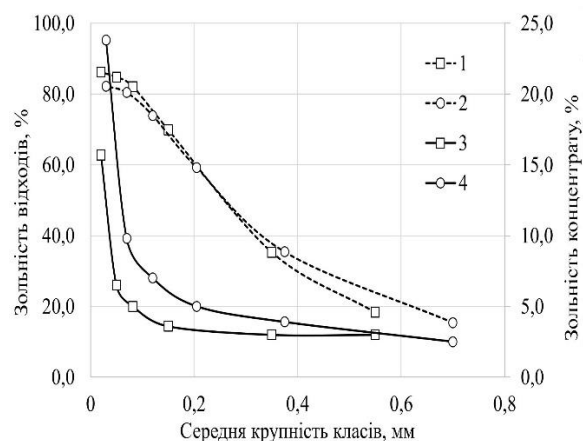


Рисунок 3 – Результати розсіву відходів флотації (1, 2) та концентрату (3, 4) після збагачення у колонних (1, 3) та механічних (2, 4) флотомашин

Для найбільш тонких частинок колонні машини дозволяють мінімізувати перехід у цінний продукт породних мінералів та знизити втрати

корисного компоненту з відходами. Це підтверджує доцільність застосування колонних апаратів для збагачення тонкозернистих вугільних шламів за умови суворого контролю крупності живлення флотації та підтримці регульованих параметрів на оптимальному рівні.

В даний час основні технологічні параметри флотації шламів для кожної з флоколон підтримуються у наступних межах:

- крупність твердої фази 0 – 0,2 мм;
- вміст твердого у пульпі 50 – 60 кг/м³;
- навантаження по пульпі 200 – 250 м³/год;
- витрати повітря 950 – 1050 м³/год;
- тиск у розподільчому колекторі повітря 5,8 – 6,0 бар;
- товщина пінного шару 200 – 300 мм;
- витрати води для промивання концентрату 0 – 30 м³/год.

Робота з цими параметри дозволяє отримати відходи флотації із зольністю 82 – 83 % при потрібній якості концентрату.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Филиппенко Ю. Н., Морозова Л. А., Федосеева С. О. Анализ гранулометрического

состава добываемых углей / Уголь Украины. – 2013. – № 3. – С. 12 – 14.

2. Полулях А.Д., Полулях Д.А. Шламообразование угля / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2015. – Вип. 60(101). – С. 117 – 127.

3. Соколова В. П. Основные тенденции современного развития флотационного обогащения углей в Украине / Уголь Украины. – 2016. – № 4. – С. 55 – 61.

4. Смирнов В. О., Білецький В. С. Флотаційні методи збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2010. – 492 с.

5. Соколова В. П., Шмельцер Е. О. Современные направления совершенствования флотационного обогащения углей / Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип. 49(90). – С. 81 – 90.

6. Козлов В. А., Пикалов М. Ф., Кияненко А. Е. Развитие флотационных технологий для обогащения угольного шлама / Уголь Украины. – 2014. – № 3. – С. 39 – 45.

7. Рубинштейн Ю. Б., Мелик-Гайказян В. И., Матвеевко Н. В., Леонов С. Б. Пенная сепарация и колонная флотация. – М.: Недра, 1989. – 304 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Наведено інформацію про досвід модернізації проектної схеми флотаційного відділення ЗФ «Свято-Варваринська» та результати досліджень впливу параметрів пульпи на якість продуктів флотації тонких шламів. Показано необхідність зниження навантаження на колону по пульпі та збільшення вмісту твердої фази в живленні флотації для підвищення ефективності збагачення. Наведено відомості про параметри процесу флотації шламів у колонних машинах, які забезпечують отримання відходів із зольністю 82 – 83 % за необхідної якості концентрату. Встановлено, що колонні машини в порівнянні з машинами механічного типу ефективніші при крупності твердої фази менше 0,25 мм.

Ключові слова: вугільний шлам, флотація, колонна флотомашина, технологічна схема, параметри процесу, якість продуктів

ABOUT AUTHORS

A. Redka, General Director of "PREPARATION PLANT "SVYATO-VARVARYNSKA" LLC,
e-mail: a.n.redka@metinvestholding.com

A. Samoïlov, Process engineer of "PREPARATION PLANT "SVYATO-VARVARYNSKA" LLC, candidate of technical sciences, e-mail: anatoliy.samoylov@metinvestholding



УДК 622.245.42

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЕГШЕНОГО ТАМПОНАЖНОГО КАМЕНЮ З ДОМІШКОЮ ЦЕОЛІТОВОГО БОРОШНА

В. М. Орловський канд. техн. наук, доцент (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354,

Б. В. Кузьмичев здобувач вищої освіти (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова), e-mail: bogdankuzmichev17@gmail.com

SIMULATION OF LIGHTWEIGHT TAMPONAGE STONE WITH ZEOLITH FLOUR IMPURITY

V. M. Orlovskyy PhD, associate professor (Kharkiv National University of Municipal Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine), e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354,

B. V. Kuzmychev is a graduate (Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine), e-mail: bogdankuzmichev17@gmail.com.

ABSTRACT

The purpose of this work is to obtain a statistical mathematical model of a modified lightweight tamponage stone with a lightweight admixture – finely dispersed zeolite powder (flour) with a response function - stone strength. In particular, the task is to establish the effect of the modifying admixture - zeolite flour on the strength of the tamponade stone.

Method. A rotatable central composition experiment plan was used to create a statistical model. The obtained results were processed using the method of computer mathematical modeling using the program STATGRAPHICS Plus for Windows.

The results. A modified lightweight tamponage material with a lightweight admixture - finely dispersed zeolite flour was created and studied. A statistical mathematical model of stone strength based on lightweight tamponage material was obtained, depending on the content of components in the mixture and hardening conditions. The resulting mathematical model can be used for engineering evaluations of the influence of factors on the strength of cement stone and is fully confirmed by the physical and chemical processes that occur during hardening of the tamponage solution.

Scientific novelty. The scientific value of this work lies in the fact that the selection of optimal recipes of the new modified lightweight tamponage material, intended for use in difficult mining and geological conditions of oil and gas wells, was carried out.

Practical significance. The results of the work have practical application in the cementing of deep wells in oil and gas fields and geological exploration areas in difficult mining and geological conditions of oil and gas fields of Ukraine.

Key words: well cementing, lightened tamponage material, lightweight admixture, strength of cement stone, modeling of lightened backfill stone.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При цементуванні свердловин в умовах низьких і аномально низьких пластових тисків (АНПТ), схильних до поглинання тампонажних розчинів, та геостатичних температурах до 70°C, а також при необхідності підняття тампонажного розчину на велику висоту в один прийом потрібні тампонажні матеріали з пониженою густиною цементного розчину.

Сьогодні у процесі цементування свердловин на бурових підприємствах України застосовують переважно стандартний тампонажний портландцемент ПЦТІ-100, цементно-зольні суміші (ЦЗС) на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і золи кислої (ЗК) теплових електростанцій, будівельний портландцемент ПЦІ-500-Н та спецементи ШПЦС-120, ШПЦС-200, ПЦТШ-Пол 5-100, ЦТП 1,5-100, ЦТО-100, ОШЦ [1, 2]. Проте на більшості нафтогазових родовищ України існують умови, які потребують застосування полегшених тампонажних матеріалів. Для цього проводяться дослідження направлені на розроблення полегшених (густина розчину $\rho \geq 1400 \div \leq 1650 \text{ кг/м}^3$) тампонажних матеріалів для застосування у гірничо-геологічних умовах глибоких нафтових і газових свердловин.

При дослідженні нових тампонажних матеріалів актуальним є питання моделювання властивостей тампонажних матеріалів, зокрема міцності тампонажного каменю.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні для цементування нафтових і газових свердловин в Україні найчастіше використовуються тампонажні портландцементи ПЦТІ-50, ПЦТІ-100, що виготовляються на Здолбунівському цементному заводі ВАТ «Волинь-Цемент» та ПрАТ «Івано-Франківськцемент», які характеризуються нормальною густиною цементного розчину і призначені для застосування в умовах нормальних (ПЦТІ-50) та помірних температур (ПЦТІ-100) [2].

У Полтавському відділенні УкрДГРІ розроблено ряд нових полегшених та легких тампонажних матеріалів для цементування нафтових і газових свердловин. До них відноситься легкий тампонажний матеріал з густиною розчину 1290–1350 кг/м^3 , на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 з модифікуючою полегшувальною домішкою – фільтроперлітом. Дана розробка пройшла промислове випробування в геологічних об'єднаннях України. До переваг цього тампонажного матеріалу слід віднести термостійкість та низьку густину тампонажного розчину. До недоліків відноситься велике водовідділення під дією гідростатичного тиску.

Інша розробка – полегшений і легкий тампонажний матеріал (суміш) на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 із застосуванням модифікуючої полегшувальної домішки – зольних мікросфер. Тут густина тампонажного розчину змінюється в межах від 1100 кг/м^3 до 1420 кг/м^3 , залежно від

співвідношення компонентів у суміші. Такі суміші можуть використовуватись у температурному інтервалі від 20 °С до 160 °С. Їх перевагою є висока термостійкість і дуже низька густина тампонажного розчину. Недоліком є те, що при великій висоті стовпа тампонажного розчину зольні мікросфери можуть руйнуватись через дію гідростатичного тиску. Це може спричинити седиментаційну нестабільність розчину та значне водовідділення [3].

Перспективною розробкою є полегшена тампонажна суміш (ПТС) на основі тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і модифікуючої домішки – тонкодисперсного цеолітового порошку (борошна) з густиною розчину 1455–1570 кг/м^3 , параметр міцності якої промодельований в цій роботі.

Цеолітове борошно (ЦБ) отримують шляхом помелу закарпатської цеолітової руди і являє собою дрібнодисперсний порошок коричнево-сірого кольору з густиною близько 2290 кг/м^3 і питомою поверхнею біля 540 $\text{м}^2/\text{кг}$. Хімічний склад цеолітового борошна у масових частках одиниці: SiO_2 – 69,43; Al_2O_3 – 13,04; Fe_2O_3 – 1,05; CaO – 2,10; MgO – 0,17; K_2O – 2,64; Na_2O – 2,06; P_2O_5 – 0,06.

Ефективність використання цеолітового борошна як полегшувальної домішки визначається наступними чинниками:

1) відносно низькою густиною цього матеріалу в сухому стані, що сприяє полегшенню тампонажної суміші;

2) високою питомою поверхнею ЦБ, яка приблизно вдвічі більша, ніж у тампонажного портландцементу, що забезпечує утримання вільної води при великих водосумішевих відношеннях;

3) особливою трубчастою формою часток цеолітової муки, що сприяє утриманню значних об'ємів вільної води в тампонажному розчині [3, 4].

Названі властивості цеолітового борошна роблять його ефективною модифікуючою домішкою для створення тампонажних матеріалів зниженої густини.

3. ПОСТАНОВКА МЕТИ

Мета розробки полягає у розробленні і дослідженні модифікованого полегшеного тампонажного матеріалу з високими експлуатаційними властивостями для цементування свердловин на нафтових і газових родовищах та геологорозвідувальних площах у складних гірничо-геологічних умовах.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І РЕЗУЛЬТАТИ

Для розробки статистичної моделі був застосований ротатабельний центрально-композиційний план експерименту, який гарантує однакову похибку в усьому факторному просторі

[5, 6]. Функція відгуку цієї моделі – міцність утвореного тампонажного каменю на стиснення через дві доби з моменту початку тужавіння розчину (позначається як W і вимірюється у МПа). На підставі попередніх даних було вибрано три основні варіативні фактори: співвідношення вмісту портландцементу ПЦТІ-100 у тампонажній суміші (позначається як X_1), водосумішеве співвідношення (позначається як X_2) та умови тужавіння тампонажного розчину (температура при відповідних пластових тисках у свердловині), позначені як X_3 . Всі обрані фактори відповідають критеріям керованості, незалежності та однозначності, які повинні бути враховані при плануванні експерименту. Область факторного планування представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Область факторного планування

Фактор	Код фактора	Одиниці вимір.	Рівні факторів				
			-1,6/8	-1	0	+1	+1,6/8
ПЦТІ-100	X_1	%	50	55	60	65	70
В/С	X_2	%	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Температура	X_3	°C	20	40	60	80	100

За допомогою програми STATGRAPHICS Plus for Windows була отримана матриця планування експерименту, таблиця 2.

З використанням програми STATGRAPHICS Plus for Windows проведено обробку експериментальних досліджень тампонажного матеріалу. На рисунку 1 наведено парето-графік та графік порівняння розрахункових та експериментальних даних. Коефіцієнт детермінації (R^2) складає 96,45%, показник втрат узгодженості функції (P) дорівнює 0,0162, а стандартна помилка оцінки (SE) становить 0,2124. Всі ці показники свідчать про те, що дана регресійна модель є адекватною.

З парето-графіка (рис. 1, а) видно, що при 95 % довірчої ймовірності статистично значущими є фактори моделі X_1 , X_3 , тоді як фактор X_2 є серед них найменш значущим статистично. Це підтверджує, що водосумішеве відношення має менший вплив на міцність тампонажного каменю в заданому діапазоні рецептур порівняно з іншими факторами.

На рисунку 1, б показано взаємозв'язок між отриманими та розрахунковими даними. Більшість експериментальних точок зосереджені навколо прямої, що підтверджує адекватність наведеної моделі.

У загальному вигляді було отримано таке рівняння регресії:

$$W = 3,49929 + 0,671653 \cdot X_1 - 0,441334 \cdot X_2 + 0,835075 \cdot X_3 + 0,107772 \cdot X_1^2 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,125 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,00170569 \cdot X_2^2 - 0,05 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0,086683 \cdot X_3^2. \quad (1)$$

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту та одержані експериментальні дані

X_1	X_2	X_3	W , МПа
-1,0	-1,0	-1,0	2,5
1,0	-1,0	-1,0	3,4
-1,0	1,0	-1,0	1,8
1,0	1,0	-1,0	2,8
-1,0	-1,0	1,0	4,2
1,0	-1,0	1,0	5,5
-1,0	1,0	1,0	3,2
1,0	1,0	1,0	4,8
-1,68	0,0	0,0	2,5
1,68	0,0	0,0	5,1
0,0	-1,68	0,0	4,4
0,0	1,68	0,0	2,6
0,0	0,0	-1,68	2,0
0,0	0,0	1,68	4,5
0,0	0,0	0,0	3,5
0,0	0,0	0,0	3,5

Беручи до уваги значущість коефіцієнтів даного рівняння регресії, то при 95 % довірчої ймовірності рівняння (1) набуває такого вигляду:

$$W = 3,49929 + 0,671653 \cdot X_1 + 0,835075 \cdot X_3 + 0,107772 \cdot X_1^2 + 0,125 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,086683 \cdot X_3^2 \quad (2)$$

Отже, провівши аналіз парето-графіка (рис.1, а) та рівняння регресії (2), можна зробити висновок, що найбільший вплив на визначення цільової функції $W(X_1, X_2, X_3)$ мають фактори X_1 (вміст портландцементу ПЦТІ-100 у суміші) та X_3 (умови тужавіння тампонажного розчину, які тісно пов'язані з температурою при відповідних їй пластових тисках у свердловині).

За своєю значущістю члени даної моделі-полінома розміщуються в такому порядку: $X_3, X_1, X_2, X_3^1, X_1^2, X_3^2$.

На рисунку 2 зображено тривимірні перетини цільової функції $W(X_1, X_2, X_3)$ та їх відповідні контурні криві.

Згідно з одержаними гіперповерхнями й контурними кривими (рис. 2), збільшення фактора X_3 (температури тужавіння тампонажної суміші) зумовлює збільшення міцності тампонажного каменю, до того ж спершу спостерігається стрімке зростання цільової функції до певної точки. Отримана залежність може бути пояснена з точки зору фізики наступним чином: зі збільшенням температури в розчині збільшується кількість молекул, які

можуть гідратувати та утворювати новоутворення. Це призводить до збільшення пересичення гідратних новоутворень у розчині. Одночасно, зі зростанням температури, критичний радіус зародків твердої фази зменшується, що робить процес кристалізації більш вигідним та прискорює утворення твердих частинок [2].

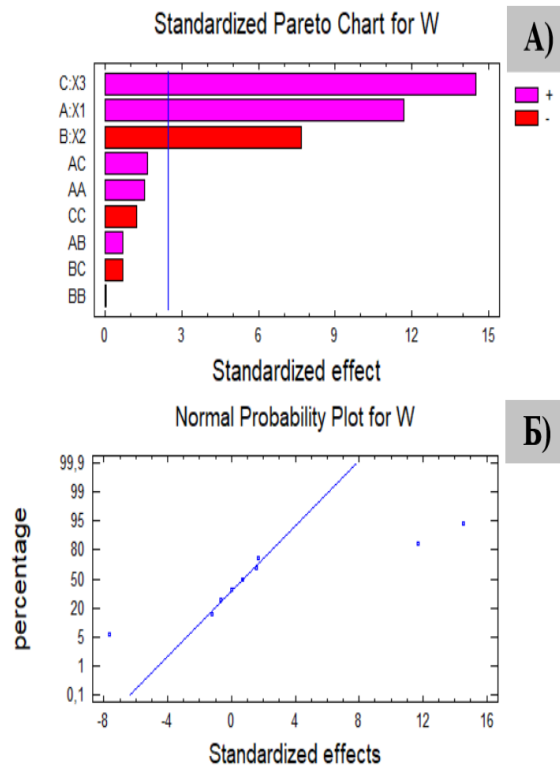


Рисунок 1 – Статистичні оцінки регресійної моделі

- а) парето-графік (вертикальна лінія дорівнює 95 % значущості коефіцієнтів);
- б) графік порівняння експериментальних і розрахункових значень цільової функції

Внаслідок цього кількість контактів зрощування мікрочастин зростає, і вони, в результаті втрати надлишкової води та інтенсивного обростання новими гідратними утвореннями, зміцнюються. Відповідно зростає міцність кристалічної ґратки цементного каменю [2].

Але в рецептурах тампонажних композицій з максимальним умістом портландцементу у суміші (65–35 %) спостерігається прямо пропорційна залежність міцності від кількості портландцементу. Дана залежність справедлива до певного значення кількості ПЦТІ-100, а відповідно і цеолітового борошна у суміші. Це зумовлено особливістю використання цеолітового борошна, оскільки при невеликих кількостях у суміші його не достатньо для створення необхідного ефекту.

Аналізуючи гіперповерхні (рис. 2, а), можна зробити висновок, що спостерігається зростання залежності міцності цементного каменю $W(X_1)$

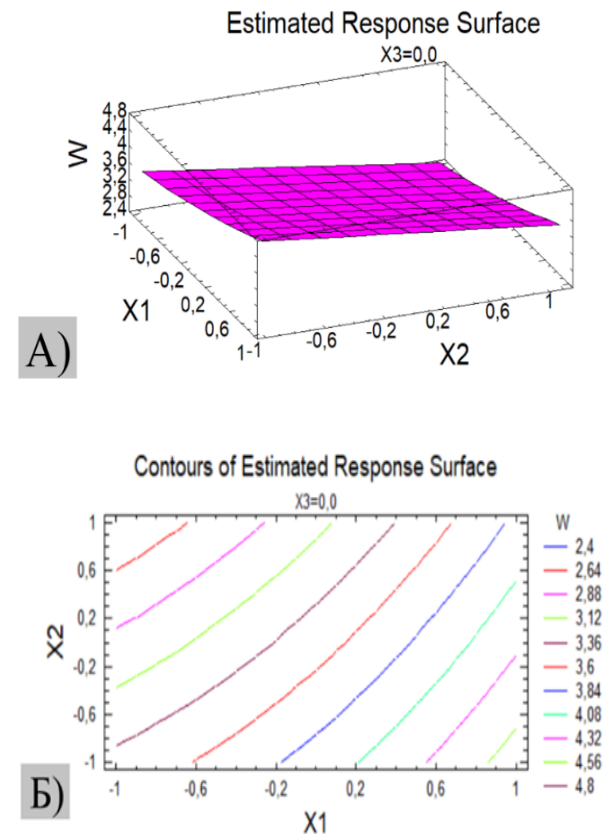
від вмісту портландцементу ПЦТІ-100 (X_1) для практично будь-яких значень фактору водосумішевого відношення (X_2). Це свідчить про значущість фактору вмісту портландцементу (X_1) та меншу значущість фактору водосумішевого відношення (X_2), що додатково підтверджується також парето-графіком.

З фізичної точки зору, вплив водосумішевого відношення можна пояснити наступним чином: надмірна кількість води при змішуванні не бере участі в гідратації портландцементних часток, а замість цього залишається у вигляді вільної води. Це може призвести до зниження міцності каменю.

Далі, аналізуючи гіперповерхню $W(X_2, X_3)$, що наведено на рисунку 2, в, помітно, що міцність каменю експоненційно залежить від температури (X_3). Також, як і у випадку гіперповерхні $W(X_2, X_1)$, фактор X_2 залишається менш значущим.

Під час аналізу гіперповерхні $W(X_1, X_3)$ (рис. 2, г), спостерігаються ті ж самі тенденції: по-перше, міцність W пропорційно збільшується зі зростанням фактору вмісту портландцементу (X_1); по-друге, на цій гіперповерхні чітко простежується експоненційна залежність міцності W від температури (X_3).

Важливо підкреслити, що результати моделювання дають точку оптимуму при конкретних значеннях факторів $X_1 = 1,68136$, $X_2 = -1,39915$, $X_3 = 1,68179$. Відповідні параметри суміші будуть дорівнювати: 70:30 співвідношення портландцементу ПЦТІ-100 і цеолітового борошна, водосумішеве відношення 0,65 %, оптимальна температура близько 100 °С. При таких рівнях факторів міцність W становитиме 7,06682 МПа.



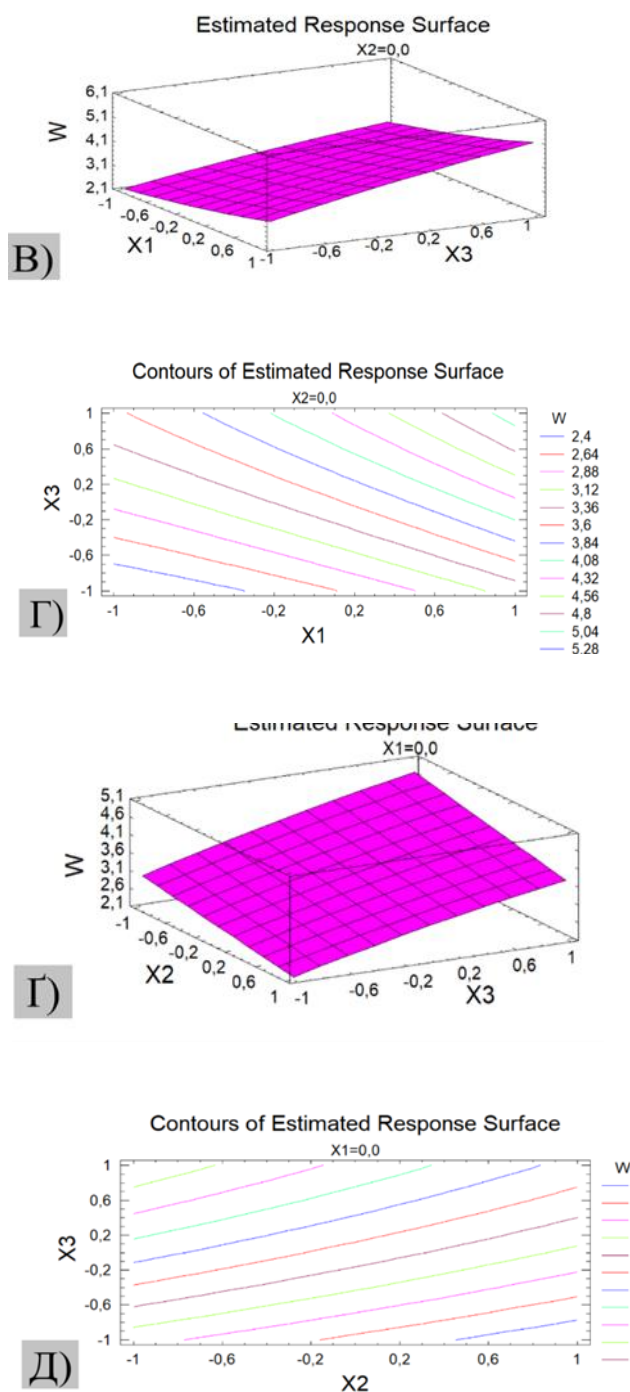


Рисунок 2 – Тривимірні перетини та контурні криві цільової функції $W(X_1, X_2, X_3)$:

- а) тривимірна поверхня міцності W для факторів X_1, X_2 при $X_3 = 0$;
- б) контурні криві цільової функції W для факторів X_1, X_2 при $X_3 = 0$;
- в) тривимірна поверхня міцності W для факторів X_1, X_3 при $X_2 = 0$;
- г) контурні криві цільової функції W для факторів X_1, X_3 при $X_2 = 0$;
- д) тривимірна поверхня міцності W для факторів X_2, X_3 при $X_1 = 0$;
- е) контурні криві цільової функції W для факторів X_2, X_3 при $X_1 = 0$.

5. ВИСНОВКИ

1. Комплекс виконаних нами досліджень дозволив установити, що суміші тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і модифікатора-наповнювача – цеолітового борошна, можуть бути основою полегшених тампонажних матеріалів для цементування нафтових і газових свердловин.
2. Одержано статистичну математичну модель міцності полегшеного каменю на основі сумішей тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 і модифікатора-наповнювача – цеолітового борошна залежно від вмісту компонентів у суміші та умов тужавіння.
3. З отриманих гіперповерхонь і контурних кривих визначено характер та ступінь впливу кожного з членів полінома на цільову функцію – міцність цементного каменю W (X_1, X_2, X_3). Найбільш значимими є фактори X_1 – вміст у суміші тампонажного портландцементу ПЦТІ-100 та X_3 – умови тужавіння тампонажного розчину (температура при відповідних їй пластових тисках у свердловині). Далі за значимістю члени моделі-полінома розміщуються в наступному порядку: X_2, X_3^1, X_1^2, X_3^2 .
4. Отримана математична модель може бути використана для інженерних оцінок впливу факторів на міцність цементного каменю і повністю підтверджується фізико-хімічними процесами, що відбуваються при тужавінні тампонажного розчину.
5. Наукова цінність даної роботи полягає в тому, що проведено підбір раціональних рецептур нових тампонажних матеріалів, призначених для застосування у складних гірничо-геологічних умовах.
6. Результати роботи мають практичне застосування при цементуванні нафтових і газових свердловин у складних гірничо-геологічних умовах (при низьких і аномально низьких пластових тисках) на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах вуглеводневої сировини України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Горський В. Ф. Сучасний стан та перспективи розвитку виробництва тампонажних матеріалів в Україні / В.Ф. Горський, П. В. Горський, Ю. Ф. Шевчук [та ін.] // Нафтогазова промисловість. – 2000. – № 5. – С. 19–20.
2. Горський В. Ф. Тампонажні матеріали і розчини / В.Ф. Горський. – Чернівці – 2006 – 524 с.
3. Розробка тампонажних матеріалів зниженої густини / В. М. Орловський, А. М. Похилко // Нафтогазова інженерія. – Полтава : ПолтНТУ ім. Ю. Кондратюка, 2016. – Число 1. – 94 – 102.
4. Розроблення термостійких полегшених і легких тампонажних матеріалів / В. М. Орловський, А. М. Похилко, В. І. Дмитренко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2016. – № 3. – С. 79 – 84.

5. Сергеев П.В. Комп'ютерне моделювання технологічних процесів переробки корисних копалин (практикум) / П.В. Сергеев, В.С. Білецький. – Маріуполь: Східний видавничий дім, 2016. – 119 с.

6. Білецький В.С. Моделювання у нафтогазовій інженерії / В.С. Білецький – Львів: Новий Світ – 2000. – Харків: НТУ «ХПІ», 2021. – 306 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Метою даної роботи є одержання статистичної математичної моделі модифікованого полегшеного тампонажного каменю з полегшувальною домішкою – тонкодисперсним цеолітовим порошком (борошном) з функцією відгуку – міцність каменю. Зокрема, ставиться задача встановлення впливу на міцність тампонажного каменю модифікуючої домішки – цеолітового борошна.

Методика. Для створення статистичної моделі був використаний ротатабельний центральнокпозиційний план експерименту. Отримані результати були оброблені за допомогою методу комп'ютерного математичного моделювання, використовуючи програму STATGRAPHICS Plus for Windows.

Результати. Створено і досліджено модифікований полегшений тампонажний матеріал з полегшувальною домішкою – тонкодисперсним цеолітовим борошном. Одержано статистичну математичну модель міцності каменю на основі полегшеного тампонажного матеріалу залежно від вмісту компонентів у суміші та умов тужавіння. Отримана математична модель може бути використана для інженерних оцінок впливу факторів на міцність цементного каменю і повністю підтверджується фізико-хімічними процесами, що відбуваються при тужавінні тампонажного розчину.

Наукова новизна. Наукова цінність даної праці полягає в тому, що проведено підбір раціональних рецептур нового модифікованого полегшеного тампонажного матеріалу, призначеного для застосування у складних гірничо-геологічних умовах нафтових і газових свердловин.

Практична значимість. Результати роботи мають практичне застосування при цементуванні глибоких свердловин на нафтових і газових родовищах та геологорозвідувальних площах в складних гірничо-геологічних умовах нафтогазових родовищ України.

Ключові слова: *цементування свердловин, полегшений тампонажний матеріал, полегшувальна домішка, міцність цементного каменю, моделювання полегшеного тампонажного каменю.*

ABOUT AUTHORS

V. M. Orlovskyy PhD, associate professor (Kharkiv National University of Municipal Economy named after O. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine), e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354,

B. V. Kuzmychev is a graduate (Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine), e-mail: bogdankuzmichev17@gmail.com.



УДК 614.841

ВИРОБНИЦТВО ПИРОТЕХНІЧНИХ ПОРОШКІВ ЦИРКОНІЮ НА ДОНЕЦЬКОМУ ХІМІКО-МЕТАЛУРГІЙНОМУ ЗАВОДІ

Леонід Шпильовий, канд. техн. наук, ст. наук. співробітник Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, Україна, E-mail: mineraltech.azov@gmail.com

PRODUCTION OF PYROTECHNIC ZIRCONIUM POWDER AT THE DONETSK CHEMICAL AND METALLURGICAL PLANT

Leonid Shpylovyi Ph.D. technical Sciences, senior researche, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation. M.P. Semenenko, Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine Emailmineraltech.azov@gmail.com

ABSTRACT

Abstract. In the conditions of the development of an independent state, there is a need for comprehensive research and rethinking of little-known pages of national history, including the history of industry. Among them, the history of individual enterprises, individual branches of industry, in particular, zirconium production, is relevant and insufficiently studied.

Among the many fields of application of metallic zirconium, the use of its powders occupies a prominent place, primarily in pyrotechnics and ammunition production. The study of the history of the zirconium industry of Ukraine is also relevant in view of the need to draw the attention of government officials and the general public to production and technologies important for ensuring the country's defense capability.

The first enterprise of the rare metal, in particular, zirconium industry of Ukraine, which organized the production of zirconium powders, was the Donetsk Chemical and Metallurgical Plant (DHMZ).

Keywords: zirconium industry, history, Ukraine, zirconium powder, pyrotechnics, Donetsk chemical and metallurgical plant.

Вступ. За часів існування СРСР вся інформація, пов'язана з виробництвом такого важливого, особливо для розвитку військової техніки та атомної енергетики, рідкісного металу, як цирконій, була засекреченою. Звіти про науково-дослідні роботи інститутів, пояснювальні записки до щорічних звітів підприємств про господарську діяльність носили гриф «таємно» і були доступними для вивчення лише обмеженому колу науковців. Дві відомі нам монографії, в яких до певної міри висвітлювалася історія зародження і розвитку цирконієвої промисловості СРСР [1, 2], оприлюднені до 1991 року незначним накладом, та мали гриф «для службового використання». На жаль, в цих роботах інформація про окремі виробництва нерідко наведена без посилання на конкретне підприємство, де вони освоєні. Там, де мова мала б йтися про Донецький ХМЗ, найчастіше написано: «...на одному з підприємств». У зв'язку з цим, в окремих публікаціях російських авторів 1990-х та пізніших

років нерідко наводиться недостовірна інформація, перекручуються факти та чітко простежується намагання представити досягнення радянської наукової і інженерної думки в цій галузі, як надбання виключно Росії [3, 4].

Метою цієї розвідки є дослідження внеску Донецького ХМЗ в освоєння технології виробництва порошків металевого цирконію, співставлення етапів його становлення з історією розвитку цього виробництва у світі, а також введення до наукового обігу джерельної бази з цього питання, недоступної багатьом науковцям до цього часу.

У промисловому виробництві порошків цирконію провідне місце займає металотермічне відновлення галогенідів і оксиду цирконію. Як відновники найчастіше використовуються натрій і кальцій [5].

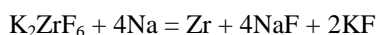
Порошкам цирконію притаманна характерна властивість горіння в кисні повітря (температура самозаймання – 250°C) з великою швидкістю та

практично без виділення диму [6]. При цьому розвивається найвища температура для металевих горючих (4650 °С). При згоранні металевого порошку випромінюється значна кількість світла. Ця особливість дуже широко використовується в піротехніці (виробництво салютів та феєрверків), виробництві хімічних джерел світла, які застосовуються в різних галузях діяльності людини (освітлювальні бомби, ракети, факели). Порошок цирконію застосовують в суміші з окиснювачами (бертолетова сіль) як бездимний засіб в сигнальних вогнях та в запалах, як заміну гримучої ртуті (фульмінату ртуті) та азиду свинцю. Цирконій використовується в якості добавки до багатьох видів ракетного палива; в різних типах зброї, у тому числі артилерії; у виробництві нових видів патронів для стрілецької зброї, для трасуючих куль, бездимного пороху. Порошки цирконію з низькою температурою спалаху та високою швидкістю горіння використовуються в сумішах для капсулів-детонаторів для підриву зарядів.

Історія розвитку промислового методу виробництва порошків цирконію в зарубіжних країнах добре досліджена в роботах [7-9]. Розвиток методів виробництва порошків цирконію розпочалося з відкриття німецьким вченим Мартіном Генріхом Клапротом (1743-1817) у 1789 році оксидів нового елементу в розчині, отриманому після обробки соляною кислотою сплаву циркону з їдким натром. У 1797 році французький хімік Луї Ніколя Воклен (1763—1829) дослідив нову речовину (названу пізніше цирконієм) та детально описав технологію її отримання [4].

Металевий цирконій отримали лише через 35 років після відкриття М.Клапрота. Спроби відновлення оксиду цирконію хімічними способами, випробувані німецьким хіміком Йоганом Бартоломеем Тромсдорфом (Trommsdorff Johann) в 1799 році [7], як і електролітичний метод отримання металевого цирконію, запропонований британським хіміком Гамфрі Деві (Davy H.) (1778—1829) у 1808 році [8], були невдалими. І лише у 1824 році шведський хімік Єнс Якоб Берцеліус (Berzelius J.J.) (1779-1848) виділив цей метал, забруднений домішками, у вигляді чорного порошку [9]. Він прожарював суміш металевого натрію та флуорцирконату калію у невеликій запаяній залізній трубці, яку помістив у платиновий тигель. Після промивки продуктів реакції та висушування чорний порошок містив значну кількість домішок. Вайс (Weiss L.) і Нойман (Neumann E.) в 1910 році знайшли, що за методом Берцеліуса можна отримати металевий цирконій чистою близько 93,7 %, хоч і забруднений киснем [9].

В основі виробництва порошків, що відрізняються низькою температурою спалахування та високою швидкістю горіння, лежить реакція натрієтермічного відновлення цирконію із гексафлуорцирконату калію:



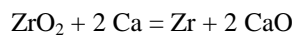
Враховуючи, що питома теплота реакції складає лише близько 1100 кДж/кг шихти, для її ініціювання і забезпечення повного протікання необхідний зовнішній підігрів шихти [5].

Продукти відновлення подрібнюють, солі NaF і KF вилуговують водою, порошок обробляють розбавленою соляною кислотою, промивають водою та просушують. Після промивання продуктів реакції спочатку абсолютним спиртом замість води, а потім розбавленою соляною кислотою, чистота цирконію досягає 98 %.

Промислове застосування процесу відновлення подвійного флуориду цирконію натрієм для отримання порошку цирконію тривало до розробки методу відновлення діоксиду цирконію кальцієм.

Відновлення діоксиду цирконію кальцієм вивчали Ведекінд (Wedekind E.) і Льюїс (Lewis S.), Руфф (Ruff O.) і Брінтцінгер (Brintzinger H.), Кірнан (Kiernan W.P.), Кроль (Kroll W.J.), Ліллендаль (Lillendahl W.C.) і Рентшлер (Rentschler H.C.) [7-9].

Хімічна взаємодія металевого кальцію з діоксидом цирконію відбувається за реакцією:



Надлишок кальцію сприяє зсуву реакції праворуч, а зниження тиску – ліворуч, через вилучення металевого кальцію за рахунок сублімації. Більш рівномірний хід реакції забезпечується добавкою прожареного хлориду кальцію, який обволікає реагуючі речовини та уповільнює початковий бурхливий хід реакції. Умови рівноваги такі, що ця реакція не приводить до повного вилучення кисню.

Стружку металевого кальцію з надлишком 20-100 % до стехіометричної кількості змішують з діоксидом цирконію і хлоридом кальцію в кульовому млині протягом однієї години. Відновлення проводять у відкритому або закритому тиглі при нагріванні в межах 950-1100 °С. Важливо при цьому запобігати забрудненню атмосферними газами. Реакційну масу подрібнюють, вилуговують кислотою, промивають водою і сушать.

Відомо багато варіантів реалізації цього способу, при яких вміст кисню в металі коливається від 0,3 до 3,0 %, а вміст азоту – від 0,03 % до 1,0 %. Найчастіше отриманий продукт містить забагато кисню, щоб бути ковким. Але він є чудовим матеріалом для використання газопоглином в електронних лампах, а також для піротехнічних цілей і в порошоків металургії.

Відновлюючи кальцієм діоксид цирконію, отримують порошок цирконію цього металу із значним (більше 0,5 %) вмістом кисню.

Металевий цирконій можна отримати також іншими методами, зокрема відновленням тетрахлориду цирконію натрієм. Ламберт, Хагельстон і Хатчісон (Lambert F. J., Hagelston P. J., Hutchison R. O.) отримали цирконій відновленням тетрафлуориду цирконію

металічним кальцієм з добавкою йоду, який забезпечував виділення додаткового тепла [7].

Таким чином, відомо кілька методів отримання порошків металевого цирконію, придатних для організації їх промислового виробництва. Хімічні сполуки з флуором, особливо флуорцикوناتи, менше гідролізуються, ніж хлориди, і їх легше очистити від домішок кисню. Відновлюючи флуорцирконат калію натрієм, отримують порошок цирконію. Це один з перших способів виробництва порошку цирконію, освоєних промисловістю. Ще до Другої світової війни Німеччина мала розвинуте виробництво цирконієвої продукції, щорічно виробляючи з імпоротної сировини кілька тонн порошків цирконію, а також технічні і реактивні солі цирконію. На той час в іноземній літературі, переважно американській, були описані способи виробництва порошків цирконію для військової промисловості, де вони використовувалися як прискорювач горіння пороху [7]. Було отримано багато патентів, в основному в США, армія якої вже використовувала на той час детонатори (запали), що містили циркон [7, 9].

Ще в 1937 році *Гиредмет* отримав від радянської розвідки інформаційні матеріали по цирконію (переклад з англійської) разом із зразками матеріалу, з якого був виготовлений реактор для виробництва порошку цирконію. Ці матеріали були використані інститутом при розробці способів виробництва порошків цирконію металотермічним відновленням його сполук в спеціальному реакторі. Прикладені зразки піддали аналізу в інституті № 13 Народного комісаріату оборонної промисловості (НКОП). Аналіз стружки металу, з якого був виготовлений тигель для відновлення цирконію, показав, що відновлення можна проводити навіть в сталевих тиглях [10].

8 квітня 1939 року начальник *Главредмет* Горлов В.І. направив лист до Ради Народних Комісарів СРСР, в якому доповів керівництву країни про використання інститутом інформаційних матеріалів по цирконію для розробки технології виробництва деяких видів цирконієвої продукції, зокрема порошку цирконію, феросилікоцирконію, солей цирконію (ZrO_2 , K_2ZrF_6) [10].

З початком розробок Маріупольським цирконовим рудоуправлінням (МЦРУ) родовища циркону у Волноваському районі Донецької області та організації виробництва цирконового концентрату в СРСР розпочалися науково-дослідні роботи по створенню нових для країни видів цирконієвої продукції [2].

У роботі [11] описані дослідні з отримання порошку цирконію, проведені в 1938 році в інституті *Гиредмет*. На той час інститут вже мав укрупнену установку для виробництва порошку металевого цирконію. За розробленою технологією гідроксид цирконію, вироблений на дослідному заводі інституту, розчинявся на холоді в розбавленій плавиковій кислоті. З отриманого розчину шляхом приливання гарячого розчину

флуористого калію осаджували сіль K_nZrF_m . Для переведення цієї солі в гексафлуорцирконат калію K_2ZrF_6 її розчиняли у воді та піддавали повторній перекристалізації без упарювання (з метою отримання лише найбільш чистої фракції). Отримана сіль відновлювалася металевим натрієм в герметичних залізних тиглях циліндричної форми у печі при 1100 °С. Але якість порошку була незадовільною. Тому, за аналогією з танталом, автори змінили спосіб металотермічного відновлення цирконію: у відкритий тонкостінний залізний тигель шарами завантажували металевий натрій, флуорцирконат калію та хлористий натрій (кухонну сіль). Зверху тигель засипали товстим шаром кухонної солі для запобігання окисненню отриманого цирконію. Тигель розігрівали знизу полум'ям газоповітряного пальника до температури 650-700 °С. Реакція при цьому проходила бурхливо і самоплинно, по всій висоті тигля. Порошок був набагато кращої якості.

Саме ця технологія виробництва порошку цирконію й була пізніше закладена в проєкт цеху для Маріупольського цирконового рудоуправління.

У 1939/1940 роках в *Гиредмете* перевірили й інший відомий спосіб отримання металевого порошку цирконію – відновленням діоксиду цирконію кальцієм, а також способи виробництва різних сполук цирконію – азотнокислого, сірчаноокислого, хлороксиду і флуорцирконату калію. Ці роботи [12] виконувалися в лабораторії цирконію.

Але до Другої світової війни налагодити промислове виробництво порошків цирконію в СРСР не вдалося.

Після повоєнного відновлення об'єктів Маріупольського цирконового рудоуправління (МЦРУ) та введення підприємства в експлуатацію в жовтні 1947 року планувалося вже до кінця року організувати випуск порошку цирконію натрійтермічним відновленням флуорцирконату калію (ФЦК) для заміни імпортного американського порошку цирконію, який використовувався в нашій країні для виробництва анодних ламп М-600 [13].

Цех з виробництва порошку металевого цирконію ввели в експлуатацію 13 січня 1948 року [14].

Але використання гідроксиду цирконію в якості вихідної сировини для виробництва порошку виявилось нераціональним, так як розчинення його у плавиковій кислоті дає дуже бідні розчини – з вмістом флуористого цирконію лише 30-40 г/л. Заміна гідроксиду на діоксид цирконію за пропозицією директора рудоуправління Маркова М.В. дозволяла отримувати більш концентровані розчини (350-380 г/л) [13]. Малораціональним та економічно не вигідним було в запропонованій інститутом технології введення операції перекристалізації технічного флуорцирконату калію. За пропозицією начальника цеха Забеліна А.А. [13] стали використовувати так званий

експериментальний флуорцирконат, для отримання якого витрачалося на 50 % менше дорогої плавикової кислоти. У цьому випадку необхідність в проведенні операції перекристалізації відпадала.

До травня 1948 року в цеху № 3 рудоуправління йшло освоєння технології виробництва порошку цирконію. В червні-місяці випустили **перші 25 кг продукції**. Та необхідної якості порошку досягли лише у серпні. До кінця року виробили 337,69 кг порошку металевого цирконію з середнім вмістом цирконію в продукції 91,9 %.

У 1949/1950 роках виробництво порошку цирконію за натрійтермічною технологією продовжувалося [15]. До кінця 1950 року цехом вироблено 217,289 кг металевого цирконію, але лише 65,272 кг його відповідало вимогам МПТУ 2546-50.

Порошок цирконію в 1950 році мав обмежений збут. Це пояснювалося, зокрема, і його високою вартістю. Використовувався порошок лише для дослідних цілей в спеціальних галузях промисловості. Головними споживачами порошку цирконію в цей час були інститути АН України, та російські *НИИ-6, ВАМИ, ГСКБ-47*.

Одночасно з випуском продукції за основною, натрійтермічною технологією, освоювалася нова, кальційтермічна технологія виробництва цирконієвих порошоків високої чистоти. Освоєння цієї технології розпочато в березні 1951 року, разом з бригадою спеціалістів *Гиредмет*.

Згідно розробленої технології шихту для виробництва порошку цирконію відновленням його оксиду кальцієм готували з діоксиду цирконію, хлористого кальцію та металевого кальцію. Кальцій очищався дистиляцією. Хлористий кальцій додавали, щоб при його розтопленні створити кращий контакт між металевим кальцієм і діоксидом цирконію. Це прискорює реакцію і сприяє утворенню більш грубих частинок металу. Надлишок кальцію складає 25-40 % від необхідного за стехіометричною реакцією. Кількість хлористого кальцію не перевищує 50 % від маси утвореного оксиду кальцію та коригується в залежності від вимог до крупності порошку. Для забезпечення повноти протікання реакції необхідний надлишок кальцію. Тепла реакції недостатньо для позапічного процесу і тому його проводять із зовнішнім нагрівом.

Відновлення проводили в герметичному реакторі (тиглі) з нержавіючої сталі, заповненому аргоном, при температурі 1000-1100 °С. З охолодженого реактора вилучали реакційну масу, яку після подрібнення обробляли водним розчином соляної кислоти. Промитий водою порошок цирконію висушували у вакуумі при 40-50 °С [16]. Цей метод виробництва є більш простим, та в той же час забезпечує випуск продукції з вмістом цирконію 98-99 %. Разом з тим, вміст заліза і кальцію в продукції, а також крупність порошку значно перевищували технічні

вимоги з боку заводів Міністерства промисловості засобів зв'язку.

З перших дослідів стало зрозумілим, що запропоновані інститутом тиглі для відновлення цирконію діаметром 68 мм та висотою 185 мм придатні лише для дослідних робіт. Іншим негативним моментом цієї технології була необхідність проведення відновлення в герметичних (заварених) сталевих реакційних тиглях. За пропозицією Забеліна А.А. було випробувано відновлення шихти в тиглях діаметром 152 мм з верхньою засипкою оксиду кальцію. Перевірка показала, що в негерметичних тиглях якість продукції залишається високою, а сама робота стає безпечнішою, продуктивнішою, та менш трудомісткою.

Для зниження вмісту заліза до 0,05 % фахівці підприємства запропонували застосувати для відновлення високочистий металевий кальцій.

В порядку освоєння кальційтермічної технології цехом вироблено в 1951 році 29,356 кг порошку цирконію високої чистоти (98,6 %) [16].

У 1952 методом натрійтермії виробили 330,047 кг порошку цирконію з середнім вмістом цирконію в металі 94,11 %. Але через відсутність подальшого попиту виробництво металу натрійтермічним відновленням флуорцирконату калію на певний час зупинилося [17].

У серпні-вересні 1954 року провели досліді по відновленню металевим натрієм гексафлуорцирконату калію (ФЦК), отриманого методом спікання концентрату з кремнієфлуористим калієм [18]. ФЦК сушили при 200 °С протягом 6-8 год; натрій використовували марки «хч». Флюс (NaCl) прожарювали при 600-650 °С, після чого мололи у кульовому млині до крупності 0,044 мм, та добавляли в шихту в кількості 15 % до маси ФЦК. Шихту завантажували в сталевий реакційний тигель (стакан). Натрій розміщували пошарово в суміші солей (3 шари). Надлишок натрію в шихті складав 20 % по відношенню до стехіометрично необхідного за реакцією. Тигель з шихтою поміщали в реторту-реактор із нержавіючої сталі та закривали кришкою з патрубком, яким внутрішній об'єм реторти поєднувався з атмосферою. Реторту опускали в розігріту до 750-800 °С піч та витримували певний час, необхідний для протікання реакції.

Досліді показали, що температура відновлення гексафлуорцирконату має бути піднята до 800-850 °С. Витримка при цій температурі була збільшена з 30 хвилин до однієї години, в порівнянні з тривалістю витримки при відновленні пентафлуорцирконату, отриманого через плавикову кислоту.

У результаті проведених дослідів отримано і відправлено *НИИ-6* для випробування 5,27 кг порошку металевого цирконію, який відповідав вимогам МПТУ 2545-50. При незначній зміні попередньої технології тепер можна було з K_2ZrF_6 , отриманого методом спікання концентрату з кремнієфлуористим калієм, виробляти порошок

цирконію, що відповідав вимогам нормативних документів.

Ще в першому півріччі 1952 року завершилося освоєння кальційтермічної технології виробництва порошку цирконію [17]. В липні виробили 108 кг порошку необхідної якості. Виробництво здійснювалося під час дослідних робіт в першому півріччі у негерметичних тиглях (циліндрах). Цим методом отримано 248,556 кг металу. Вміст основної речовини досягав 99,4 %. Домішки були в межах норм.

У другій половині липня разом розпочато виробництво порошку цирконію в герметичних (заварених) тиглях. Отриманому продукту присвоєна марка М-41. До кінця року вироблено 936,098 кг з середнім вмістом 99,38 %, вилучення цирконію – 75,78 % [17].

У грудні 1953 року під маркою М-43 випустили **першу партію (17,761 кг) порошку із зниженим вмістом гафнію (0,17 %)**. Металевий цирконій без домішок гафнію був необхідним для виробництва оболонки ТВЕЛів та інших конструкційних елементів ядерного реактора [19]. Порошок виробили з діоксиду цирконію, очищеного від гафнію на спеціально створеній дослідній установці.

У зв'язку з наміченими планами розширення випуску продукції М-41 необхідно було перейти з відновлення діоксиду цирконію в тиглях більшого діаметру. Провели досліді по відновленню діоксиду цирконію металевим кальцієм в тиглях діаметром 152 мм та висотою 350 мм нової конструкції, з ущільненою шихтою. В реакційних роз'ємних тиглях металева кришка приварювалася безпосередньо до фланців. Тривалість операції відновлення складала 1,5 години [18]. Порошок цирконію повністю відповідав вимогам ЦМТУ 3145-52. Вміст основної речовини – 99,6 %, домішки заліза – 0,013...0,022 %.

3 грудня цех повністю перейшов на роботу в реакційних роз'ємних тиглях. При плані 200 кг порошку на добу тепер потрібно було набивати лише 4 тиглі замість 28, що давало можливість збільшити продуктивність дільниці в два рази.

Згідно Постанови Ради Міністрів СРСР від 11.02.54 р. за № 259-124 сс Маріупольське цирконове рудоуправління виробило у цьому році **101 кг порошку з вмістом цирконію 99,7 % та 0,11...0,023 % гафнію** з діоксиду цирконію, отриманого методом хроматографії і методом дробної кристалізації флуорцирконату калію [18].

Ще 654,436 кг порошку цирконію з вмістом металу 92,92 % (марка № 334) виробили з флуоцирконату калію.

У 1956 році освоїли серійний (промисловий) випуск порошку цирконію, очищеного від гафнію (вміст гафнію – **0,02-0,03 %**). Вихідною сировиною для виробництв слугував очищений від гафнію діоксид цирконію, вироблений на напівпромисловій установці.

Та все ж технологія виробництва порошку № 334 залишалася нестабільною, незважаючи на деяку стабілізацію якості флуорцирконату. Різка зросла тривалість відмивання порошку М-334

дистильованою водою від флуор-йону. Рудоуправління проведено досліді по відмиванню флуор-йону в порошках 10 %-им розчином реактивного аміаку, чотирикратною аміачною репульпацією. Тривалість відмивки значно скоротилася [20].

У 1956 році розпочали досліді по збільшенню загрузки циліндрів **натрійтермічного виробництва**. Перші позитивні результати по відновленню натрійтермічної шихти зі збільшеним навантаженням циліндра отримали в третьому кварталі 1957 року. Вдалі випробування на підприємстві провели також по відновленню натрійтермічної шихти з меншими питомими витратами відновлювача – металевого натрію. Новий склад шихти впровадили у виробництво.

Технологія виробництва і в наступному, 1958 році, залишалася нестабільною. При одних і тих же режимах отримували продукцію з різним вмістом цирконію, та різною крупністю порошку. Дисперсність порошку при подрібненні спека в кульовому млині не відповідала технічним умовам. Тому порошок додатково молосся у фарфоровому млині, що значно знижувало температуру спалаху металу [21].

Фахівці заводу докладали зусиль для вдосконалення як самої технології виробництва, так і технологічного обладнання. Так, проводилися досліді по відмиванню порошку цирконію від кальцію, по відновленню шихти в циліндрах із запобіжними (скидними) клапанами. В кінці року завершили досліді по відновленню шихти зі збільшеним завантаженням реакційних тиглів у натрійтермічній технології. Результати також були задовільними. Ще в лютому у виробництві кальційтермічного порошку закінчили досліді по промиванню порошку 5 %-им розчином реактивної соляної кислоти замість гарячої обробки 18 % реактивною кислотою. Новий спосіб впровадили у виробництво [21].

У 1961-62 роках завод переробляв ФЦК технічний, діоксид цирконію чистий та очищений від гафнію, і випускав металевий порошок цирконію натрійтермічний марок № 334 та «С», та кальційтермічний порошок цирконію марок М-41 і М-43.

У 1963 році через відсутність збуту виробництво порошку кальційтермічним методом повністю зупинили [22]. В наступні роки цех виробляв лише натрійтермічний порошок «С». Відновити виробництво порошку цирконію кальційтермічним методом вдалося лише у 1969 році.

У 1965 році спільно з *Гиредмет* провели значну роботу по підвищенню температури спалаху і тривалості горіння порошку «С». В технологію внесли зміни, які забезпечували якість продукції, що відповідала вимогам споживачів.

У цьому році провели дослідні роботи по відновленню порошку «С» у циліндрах, об'єднаних в пакети по 4 шт., у великих печах. Після підбору температурного режиму технологію впровадили у виробництво [23].

На прохання Краснозаводського хімічного заводу (м. Краснозаводськ, Московська обл.), який спеціалізувався на виробництві піротехнічної продукції, провели дослідні роботи з отримання порошку цирконію швидкого горіння.

Дослідну партію передали заводу на випробування.

У 1966 році виробничі потужності склали 7 т/рік. В 1966/1967 роках попит на порошок цирконію швидкого горіння різко зріс, та все ж виробничі потужності залишалися наполовину незавантаженими [24].

У 1968 році завод спільно з *Гуредмет* проводив по заказу підприємства п/я А-1928 (м. Загорськ, Московська обл.) науково-дослідну роботу по фракційному розділенню порошку цирконію [25]. Це підприємство Міністерства хімічної промисловості СРСР виробляло тверде паливо для ракетної техніки. Науково-технічне співробітництво, яке розпочалося у цьому році між підприємствами та інститутом, було досить тривалим і продовжувалося до 1984 року.

У 1969 році виробництво кальційтермічного порошку цирконію М-41 на ДХМЗ відновили. Випустили також партію порошку М-43, очищеного від гафнію – 45,2 кг [26].

На початку 1970-х років у зв'язку з планами розширення виробництва порошку «С» дослідження по технології виробництва цирконієвих порошоків на Донецькому ХМЗ продовжилися. Необхідність проведення цих робіт була зумовлена, насамперед, зростанням вимог традиційних споживачів до властивостей і якості порошоків. З'явилися і нові сфери застосування цієї продукції. У відповідності до запиту піротехніків в технічні вимоги на порошки були введені нові показники (наприклад, питома поверхня порошку, вміст водню в ньому). Число марок порошку, які випускалися підгалуззю, зросло з двох (у 1973 році) до восьми (в другій половині 1970-х років) [5]. Порошки відрізнялися температурою самозаймання, вмістом основної речовини, гранулометричним складом і питомою поверхнею. Величина цих параметрів регулювалася в процесі металотермічного відновлення.

За технологічним регламентом *Гуредмет* були виготовлені дослідні партії дрібнодисперсних малогазових порошоків цирконію, які успішно пройшли випробування на підприємстві п/я А-1928 [27].

Розроблена технологія кальційтермічного виробництва порошоків цирконію з різною питомою поверхнею та зниженим вмістом водню в 1976 році перевірялася та відпрацьовувалася в дослідно-промислових умовах ДХМЗ. На ці порошки були розроблені технічні умови [28].

У 1977 році для підприємства п/я А-1928 виготовили в рамках науково-дослідної роботи промислові партії порошку марок ПЦрК-1 і ПЦрК-2 з питомою поверхнею 1500-2000 см²/г [29], які відповідали ТУ 48-4-234-76.

Основні характеристики порошку згідно вимог ТУ 48-4-234-76 [28]:

вміст фракції плюс 0,05 мм – не вище 0,5 %;

вміст активного цирконію 96...97 %;

вміст Fe – не вище 0,085 %;

вміст Cl – не вище 0,003%;

вміст F – не вище 0,01%;

вміст H₂ – не вище 0,2%;

вміст C – не вище 0,25%;

вміст Ca – не вище 0,15%;

вміст вологи – не нижче 14 %;

вміст O₂ – не вище 0,08 %;

вміст N₂ – не вище 0,004 %;

вміст Al – не вище 0,75 %;

вміст Ti – не вище 0,1 %.

У 1978 році отримали дослідні партії натрійтермічного порошку з вмістом 50-58 % фракції мінус 10 мікрон шляхом його помелу у кульовому млині стальними та дунітовими кулями, та наступною кислотною обробкою. Вміст цирконію у порошок після кислотної обробки зріс на 2 % (абс.). Донецький ХМЗ перейшов на випуск промислових партій порошку ПЦрН з питомою поверхнею 1500-1900 см²/г та 1900-2500 см²/г згідно ТУ 48-4-376-76 [30].

Основні характеристики порошку згідно вимог ТУ 48-4-376-76 [31]:

вміст фракції мінус 0,01 мм – 44...58 %;

вміст фракції 0,01...0,02 мм – 20...47 %;

вміст фракції 0,02...0,05 мм – 10...22 %;

вміст фракції плюс 0,05 мм – не вище 0,5 %;

вміст цирконію 93...94 %;

вміст Fe – не вище 0,3%;

вміст Cl – не вище 0,003%;

вміст F – не вище 0,01%;

вміст H₂ – не вище 0,2%;

вміст C – не вище 0,25%;

вміст Ca – не вище 0,15%;

вміст Mg – не вище 0,15%;

вміст вологи – не нижче 14 %.

Науково-виробнича співпраця Донецького ХМЗ з *Гуредмет* і підприємством п/я А-1928 продовжувалася до 1984 року. У цьому році за нарядом Всесоюзного об'єднання «Союзредмет» інститут виконав для ДХМЗ останню науково-дослідну роботу по технології цирконієвих порошоків: «Модернізація технології виробництва кальцій- і натрійтермічних порошоків цирконію в зв'язку з розширенням їх виробництва» [32].

Але розширення виробництва на Донецькому ХМЗ не відбулося. Хіба що зросло дещо виробництво натрійтермічних порошоків.

Виробництво цирконієвих порошоків на ДХМЗ (табл. 1) продовжувалося до 1991 року [33]. З розпадом СРСР виробництво порошоків зупинили. Довгий час ці порошки зберігалися на складах Держрезерву України, які знаходилися на території заводу. Після закінчення встановленого терміну зберігання їх властивості перевірялися відділом технічного контролю. В разі відповідності технічним умовам порошки знову упаковувалися в спеціальну тару та відвантажувалися споживачам.

Останні 30 т цирконієвих порошоків, які зберігалися на складах державного резерву на території заводу, на початку 2000-х років були утилізовані шляхом спалювання.

Рік	Порошки кальційтермічні			Порошки натрійтермічні		
	марка та обсяги виробництва, кг	вміст металу, %	вилучення, металу, %	марка та обсяги виробництва, кг	вміст металу, %	вилучення, металу, %
1948	-	-	-	337,69	91,90	32,10
1949	-	-	-	510,21	93,50	40,85
1950	-	-	-	217,29	93,20	55,70
1951	29,40	98,60	-	186,28	93,23	61,25
1952	1256,82	99,64	76,68	330,05	94,10	69,60
1953	2022,00 М-41 17,00 М-43	99,64 -	84,29 -	-	-	-
1954	2069,00 М-41 101,00 М-43	99,60 -	87,30 -	106,20	92,70	67,60
1955	7035,04 М-41 180,47 М-43	99,60 99,62	88,50 74,90	645,44 (№ 334)	92,92	66,57
1956	1918,70 М-43 7381,40 М-41	99,60 99,60	75,00 90,20	1 092,09 (№ 334)	92,40	69,90
1957	2862,20 М-41 6755,51 М-43	99,50 99,60	94,70 79,93	1178,67 (№ 334)	92,49	74,56
1958	6268,97 М-41 7564,94 М-43	99,52 99,55	95,50 87,40	1026,42 (№334)	92,47	79,10
1959	13798,20 М-43 5515,94 М-41	99,67 99,53	86,20 95,70	552,23 (№334)	92,90	80,00
1960	5800,00 М-41 10201,40 М-43	99,50 99,70	96,00 91,20	1218,11 (№334)	92,60	80,20
1961	5954,62 М-41 7594,14 М-43	99,50 99,70	92,50 92,37	1933,64 «С»	93,30	80,90
1962	2707,12 М-43 12028,50 М-41	99,70 99,50	92,50 92,50	2830,75 «С»	93,20	81,00
1963	2677,72 М-43 10015,54 М-41	99,70 99,50	92,50 92,60	4011,54 «С»	93,50	81,20
1964	-	-	-	7217,49 «С»	93,50	83,50
1965	-	-	-	7012,73 «С»	93,40	84,20
1966	-	-	-	3002,62 «С»	93,40	84,20
1967	-	-	-	3508,90 «С»	93,50	85,00
1968	-	-	-	7016,60 «С»	93,40	86,20
1969	5924,00 М-41	99,50	92,70	6500,00 «С»	93,50	86,64
1970	6330,00 М-41	99,50	92,72	7300,00 «С»	93,70	87,76
1971	6000,00 М-41	99,50	93,34	9810,00 «С»	93,70	88,59
1972	6413,50 М-41	99,50	93,30	12000,00 «С»	93,50	88,80
1973	7750,00	99,50	93,30	18000,00 «С»	93,50	88,80
1974	7943,00	99,50	93,70	18000,00 «С»	93,40	89,10
1975	11184,00	99,50	94,00	20003,00	93,70	90,80
1976	12002,00	99,50	94,00	20000,00	93,50	93,00
1977	12850,00	99,50	94,00	21600,00	93,30	93,00
1978	14036,50	99,50	94,00	14011,00	93,30	93,00
1979	13050,00 42,00 (порошок дрібнодисперсний)	99,50 -	94,00 -	12700,00	93,60	93,00
1980	12103,70	99,50	94,00	12500,00	93,40	93,10
1981	14737,60	99,50	94,10	12155,50	93,40	93,20

1982	16018,40	99,50	94,10	14013,00	93,40	93,40
1983	15010,70	99,50	94,20	18000,00	93,70	93,40
1984	15000,00	99,50	94,30	26000,00	93,60	93,50
1985	8304,6 (ПЦрК-1)	99,50	94,40	2690,90 (ПЦрН-А)	93,70	93,50
	2330,0 (ПЦрК-3)	99,50	94,40	5329,10 (ПЦрН-Б)	93,50	93,50
	1365,4 (ПЦрК-1М)	99,50	94,40	8980,00 (ПЦрН-В)	93,20	93,50
1986	12500,00	99,50	94,40	21000,00	93,50	93,50
1987	14000,00	99,50	94,40	28009,00	93,60	93,50
1988	12300,00	99,50	94,40	31470,00	93,60	93,50
1989	15694,50	99,50	94,40	17200,60	93,90	93,50
1990	10990,00	99,50	94,40	6800,00	93,70	93,50

В Росії виробництво натрійтермічних порошків за аналогічною технологією створено лише в період 2001-2011 років [34]. Фактично була відтворена технологія, яка існувала на ДХМЗ.

Значний внесок у вдосконалення технології та організацію виробництва порошків цирконію внесли фахівці Донецького ХМЗ – Забелін А.А., Попов М.І., Количев О.В., Арсентьев В.І., Максимов А.П., Шумейко О.А., Шершньов М.Г., Макалкина О.Ф. Керівник науково-дослідної лабораторії ДХМЗ, канд. техн. наук Максимов А.П. був призначений у 1974 році Головним спеціалістом СРСР з питань виробництва та застосування порошків цирконію.

ВИСНОВКИ

1. Промислове виробництво піротехнічних порошків цирконію в Україні та СРСР вперше освоєно на Донецькому хіміко-металургійному заводі в кінці 1940-х – початку 1950-х років. Завод тривалий час був єдиним в колишньому Радянському Союзі виробником таких порошків.

2. Ліквідація виробництва піротехнічних порошків в Україні сприяла організації аналогічного виробництва в Росії на початку ХХІ ст.

3. Відновлення виробництва порошків цирконію в Україні є доцільним в умовах військового протистояння агресору, сприятиме розширенню номенклатури вітчизняного виробництва боєприпасів, зростанню обороноспроможності нашої держави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Сажин Н.П. Развитие в СССР металлургии редких металлов и полупроводниковых материалов. М., 1967. – 136 с.
2. Бочкарев Э.П. Организация промышленности редких металлов в СССР и этапы развития ин-та

Гиредмет. С.8-23. Сб. статей «Гиредмет на службе научно-технического прогресса» М. - 1981 . 324 с. Для служ. пользования. Ротапринтный цех Гиредмета.

3. Решетников Ф.Г. Разработка технологии получения металлического циркония // ВНИИИМ – 50 лет!. – Т.1. – 1995. – С. 275-281.
- Цегельник Э. Таинство химических превращений. 2004 г., Издательство: Ижевская республиканская типография, г. Ижевск, 240 с.
- Металлургия циркония и гафния / Барышников Н.В., Гегер В.Э., Денисова Н.Д. и др.; Под ред. Нехамкина Л.Г. – М.: Металлургия, 1979. – 208 с.
6. Шидловский А.А. Основы пиротехники. М., Машиностроение, 1973. – 320 с.
7. Миллер Г.Л. Цирконий. Пер. с англ. – М., ИИЛ. – 1955. – 392 с.
8. Блюменталь У.Б. Химия циркония. Пер. с англ. – М., ИИЛ. – 1963. – 341 с.
9. Металлургия циркония. Под ред. Б. Ластмена и Ф. Керза. Пер. с англ. – М., ИИЛ. – 1959. – 419 с.
10. РГАЭ, 7794, оп.5, од. зб. 140.
11. Игнатченко С.М., Венедиктов Л.М., Рейфман М.Б. К вопросу о получении порошкообразного металлического циркония из советских цирконосодержащих руд // Редкие металлы. – М., 1939. – С. 35.
12. Вакс, Пепеляева, Ведяшкина Л.А. Науч. тр-ды Гиредмета, М., 1959, т.1. – С. 515-533.
13. Звіт ДХМЗ за 1947 р. інв. № 29 Мариупольское цирконовое рудоуправление.
14. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности Ждановского цирконового рудоуправления за 1948 год. 1949. Инв. №30 .
15. Объяснительная записка о хозяйственно-финансовой деятельности Ждановского цирконового рудоуправления Главвольфрамедмета за 1950 год. 1951. – 150 с. Инв. № 32

16. Ждановское цирконовое рудоуправление. Объяснительная записка к годовому отчету Ждановского цирконового рудоуправления по основной деятельности за 1951 год. 1952. – 148 с. № 33.
17. Ждановское цирконовое рудоуправление. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1952 год. 1953. – 123 с. № 34.
18. Ждановское цирконовое рудоуправление. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1954 год. 1955. – 122 с. № 36.
19. Вакс А.Ш., Ведяшкина Л.А., Боровицков Е.Н. Разработка технологии получения компактного циркония, удовлетворяющего новым техническим требованиям: Отчет о НИР / Гиредмет. – М. – 1955. – 162 с.
20. Ждановское цирконовое рудоуправление. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1956 год. 1957. – 155 с. № 38.
21. Пояснительная записка к годовому отчету за 1958 год по основной деятельности. ДХМЗ. – Донское. – 245 с. № 40.
22. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1963 год. Донское, 1964. – 186 с. № 45.
23. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка и закрытые формы отчетности к годовому отчету по основной деятельности за 1965 год. Донское, 1966. – 181 с. № 96.
24. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка и закрытые формы отчетности к годовому отчету по основной деятельности за 1967 год. Донское, 1968. – 249 с. № 118.
25. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка и закрытые формы отчетности к годовому отчету по основной деятельности за 1968 год. Донское, 1969. – 179 с. №124.
26. Донецкий ХМЗ. Пояснительная записка и закрытые формы отчетности к годовому отчету по основной деятельности за 1969 год. Донское, 1970. – 148 с. Инв. № 134.
27. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1975 год. Донское, 1976. – 108 с. Инв. № 200.
28. Порошок циркония кальциетермический ПЦрК1, ПЦрК2. Технические условия 48-4-234-76 . Минцветмет СССР.
29. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1977 год. Донское, 1978. – 146 с. Инв. № 240.
30. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1978 год. Донское, 1979. – 168 с. Инв. № 241.
31. Порошок циркония натриетермический ПЦрН. Технические условия 48-4-234-76 . Минцветмет СССР.
32. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1984 год. Донское, 1984. – 105 с. Инв. № 339.
33. Донецкий ХМЗ. Объяснительная записка к годовому отчету по основной деятельности за 1990 год. Донское, 1991. – 59 с. Инв. № 418.
34. Орлов В.М., Федорова Л.А. Получение порошка циркония натриетермическим восстановлением из фтороцирконата калия // Химическая технология. – 2004. – № 7. – С. 26-29.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

В умовах розбудови незалежної держави виникає потреба всебічного дослідження та переосмислення маловідомих сторінок вітчизняної історії, у тому числі історії промисловості. Серед них актуальною і недостатньо вивченою є історія окремих підприємств, окремих галузей промисловості, зокрема, виробництва цирконію.

Серед багатьох галузей застосування металевого цирконію чільне місце займає використання його порошків, в першу чергу в піротехніці та виробництві боеприпасів. Дослідження історії цирконієвої промисловості України є актуальним ще й з огляду на необхідність привернути увагу урядовців та широкої громадськості до виробництв, технологій, важливих для забезпечення обороноздатності країни.

Першим підприємством рідкіснометалічної, зокрема, цирконієвої промисловості України, на якому було організовано виробництво порошків цирконію, був Донецький хіміко-металургійний завод (ДХМЗ).

Ключові слова: цирконієва промисловість, історія, Україна, порошок цирконію, піротехніка, Донецький хіміко-металургійний завод.

ABOUT AUTHORS

Leonid Shpylovyi Ph.D. technical Sciences, senior researche, Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation. M.P. Semenenko, Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine E-mail: mineraltech.azov@gmail.com



УДК 622. 245.422.6.

СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ВКРАПЛЕНИХ РУД

Младецький І.К., д.т.н., професор, кафедра екології НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна
Левченко К.А., к.т.н., доцент, кафедра гірничої справи «Метінвест політехніка», м. Запоріжжя, Україна

OVERVIEW OF SIMPLIFIED TAMPONATION SOLUTIONS FOR FIXING THE SIDE BARRELS OF WELLS

Mladetsky I.K., D.Sc., Professor, Department of Ecology, NTU "Dnipro Polytechnic", Dnipro, Ukraine
Levchenko K.A., Ph.D., Associate Professor, Department of Mining "Metinvest Polytechnic", Zaporozhye, Ukraine

ABSTRACT

The work presents the general principle of analytical creation of a technological scheme of mineral enrichment and provides solutions to two tasks included in the technology search scheme. One task is to determine the content of the valuable component in the intermediate product, provided that the open fractions are removed. The second task is to determine the type of separation characteristics for the selection of open non-ore and open ore fractions. These characteristics are significantly different from each other: for the extraction of the non-ore fraction, the inflection point must be in the region close to zero, and for the extraction of the concentrate, it must be close to unity. The solution was obtained based on the characteristics of the opening of the ore mineral.

ВСТУП

Синтез – це такий логічний прийом, за допомогою якого ми мислено сполучаємо в одне ціле розчленовані в аналізі окремі частини предмета, явища. Основні розумові операції – це порівняння, узагальнення, абстрагування, аналіз, синтез, індукція, дедукція.

Термін походить від др.-грец. σύνθεσις – з'єднання, складання, зв'язування (συν – префікс зі значенням спільності дії, співучасті і θέσις – розміщення, розподіл, (місце) положення). Синтез є спосіб зібрати ціле з функціональних елементів як антипод аналізу – способу розібрати ціле на функціональні частини. Синтез – інжинірингова побудова складних систем із попередньо підготовлених блоків або модулів різних типів. Складно-рівневе, глибоке структурне поєднання компонентів різних типів. З погляду теорії пізнання синтез є необхідним етапом прояву пізнавальної діяльності свідомості. У сукупності з аналізом, метод синтезу дозволяє отримати

уявлення про зв'язки між складовими предмета.

У збагаченні корисних копалин і переробці матеріалів розробка технологій проводиться за відомим алгоритмом: вивчення властивостей сировини, роз'єднання цінного і нецінного компонентів, відділення цих компонентів одне від другого, приведення до товарного вигляду. Всі ці процеси частково систематизовані і математично описані. Тому все частіше намагаються формалізувати всю процедуру підбору технології переробки. Але кожному виду сировини потрібен свій розділовий апарат, пристосований до умов тобто наскільки унікальною за збагачувальними ознаками повинна бути технологія його переробки, а також і основний збагачувальний апарат, щоб підвищувати якісні показники – сепаратор. Не можна технології поставити в якийсь типорозмірний ряд. У зв'язку з цим, раніше було запропоновано і сформульовано безліч критеріїв вибору апаратів і їх параметрів залежно від типу сировини та способу

підготовки її до розділення. Розроблено моделі різних типів, за допомогою яких можна достовірно представляти розкриття сировини. Сформульовано спосіб моделювання подрібнення. Все це дозволило створити завершені алгоритми технологічних розрахунків будь-яких збагачувальних блоків і представити ці алгоритми широкому колу науковців. Оскільки більшість операцій розрахунку формалізовано і дозволяє обійтися без громіздких експериментальних досліджень, вирішено назвати процедури підбору технологічних схем синтезом.

Основний виклад. Таким чином, завдання синтезу в переробній промисловості (збагачувальній практиці) формулюється наступним чином:

– є матеріал з відомими показниками його властивостей \bar{X} ;

– сформульовані вимоги до початкових показників його переробки \bar{Y} ;

– сформульовані обмеження на зміни параметрів переробки

$$X_{i\min} > \bar{X} < X_{i\max};$$

Створити технологію, яка забезпечила б необхідне перетворення

$$Y_{i\min} > \bar{Y} < Y_{i\max}.$$

Таке завдання вирішується методом «проб та помилок». Тобто рішення може здійснювати фахівець, який може сформулювати можливе перетворення. Серед безлічі рішень, очевидно, існує деяке найближче, на думку фахівця, до найкращого. Ця думка фахівця попередньо оформляється у вигляді деякого критерію.

Таким чином: фахівець формулює безліч можливих рішень, за допомогою аналізу, перевіряються ці варіанти та приймається такий, який найближче до обраного значення мірила прийнятності результату, тобто критерію.

Так діють на кожному етапі синтезу: структури, апаратів, параметрів.

Створення технології переробки матеріалу є пошук структури технологічної схеми, схеми з'єднання технологічних апаратів і вибір технологічних параметрів для досягнення поставлених цілей. Ці етапи є три завдання синтезу:

- вибір структури технології;
- вибір апаратів у цій структурі;
- вибір параметрів технологічних режимів.

Завдання синтезу було поставлено дослідниками відразу ж, як з'явилися математичні моделі технологічних апаратів та їх сполучення. Однак, вирішення задачі здійснювалося відразу на нижньому рівні – починаючи з вибору параметрів технологічних процесів та методом прямого перебору. В результаті кількість варіантів пошуку збільшувалося практично до

нескінченності. І хоча комп'ютерний пошук скорочував час пошуку, але не дозволяв успішно вирішувати, поставлену в такий спосіб, задачу.

У перетворенні матеріалів велику роль відіграє створення необхідної крупності матеріалу для успішного наступного його перетворення, що реалізується подрібненням. Подрібнювати до необхідного значення крупності не має сенсу через енергоємність цього процесу. Крім того, переробка передбачає вилучення деякого цінного компонента, який у процесі подрібнення певним чином розкривається. В результаті чого дійшли висновку, що необхідно одночасно застосовувати два процеси: подрібнення та розділення за вмістом цінного компонента, тобто подрібнення та сепарація. Цей принцип сформульований польським і російським ученим Генріхом Чечоттом (1875 — 1928) «не подрібнювати нічого зайвого». У цьому принципі полягає і одне із принципів синтезу: формувати технологію переробки за допомогою збагачувальних блоків – підготовка – розділення. Або, як сформулював Г.Чечотт: виділення та розділення.

Переробка матеріалу полягає в поступовому наближенні показника якості до заданого

значення, $\beta_K \rightarrow \beta_{K_зад}$. Оскільки принцип створення технологічної лінії переробки матеріалу, і збагачення в тому числі, передбачає послідовне з'єднання технологічних блоків, то кожен окремий блок має вихідною величиною якісний показник, який поступово наближається до заданого значення якості концентрату

$$\beta_{Ki} < \beta_{K(i+1)} < \dots < \beta_{Kn} \geq \beta_{K_зад}.$$

Для процесу синтезу показники β_{Ki} мають бути відомі. Визначення їх значень є одним із завдань синтезу [1].

Апріорі відомо, і це підтверджується всією практикою створення технологій збагачення корисних копалин і взагалі будь-якої переробки, що в один прийом деякої технологічної переробки домогтися бажаних результатів не вдається. Необхідно застосування декількох послідовних прийомів однотипних операцій, в результаті дії яких буде здійснюватися наближення до бажаного результату. Це β_{Ki} або β_{Kit} .

Природно, що порівняння має регламентуватися деяким критерієм, який визначає досягнення заданого значення показника. Такого критерію поки немає і на підприємстві оцінюють допустимі відхилення показників проміжних продуктів за результатами експлуатації суб'єктивно. Таким чином, розробка такого критерію є одним із завдань синтезу технологій переробки матеріалів.

Технологічна схема переробки матеріалів це певним чином виконане з'єднання технологічних апаратів. Кожен апарат має власну технологічну характеристику, відповідно до якої перетворюються показники початкової сировини у вихідні. Залежно від співвідношення показників

сировини та апарату таке перетворення може бути виконано краще чи гірше відповідно до певного об'єктивного показника. Звідси випливає, що характеристики апаратів і показників підготовки сировини до відповідної переробки повинні бути відповідним чином узгоджені. Таке узгодження також є завданням синтезу технологій.

Багаторічний досвід переробки сировини показує, що переробка полягає в перетворенні початкового вмісту цінного мінералу в більш високе його значення – підвищення вмісту цінного мінералу. Таке перетворення стає можливим, коли цінний мінерал відокремлюється від нецінного (породи). Ця операція називається розкриттям. Отже, підготовка ведеться за показниками крупності, а розділення за показниками вмісту цінного мінералу (якості). Тому при синтезі необхідні математичні перетворення характеристик крупності в показники фракційного складу і аналогічні зворотні перетворення.

Отже, для реалізації алгоритму синтезу технології переробки матеріалу необхідні такі математичні моделі:

- показники початкової сировини;
- характеристика перетворення показників сировини у вихідні показники подрібнення;
- визначення показників розкриття цінного мінералу;
- показники перетворення підготовленої сировини в показники сепарації;
- визначення досягнення достатньої якості збагаченого продукту;
- перетворення параметрів фракційного складу на показники крупності.

Всі необхідні математичні моделі розроблені та опубліковані [1,2,3].

Оцінити ефективність розв'язання задачі синтезу залишається лише за кінцевим результатом. Тобто, виконати багаторазові остаточні рішення і серед цієї множини вибрати прийнятний з точки зору економічної доцільності та технологічної ефективності відповідно до обраного раніше та узгодженого критерію.

При виконанні операцій синтезу технологій характеристики апаратів або будь-якого технологічного блока повинні зв'язувати вихідні характеристики із початковими за допомогою деякого оператора, наприклад:

$$y = f(x) \quad \text{або} \quad \bar{Y} = A(\bar{X}),$$

$$A = \frac{Y}{X}, \quad \text{тобто.} \quad Y = A \cdot X.$$

Отже, оператор A вказує на те, які необхідно виконати дії із початковою величиною (алгоритм перетворення), щоб отримати значення вихідної величини. Оператор повинен бути якомога простішим, щоб не ускладнювати спостереження процесу перетворення технологічного показника.

З метою наочності та очевидності представлення матеріалів дослідження будемо користуватися системними характеристиками розділових процесів, а самі дослідження проводитимемо чисельним моделюванням. Такими характеристиками є:

– для розділових апаратів це сепараційні характеристики, які відображають імовірність переходу частинок певних фракцій, або класів у збагачений продукт (якщо розділення бінарне). Якщо ж розділення виконується за багатьма продуктами (багатопродуктове), то для кожного вихідного потоку існує своя сепараційна характеристика. Оцінкою сепараційної характеристики є вилучення.

– для подрібнювальних апаратів це подрібнювальні характеристики, які відображають відношення вмістів однойменних вузьких класів крупності на виході та вході подрібнювального апарату або агрегату, чи блоку.

Сепараційна характеристика (СХ) схеми розділення визначається сепараційними характеристиками окремих операцій їх кількістю і послідовністю з'єднання. Основною властивістю СХ є закономірність, яка покладена в основу будь-якого розділового апарату: чим більший вміст цінного мінералу в частинці, тим більша імовірність її вилучення в збагачений продукт.

Технологічна схема збагачення корисних копалин складається з певної послідовності операцій розділення та змішування. Тому першочерговим завданням розрахунку є визначення вилучення вузьких фракцій у продукти, які отримані в результаті переробки за всіма операціями схеми. Розглянемо як задіяні ці характеристики на практиці, відповідно до схеми рис. 1. Номери вихідних точок – умовне позначення продуктів: перша цифра – номер апарату, друга – номер продукту. ЗВ1 – рецикл (зворотний зв'язок, циркуляція).

Відповідно до законів послідовного з'єднання маємо:

$$P_{\beta} = P_1 \cdot P_{ЗВ1} \cdot P_2$$

Для зворотного технологічного зв'язку (рецикл) характеристика (оператор) дорівнює:

$$P_{ЗВ1} = \frac{1}{1 - P_1 \cdot P_2^1}$$

$$\text{де } P_2^1 = 1 - P_2, \quad (P_1^1 = 1 - P_1).$$

Виконуємо тотожні перетворення та отримуємо сепараційну характеристику технологічного блоку розділення:

$$P_{\beta} = P_1 \cdot P_{ЗВ1} \cdot P_2 = \frac{P_1 \cdot P_2}{1 - P_1 \cdot P_2^1} = \frac{P_1 \cdot P_2}{1 - P_1 \cdot (1 - P_2)} = \frac{P_1 \cdot P_2}{1 - P_1 + P_1 \cdot P_2}.$$

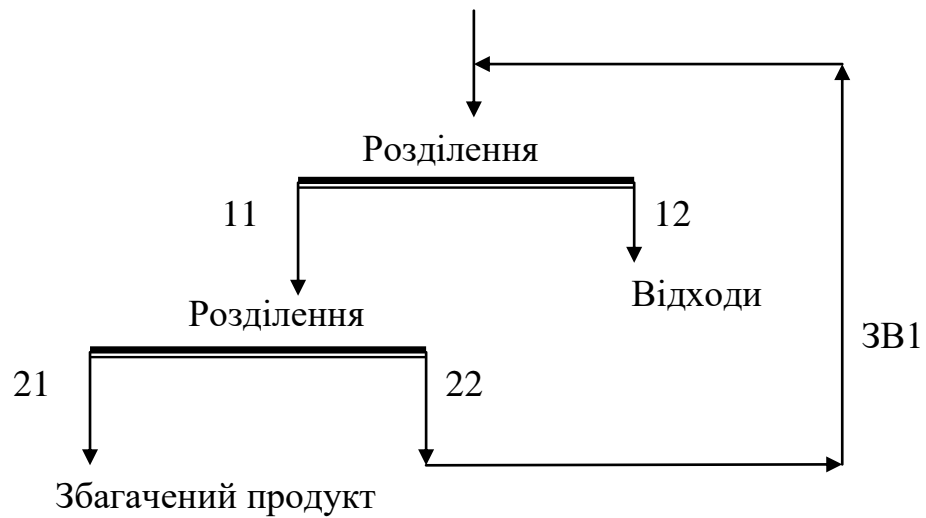


Рисунок 1 – Схема технологічного блоку розділення.

Загальний вигляд сепараційної характеристики при розділенні за вмістом цінного мінералу має вигляд неспадної кривої.

Отримання цих характеристик здійснюється експериментальним шляхом. Для цього проводять випробування процесу розділення в трьох точках технології: на початку, збагачений продукт, збіднений продукт. Проби обробляють і піддають хімічному аналізу на середній вміст цінного мінералу.

Визначають вихід збагаченого продукту.

Потім здійснюють фракційне розділення початкового продукту і збагаченого за фракціями $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$. Зважують проби, що були відібрані, та кожну фракцію. Отримують відповідні виходи фракцій: $\gamma_{\alpha 1}, \gamma_{\alpha 2}, \dots, \gamma_{\alpha n}$, та $\gamma_{\beta 1}, \gamma_{\beta 2}, \dots, \gamma_{\beta n}$.

Обчислюють значення сепараційної характеристики:

$$P_i = \gamma \cdot \frac{\gamma_{\beta i}}{\gamma_{\alpha i}}$$

Подають результати у вигляді графіка

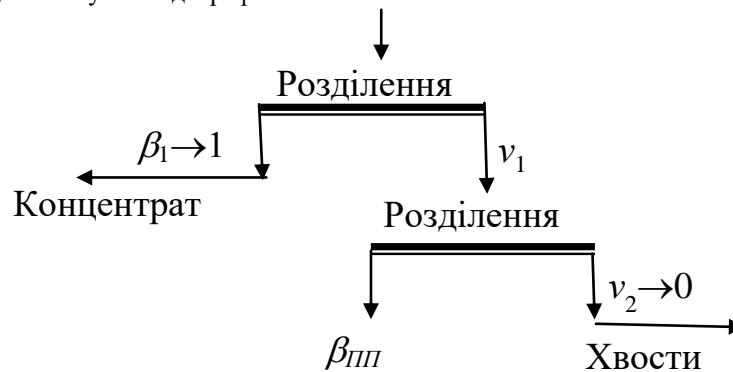


Рисунок. 2 – Схема одночасного виділення концентрату і хвостів

$$P_i = f(\alpha_i)$$

Характеристика матиме вигляд монотонно спадної функції.

Синтез технологій збагачення руд зі стадіальним виділенням відкритих фракцій.

Зазвичай промислові сепаратори розділяють підготовлений продукт таким чином, що вихідні показники змінюють вміст цінного мінералу в одному напрямку. Ця теза дає змогу зробити висновок, що у разі бінарного розділення в одному апараті неможливо отримати одночасно багатий збагачений продукт та бідні хвости. Для такої суперечливої вимоги необхідне технологічне рішення чи зміна розкриття. Таким технологічним рішенням може бути схема, що зображена на рис. 2, у якій апарати виділення концентрату мають сепараційну характеристику, що має абсцису точки перегину ближче до одиниці, а для виділення хвостів вона розташовується ближче до нуля.

Представимо показники розкриття через один аргумент $0 \leq R \leq 1$, що називається розкриттям рудного мінералу, або просто розкриттям. З його допомогою вміст фракцій у підготовленому продукті можна виразити як:

$$\begin{aligned} & \text{– відкриті рудні зерна} && P_{PЗ} = \alpha_n \cdot R; \\ & \text{– багаті зростки} && P_{PC} = \alpha_n \cdot (1 - R); \\ & \text{– бідні зростки} && P_{HC} = (1 - \alpha_n) \cdot (1 - R). \end{aligned}$$

Якщо мінерал повністю розкритий ($R = 1$), то будуть тільки відкриті зерна якщо ж мінерал не розкритий ($R = 0$), то будуть зростки у кількості $P_{HЗ} = 1 - \alpha_n$ та $P_{PЗ} = \alpha_n$, що відповідає уявленню про розкриття рудного мінералу.

Підставимо показники розкриття у формулу, що дозволяє визначити якість проміжного продукту, і матимемо:

$$\beta_{III} = \frac{P_{PЗ} \cdot \alpha_{PЗ} + P_{HЗ} \cdot \alpha_{HЗ}}{P_{PЗ} + P_{HЗ}} = \frac{\alpha_n \cdot (1 - R) \cdot \frac{1 + \alpha_n}{2} + (1 - \alpha_n) \cdot (1 - R) \cdot \frac{\alpha_n}{2}}{\alpha_n \cdot (1 - R) + (1 - \alpha_n) \cdot (1 - R)} = \alpha_n$$

Таким чином, при стадіальному виділенні розкритого мінералу вихідний вміст цінного компонента за стадіями підготовки незмінний і дорівнює первинному початковому вмісту, тобто, у зростках завжди міститься така кількість цінного мінералу, скільки його було у початковому продукті.

Таке розділення можливе тільки, коли сепараційні характеристики мають ступінчастий вигляд. Такий вид недосяжний і тому деяка частина зростків переходить в концентрат і хвосту.

Визначимо, які граничні значення вмісту цінного мінералу можуть бути в зростках, що можуть бути вилучені в концентрат і допустимі, як втрати в хвостах.

Для цього приймемо деяку характеристику розкриття (рис. 3) та приймемо також ідеальне виділення граничних частинок.

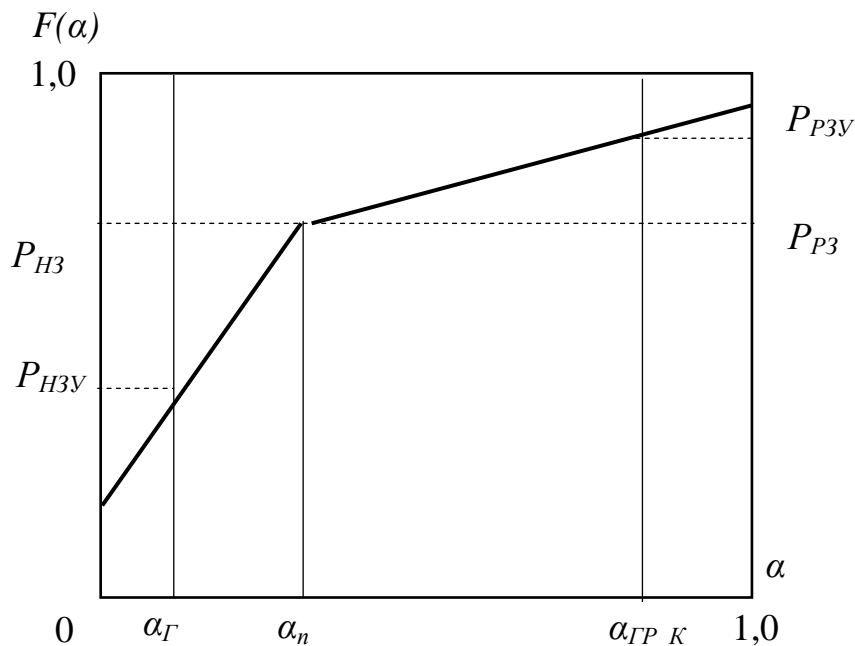


Рисунок. 3 - Функція розподілу зростків

Частинки, у яких $\alpha \geq \alpha_{ГР_К}$, потрапляють у концентрат, а з $\alpha \leq \alpha_{ГР_К}$ – у хвосту. З метою визначення граничних значень вмісту цінного мінералу в частинках, що витягуються в цільовий продукт (концентрат), знайдемо рівняння відрізків прямих функції розподілу зростків.

Для бідних зростків рівняння розподілу має вигляд (рис. 3):

$$\frac{P_{HЗ}}{\alpha_n} = \frac{P_{HЗУ} - P_H}{\alpha}$$

P_H - поточне значення бідних зростків.

Вирішуємо рівняння щодо $P_{HЗУ}$ та отримуємо вираз:

$$P_{H3Y} = P_H + \frac{P_{H3}}{\alpha_n} \cdot \alpha$$

Допустиме значення вмісту цінного мінералу на основі відомого виразу про середньозважене значення становитиме:

$$v_{\text{ДОП}} = \frac{\sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\text{ГРК}}} \Delta P_{H3Y} \cdot \alpha}{\left(P_H + \sum_{\alpha=0}^{\alpha_{\text{ГРК}}} \Delta P_{H3Y} \cdot \alpha \right)}$$

При значенні вмісту цінного мінералу, що дорівнює допустимому значення втрат, воно буде граничним.

Аналогічно визначається граничне значення вилучення багатих зростків P_P і для концентрату:

$$\beta_{K3} = \frac{P_P + P_{P3\text{дон}} \cdot \alpha_{2P}}{P_P + P_{P3\text{дон}}};$$

де граничні значення допустимої кількості зростків та вмісту цінного мінералу, не менше граничного.

Тоді, допустима кількість зростків становитиме:

$$\beta_{P3\text{дон}} = P_{P3} + \frac{1 - \beta_{K3}}{\beta_{K3} + \alpha_{\text{ГР-К}}}$$

З іншого боку:

$$P_{P3z} = P_{P3Y} \cdot \frac{\alpha_{\text{ГР-К}} - \alpha_n}{1 - \alpha_n};$$

або

$$P_{P3\text{дон}} = P_{P3} - P_{P3Y} = P_{P3} - P_{P3} \cdot \frac{\alpha_{\text{ГР-К}} - \alpha_n}{1 - \alpha_n}$$

Тоді:

$$P_{P3} \cdot \frac{1 - \beta_{K3}}{\beta_{K3} - \alpha_n} = P_{P3} - P_{P3} \cdot \frac{\alpha_{\text{ГР-К}} - \alpha_n}{1 - \alpha_n}$$

Після перетворень щодо граничного значення вмісту цінного мінералу отримуємо:

$$\frac{P_P}{P_{P3}} \cdot (1 - \beta_{K3}) \cdot (1 - \alpha_n) = (1 - \alpha_{\text{ГР-К}}) \cdot (\beta_{K3} - \alpha_{\text{ГР-К}})$$

Позначимо:

$$\frac{P_P}{P_{P3}} \cdot (1 - \beta_{K3}) \cdot (1 - \alpha_n) = A$$

Тоді:

$$(1 - \alpha_{\text{ГР-К}}) \cdot (\beta_{K3} - \alpha_{\text{ГР-К}}) = \beta_{K3} - \alpha_{\text{ГР-К}} \cdot (1 + \beta_{K3}) + \alpha_{\text{ГР-К}}^2 = A$$

та:

$$\alpha_{\text{ГР-К}}^2 - \alpha_{\text{ГР-К}} \cdot (1 + \beta_{K3}) + (\beta_{K3} - A) = 0$$

Рішення даного рівняння відоме:

$$\alpha_{\text{ГР-К}} = \frac{(1 + \beta_{K3}) \pm \sqrt{(1 + \beta_{K3})^2 - 4 \cdot (\beta_{K3} - A)}}{2}$$

Оскільки $\alpha_{\text{ГР}} \geq 0$, то:

$$\alpha_{\text{ГР-К}} = \frac{(1 + \beta_{K3}) - \sqrt{(1 + \beta_{K3})^2 - 4 \cdot (\beta_{K3} - A)}}{2}$$

Для втрат у хвостах початкове рівняння має вигляд:

$$\frac{P_H \cdot v_{\text{ДОП}}}{\alpha_{\text{Г}} - v_{\text{ДОП}}} = P_H + (P_{H3} - P_H) \cdot \frac{\alpha_{\text{Г}}}{\alpha_n}$$

Яке після тотожних перетворень набуває вигляду:

$$(P_{H3} - P_H) \cdot \frac{\alpha_{\text{Г}}^2}{\alpha_n} - \left((P_{H3} - P_H) \cdot \frac{v_{\text{ДОП}}}{\alpha_n} - P_H \right) \cdot \alpha_{\text{Г}} - 2 \cdot P_H \cdot v_{\text{ДОП}} = 0$$

І рішення якого тривіальне:

$$\alpha_{\text{Г}} = \frac{\left((P_{H3} - P_H) \cdot \frac{v_{\text{ДОП}}}{\alpha_n} - P_H \right) \pm \sqrt{\left((P_{H3} - P_H) \cdot \frac{v_{\text{ДОП}}}{\alpha_n} - P_H \right)^2 + 8 \cdot P_H \cdot v_{\text{ДОП}} \cdot \frac{(P_{H3} - P_H)}{\alpha_n}}}{2 \cdot \frac{(P_{H3} - P_H)}{\alpha_n}}$$

Для наступних вихідних даних: $P_H = 0,2$; $\alpha_n = 0,35$; $v_{\text{ДОП}} = 0,05$; $P_{H3} = 0,45$; $P_{P3} = 0,2$; $P_P = 0,15$; $\beta_{K3} = 0,9$; маємо допустимі відхилення показників розділення $\alpha_{\text{ГР-К}} = 0,87$; $\alpha_{\text{Г}} = 0,082$.

Ці абсциси вказують на значення точок перегину сепараційних характеристик при виділенні концентрату та хвостів.

Оскільки вміст цінного мінералу в промпродукті буде незмінним, то прийемо, що рудна фаза буде виражена через середню крупність як:

$$d_{BK_i} = d_i \cdot \sqrt[3]{\alpha_n}$$

І далі всі розрахунки з розкриття здійснюємо за формулами для первісного розкриття. При цьому рудна фаза в частинках складає:

$$r_{BK_i} = d_i - d_{BK_i} = d_i \cdot \left(1 - \sqrt[3]{\alpha_n}\right)$$

$$\gamma_{III0} = 1;$$

$$\gamma_{III_i} = \gamma_{III(i-1)} \cdot (1 - \gamma_{K_i} - \gamma_{X_i})$$

При визначенні числових характеристик результатів підготовки та розділення в блоці (рис.4) необхідно враховувати виходи промпродуктів на попередньому етапі:

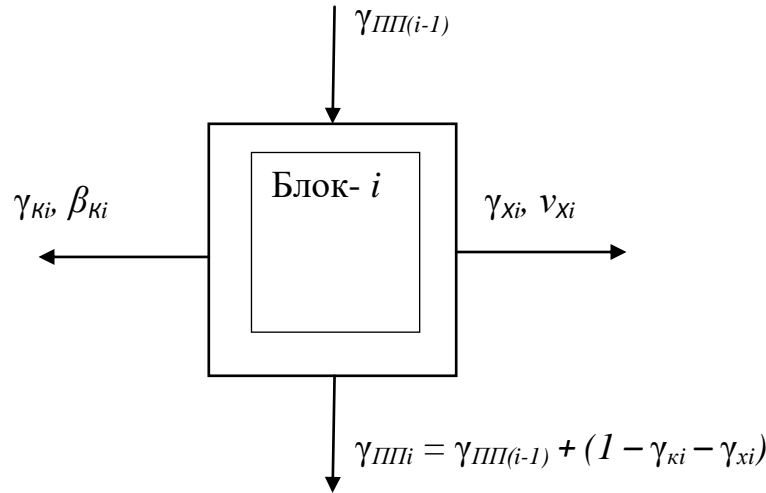


Рисунок 4- Схема технологічного блоку

$\gamma_{III(i-1)}$ – частковий вихід промпродукту попередньої стадії; $\gamma_{K_i}, \beta_{K_i}$ – вихід концентрату даної стадії та вміст цінного мінералу в ньому; γ_{X_i}, ν_{X_i} – вихід хвостів даної стадії та вміст цінного мінералу в них; $\gamma_{III_i} = \gamma_{III(i-1)} \cdot (1 - \gamma_{K_i} - \gamma_{X_i})$ – частковий вихід промпродукту даної стадії розділення.

Сумарний вміст цінного мінералу в концентраті становитиме:

$$\beta_i = \left(\sum_{i=1}^j \beta_i \cdot \gamma_{III_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^j \gamma_{K_i} \cdot \gamma_{III_i} \right)$$

Сумарний вміст цінного мінералу в хвостах складе:

$$\nu_i = \left(\sum_{i=1}^j \nu_i \cdot \gamma_{III_i} \right) / \left(\sum_{i=1}^j \gamma_{K_i} \cdot \gamma_{III_i} \right)$$

Сумарний вміст цінного мінералу в кінцевому концентраті складе:

$$\beta_K = \left(\left(\sum_{i=1}^j \beta_i \cdot \gamma_{III_i} \right) + \alpha_m \cdot \gamma_{III_K} \right) / \left(\sum_{i=1}^j \gamma_{K_i} \cdot \gamma_{III_i} + \gamma_{III_K} \right) > \beta_{K3}$$

Якщо ця умова виконується, то подальший пошук структури ТЛЗ (технологічної лінії збагачення) припиняємо.

Алгоритм формування структури ТЛЗ наступний.

1. Моделювання подрібнення – функція розподілу частинок за крупністю в зливні класифікатора .

2. Моделювання розкриття – отримання функції розподілу зростків.

3. Моделювання сепарації – виділення відкритих фракцій та отримання проміжного продукту.

4. Оцінка виходу проміжного продукту та досягнення заданої якості концентрату.

Розрахункові дані отримано для руди із середньою збагачуваністю, та вмістом рудної фракції на рівні 40% об'ємних.

Поточні розрахунки не наводимо, бо вони не несуть пізнавальної інформації для даної роботи.

ВИСНОВКИ

За результатами розрахунків видно, що проміжний продукт фактично залишається постійним при стадіальному виведенні відкритих фракцій.

Розв'язання другого завдання показники якості концентрату та втрат у хвостах вказують на коректність вирішення другого завдання, де точка перегину сепараційної характеристики відповідає абсцисі 0,87 – для концентрату та 0,082 – для виділення хвостів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Младецкий И.К., Куваев Я.Г. Распределение показателей качества обогащения железных руд вдоль технологической линии обогащения. Збагачення корисних копалин 46(87) с.117-120, 2011.
2. Младецкий И.К. Синтез технологий обогащения полезных ископаемых. Днепропетровск, НГУ 2006. 154 с.
3. Младецький І.К., Пілов П.І. Технологічні розрахунки у збагаченні корисних копалин. Підручник, 2005 .

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

У роботі наведено загальний принцип аналітичного створення технологічної схеми збагачення корисних копалин та наведено рішення двох завдань, що входять до схеми пошуку технології.

Перше завдання полягає у визначенні змісту цінного компонента у проміжному продукті за умови виведення відкритих фракцій.

Друге завдання полягає у визначенні виду сепараційних характеристик для виділення відкритої нерудної та відкритої рудної фракцій. Ці характеристики істотно відрізняються одна від одної: для виділення нерудної фракції точка перегину повинна перебувати в області близької до нуля, а для виділення концентрату – до одиниці. Рішення отримано виходячи з характеристики розкриття рудного мінералу.

ABOUT AUTHORS

Младецький І.К. проф. кав. екології НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро.

Левченко К.О. доц. кав. гірничої справи Метінвест політехніка. м.Запоріжжя.



УДК 372.83

СТВОРЕННЯ СПЕЦКУРСУ «ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ» НА ОСНОВІ МЕДІА-РЕСУРСІВ

Володимир Білецький, доктор технічних наук, професор НТУ «Харківський політехнічний інститут»
ukcdb@i.ua

Ганна Онкович, доктор педагогічних наук. Професор Київський медичний університет onkan@ukr.net

Анастасія Кушч аспірант, НТУ «Харківський політехнічний інститут» anastasia.kushch@ukr.net

CREATION OF A SPECIAL COURSE "BASICS OF THE SCIENTIFIC RESEARCH" BASED ON MEDIA RESOURCES

V.S. Biletskyi Dr. Sci. (Engin.), Professor (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"),
ukcdb@i.ua, <https://orcid.org/0000-0003-2936-9680>

Hanna Onkovich, Doctor of Pedagogical Sciences. Professor Kyiv Medical University onkan@ukr.net

Anastasia Kushch PhD student, NTU "Kharkiv Polytechnic Institute" anastasia.kushch@ukr.net

ABSTRACT

The modern scientific research process is impossible without media resources, the "inclusion" of a scientist in the global scientific space, knowledge of the peculiarities of the local (by country) and planetary structure of his centers, the practice of scientific publications, scientometrics, as well as modern scientific degrees and titles, the procedures for obtaining them in various scientific schools. At the same time, one of the mandatory conditions for mastering the course "Fundamentals of Scientific Research" is media literacy, thanks to which the media competence of a modern specialist is formed. Media competence is a basic characteristic of a specialist. A thematic plan of the special course "Fundamentals of scientific research" has been developed for master's and postgraduate students, which is based on domestic and foreign experience in the methodology of scientific research.

Keywords: *scientific research, methodology, scientometrics, media literacy, media education, media didactics, personnel training*

Класично, науковець-початківець повинен освоїти [1, 2]: методологічні та організаційні основи наукових досліджень, зокрема, притаманну науковим школам країни організацію наукових досліджень, лабораторну базу науково-дослідних робіт (НДР), наукові методи постановки експериментів та оброблення результатів досліджень, оформлення результатів НДР та організаційні аспекти наукової діяльності, введення у науковий обіг і ефективно просування результатів наукових досліджень в науковій та бізнесовій сферах із залученням сучасних медіа.

На темпоральній лінії сьогодні розрізняють «старі» і «нові» медіа [3-5]: «Старі медіа» – це традиційні засоби масової інформації (газети, журнали, кіно, радіо, телебачення). «Нові медіа» (англ. New Media) — електронні медіа, що спираються на цифрові технології,

інтерактивність, і мультимедіа. Термін “Нові медіа” з’явився в 60-х роках 20 ст. Його головними характеристиками називали: взаємопов’язаність, доступ індивідуальних користувачів (які можуть бути як отримувачами, так і продуцентами інформації), інтерактивність, багатство способів їх використання, а також відкритість, всюдисущність, часова невизначеність та делокалізація. (Д. Маккуайл). Початки епохи нових медіа пов’язують з поширенням персональних комп’ютерів, супутникового телебачення та відео. (Я. Скушпчак. Та окрім того, що нові медіа, головним чином, відносять до технік переказу візуального та аудіовізуального, до них зараховують і позамоніторові способи переказу (раніше це були телефакс і мобільні).

Їх поява ведеться від 1980-х років, коли почали набувати поширення комп'ютерні та мережні технології. «Нові медіа» розглядаються і як продовження традиційних мас-медіа, і як наступний етап розвитку медіа взагалі. Вони відкриті для взаємодії з читачами, надають їм можливість створювати та модифікувати зміст повідомлень. На відміну від традиційних мас-медіа, де комунікація здійснюється за схемою «від одного до багатьох», схема комунікації у «нових медіа» — від багатьох до багатьох. Доступ до «нових медіа» можливий з усіх електронних пристроїв з виходом у мережу Інтернет.

Особливістю створення та існування нових медіа є ще й те, що для їхнього запуску в життя не потрібно вкладати великі кошти. до того ж, донати можуть робити будь-які люди у необмеженій кількості, які знаходяться на різних континентах та в різних країнах навіть не відходячи від комп'ютера. У той час, як для створення традиційних ЗМІ потрібні великі грошові вливання, що зумовлює певну їх підконтрольність власникові.

Наразі в освітньо-виховному процесі залучено і старі, і нові медіа. Оскільки інтернет-джерела розвиваються бурхливо, деякі дослідники послуговуються терміном «новітні медіа», щоб виокремити найновіші медіа-джерела. Технології використання медіа в процесі навчання і виховання уособлює поняття «медіадидактика». Нині це «парасольковий» термін, котрий об'єднує пресодидатику, кінодидактику, дидактику вуличного мистецтва, радіодидактику, теледидактику, інтернет-дидактику.

Принципова відмінність «нових медіа» полягає в децентралізованості, використанні цифрових технологій створення, зберіганні, трансляції та відтворення інформації, а також участі споживачів інформації в її створенні, поширенні та контролі. Інформація в «нових медіа» переважно мультимедійна, поєднує текст, нерухомі зображення, відео, звук.

Споживання інформації з «нових медіа» відрізняється активнішою участю людини. Якщо такі медіа, як телебачення, передбачають пасивне сприймання, то «нові медіа» спираються на інтерактивність, орієнтуються на взаємодію людини з машинами. Повідомлення (текстові, графічні тощо) в «нових медіа» функціонують за алгоритмами з використанням комбінаторики, послуговуючись скінченною кількістю задалегідь відомих елементів для створення різноманітної інформації

«Нові медіа» діють за принципом мережі, де існує багато рівнозначних центрів з численними зв'язками, що зумовлює їхню стійкість до впливу ззовні. Усунення чи блокування навіть значної кількості центрів і зв'язків не припиняє її діяльності, а нові центри та зв'язки можуть виникати поза зоною впливу шкідливого фактора. Інтернет-технології Web 2.0 є головним прикладом «нових медіа». Поява й поширення «нових медіа» корелює зі зростанням глобалізації

та переходом до постіндустріальної ери, п'ятим технологічним устроєм ІТ-технологійдецентралізацією світу, за якої Захід втрачає панівне значення.

«Нові медіа» зумовлюють нові форми представлення тексту (фільми з комп'ютерною графікою, комп'ютерні симуляції, відеоігри), нові форми репрезентації світу (інтерактивні мультимедіа на екрані, доповнена та віртуальна реальність), впровадження цифрових медіа до повсякденного життя (наприклад, спілкування в месенджерах), інші ідентичності для людини та спільнот (наприклад, аватари, спільноти в соцмережах), стирання меж між людиною та машиною, природою та технологією, нові форми організації суспільства та виробництва. Втім, дослідники зазначають, що «нові медіа» лише розвивають ідеї, закладені в минулі епохи. Так, тривимірна графіка розвиває ідеї перспективи з мистецтва Відродження. А соцмережі розвивають спілкування в напрямку швидкості та подолання відстаней

Нові медіа набувають все більшого поширення та нових форм. вони стають дедалі популярнішими, відтісняючи традиційні засоби масової інформації /комунікації, адже є невідконтрольними владі та персоналізованими, розрахованими на кожного користувача, а розширення мережі інтернет у світі, сприяє все більшому залученню користувачів до створення їхнього контенту

«Нові медіа» зумовлюють появу нових і осучаснення існуючих професій, оскільки у сучасному світі особливо цінується здатність швидко пристосовуватися до нових реалій.

Представлений спецкурс зорієнтований на потреби майбутніх працівників наукової сфери.

Результатом професійної підготовки майбутнього науковця із застосуванням медіаосвітніх технологій є не тільки професійна освіченість, компетентність та майстерність у фаховій галузі як складових професійної культури, але й медіаобізнаність, медіакомпетентність та медіаграмотність. Ці складові елементи медіакультури – запорука досягнення успіху в науковій роботі, виконання її на сучасному високому методологічному рівні, застосування новітніх приладів та апаратури, досягнення авторитету в колах національної та міжнародної наукової спільноти.

ВИСНОВКИ

1. Впровадження медіаосвіти до фахової підготовки є актуальним завданням педагогіки вищої школи на шляху побудови єдиного європейського освітнього простору. Цей процес розвиває медіакомпетентність фахівців, дає орієнтири щодо збагачення фаховими знаннями, самоосвіти в майбутньому. В цьому плані на часі не тільки створення спецкурсів з медіаосвіти для окремих спеціальностей з інженерії, але й

універсального Спецкурсу для підготовки майбутніх науковців у різних галузях.

2. Розроблено тематичний план спецкурсу «Основи наукових досліджень». Мета спецкурсу – формування медіакультурної компетентності майбутнього працівника наукової сфери, що обумовлює підвищення наукового рівня НДР, застосування сучасних медіаресурсів

для апробації і публікації їх результатів і в цілому сприяє успіху науковця, підвищенню рівня інформованості наукового співтовариства про досягнення вітчизняної науки і техніки.

СПЕЦКУРС «Основи наукових досліджень» Тематичний план

Тема 1	Вступ: предмет, мета і завдання медіаосвіти. Термінологія медіа й медіаосвіти. Поняття «медіакультура», «медіаосвіта», «медіаграмотність», «медіапедагогіка», «медіапсихологія», «медіадидактика», «медіакомпетентність». Ключові поняття медіаосвіти.
Тема 2	Організація науково-дослідницької роботи в Україні. Організаційна структура науки в Україні. Класифікація наук. Підготовка наукових кадрів. Науково-дослідницька робота студентів і аспірантів у вищій школі та інститутах НАН України.
Тема 3	Методологічні основи наукового пізнання та творчості. Поняття про методологію та метод наукового дослідження. Типологія методів наукового дослідження. Системний підхід у наукових дослідженнях. Вибір методів дослідження.
Тема 4	Вибір напрямку наукового дослідження та етапи НДР. Поняття наукової проблеми. Поняття теми дослідження та її формулювання. Визначення предмета та об'єкта дослідження. Мета і завдання дослідження. Порядок здійснення наукового дослідження. Етапи НДР.
Тема 5	Пошук, накопичення та оброблення наукової інформації. Загальна характеристика інформації. Види джерел інформації. Інформаційне забезпечення наукових досліджень. Пошук необхідної інформації. Пошук інформації в бібліотеці, музеї, архіви. Комп'ютерні технології пошуку інформації. Порядок оброблення та групування інформації. Основні медіаресурси науковця.
Тема 6	Проведення теоретичних досліджень. Сутність, мета, завдання та етапи теоретичних досліджень. Методи теоретичних досліджень. Використання математичних методів у дослідженнях. Експериментальні дослідження. Сутність, мета, функції наукового експерименту. Класифікація експериментів. Методологія експериментальних досліджень. Загальні вимоги до проведення експерименту. Робоче місце експериментатора та організація експерименту.
Тема 7	Оброблення експериментальних даних. Програмні та медіаресурси. Основи теорії випадкових помилок та методів оцінки випадкових похибок у вимірюваннях. Методи графічного оброблення результатів експерименту. Аналітичне опрацювання результатів експерименту. Елементи теорії планування експерименту.
Тема 8	Оформлення результатів наукової роботи. Прийоми викладення матеріалів наукового дослідження. Мова та стиль наукової роботи. Складання та оформлення звітів з НДР. Методологічна роль медіа.
Тема 9	Впровадження та ефективність наукових досліджень. Основні наукові медіамайданчики (наукова періодика, сайти, монографії тощо) для апробації та оприлюднення результатів наукового дослідження. Впровадження результатів наукових досліджень. Ефективність наукових досліджень.
Тема 10	Організація роботи в науковому колективі. Наукові колективи як особливі структури в науці. Наукові школи та їх роль у науці. Основні принципи управління науковим колективом. Правила неконфліктного спілкування та особливості управління конфліктами в науковому колективі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. В.С. Білецький, О.А. Северин. *Методологія та організація наукових досліджень*. – Полтава, ПолтНТУ. 2014. - 113 с.
 2. Підготовка і захист дисертації на здобуття наукового ступеня у галузі технічних наук. – Кривий Ріг: Криворізький національний

університет. Автори-упорядники: В. С. Моркун, М. І. Ступнік, В. В. Тронь. – 2019. – 110 с.
 3. Ганна Онкович. *Медіа- та інформаційна грамотність у сучасній вищій освіті України* / Г. В. Онкович // *Вища освіта України : теорет. та наук.-метод. часоп.* – № 1 (Дод. 1). – [Темат. вип.] : *Наука і вища освіта.* – Київ, 2014. – С. 85–87.
 4. Онкович Г.В. *Медіакомпетентність – фахова якість сучасного випускника вищої школи*

// Проблеми освіти, 2014. – Т. 78. – № 1. – С. 205-211

5. Biletsky, V., Onkovych, H. & Yanyshyn, O. (2019) MEDIA EDUCATION TECHNOLOGIES IN DEVELOPING STUDENTS PROFESSIONAL COMPETENCE // Scientific Journal WEST-EAST. Vol 2/2 N1 (October, 2019). p. 110-114.

6. Г. В. Онкович Використання інтегрованого простору знань у навчальному процесі засобами медіаосвіти / Г. В. Онкович // Вища освіта України : теорет. та наук.-метод. часоп. – № 2 (Дод. 1) / Ін-т вищ. освіти АПН України. – Київ : [Ін-т вищ. освіти АПН України], 2009. – Темат. вип. : Наука і вища освіта в Україні: міра інтеграції. – С. 166-172.

7. Г. В. Онкович, А. Д. Онкович Від педагогічної журналістики до медіаосвіти / // Нові технології навчання : наук.-метод. зб. / Ін-т інновац. технологій і змісту освіти МОН України, Акад. міжнар. співробітництва з креативної педагогіки. – Київ ; Вінниця : [б. в.], 2010. – № 66, ч. 1 : матеріали VII Міжнар. конф. «Духовно-моральне виховання і професіоналізація особистості: виклики XXI століття». – С. 41–45.

8. Интернет-дидактика в обучении русскому языку как иностранному (по материалам XII конгресса МАПРЯЛ) / А. В. Онкович // Научный диалог : журн. науч. публикаций. – 2012. – № 1 : Педагогика. Психология. – С. 201–209. <http://www.naukadialog.ru/userFiles/file/>.

9. Медиадидактика / Анна Владимировна Онкович // Materiały V Międzynarodowej Konferencji Naukowej «Język rosyjski w przestrzeni językowej i kulturowej Europy i świata: Człowiek. Świadomość. Komunikacja. Internet», Instytut Rusycystyki Uniwersytetu Warszawskiego ; red. nauk. Ludmila Szypielewicz : [материалы V Междунар. науч. конф. «Человек. Сознание. Коммуникация. Интернет», Варшава, 9–13 мая 2012 г. / науч. ред. Людмила Шипелевич]. – Warszawa : [Изд-во Варшав. ун-та], 2012. – С. 1013–1018.

10. Медиадидактика: масс-медиа в учебном процессе : [монография] / Анна Онкович. – Saarbrücken : LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 332 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Сучасний науково-дослідницький процес неможливий без медіа ресурсів, «включення» науковця у глобальний науковий простір, знання особливостей локальної (за країнами) і планетарної структури його центрів, практики наукових публікацій, наукометрії, а також сучасних наукових ступенів і звань, процедури їх отримання в різних наукових школах. При цьому, однією з обов'язкових умов оволодіння курсом «Основи наукових досліджень» є медіаграмотність, завдяки якій формується медіакомпетентність сучасного спеціаліста. Медіакомпетентність є базовою ознакою фахівця. Для магістрантів та аспірантів розроблено тематичний план спецкурсу «Основи наукових досліджень», яка базується на вітчизняному і закордонному досвіді з методології наукових досліджень.

Ключові слова: наукові дослідження, методологія, наукометрія, медіаграмотність, медіаосвіта, медіадидактика, підготовка кадрів.

ABOUT AUTHORS

Володимир Білецький, доктор технічних наук, професор НТУ «Харківський політехнічний інститут» ukcdb@i.ua

Ганна Онкович, доктор педагогічних наук, професор Київського медичного університету onkan@ukr.net

Анастасія Куц, аспірант, НТУ «Харківський політехнічний інститут» anastasia.kushch@ukr.net



УДК 622.73.621.926.9С

ІСТОРИЯ РОЗВИТКУ ПРОЦЕСУ САМОПОДРІБНЕННЯ

Микола Сокур, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. E-mail: m_sokur39@ukr.net

THE HISTORY OF THE DEVELOPMENT OF THE SELF-GRINDING PROCESS

Mykola Sokur, Doctor of Technical Sciences, Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. E-mail: m_sokur39@ukr.net

ABSTRACT

Простежена історія техніки та технології, а також впровадження само подрібнення руд у світі та Україні. Огляд та аналіз охоплює ХХ і початок ХХІ ст. Показано, що самоподрібнення почало впроваджуватися в схеми рудопідготовки в 1950–62 рр. і набуло поширення в США, Канаді, Швеції, Австралії, Норвегії, ПАР, ФРН, Фінляндії, Туреччині та інш. країнах. Станом на 2010 рік в зарубіжній гірничій промисловості знаходилось в експлуатації близько 160 великих млинів повного чи часткового самоподрібнення, у тому числі 65 з них працювали в залізорудній промисловості, 28 – у мідній, а інші – при збагаченні руди рідкісних і благородних металів.

У процесі самоподрібнення руд та іншої мінеральної сировини великі шматки руди є подрібнювальним середовищем, що подрібнює більш дрібні грудки, причому і великі шматки поступово руйнуються в барабані млина самоподрібнення, перетворюючись на дрібний продукт.

Розвиток самоподрібнення пов'язаний насамперед з удосконаленням технології переробки золотовмісних руд, так як процес вилучення золота із застосуванням ціанування вимагав більш тонкого подрібнення руди, а також виключення з процесу металевих помельних тіл, з тим, щоб звести до мінімуму кількість домішок заліза в пульпі.

Для зниження потрапляння в пульпу апаратного тонкодисперсного заліза (сильного відновника золота) футеровка барабанних млинів виконується з гальки, закріпленої по барабану портландцементом. Замість куль в якості подрібнювального середовища використовується також галька. Самоподрібнення ефективно при переробці кімберлітових руд, тому що дозволяє захистити від руйнування кристали алмазів.

Перші згадки про роботу барабанних млинів з гальковим подрібнювальним середовищем датуються 1904 роком. У 1907

р. на руднику Гельденхьюс–Діт Йоханнесбургу в Південній Африканській Республіці були проведені паралельні випробування двох трубних млинів діаметром 2,7 і довжиною 6,8 м, причому в одному з них як подрібнювальне середовище вико ристовували привезену з Європи гальку, в іншому – великі шматки золотовмісного кварцу. В історичному плані ці випробування вважають початком машинного подрібнення руди рудою, тобто початком самоподрібнення руд.

Перший патент на спосіб подрібнення крупновкрапленої руди і устаткування для здійснення цього процесу був отриманий А.Д. Хадселем в 1908 р. Проте пройшло 24 роки, перш ніж в 1932 р. був виготовлений перший промисловий млин. Діаметр барабана млина 7320 мм, довжина 900 мм, частота обертання $2,66 \text{ хв}^{-1}$, потужність привода 100 кВт. У млині здійснювалося самоподрібнення сульфідної руди від 305 до 0,246 мм. У процесі експлуатації був виявлений ряд конструктивних недоліків, які усувалися у міру реконструкції першого промислового зразка.

Самоподрібнення почало впроваджуватися в схеми рудопідготовки в 1950–62 рр. і набуло поширення в США,

Канаді, Швеції, Австралії, Норвегії, ПАР, ФРН, Фінляндії, Туреччині та інш. країнах.

У період 1960–1970 рр. у промислово розвинутих капіталістичних країнах були введені в дію великі фабрики, обладнані млинами самоподрібнення. У Радянському Союзі промислові млини самоподрібнення почали серійно випускатися з 1967 року і на кінець ХХ ст. в експлуатації знаходилося близько 200 млинів типу МБ–70Х23, ММС–70Х23 і ММС–90Х30А. У чорній металургії працюють три великі збагачувальні фабрики, які обладнані млинами самоподрібнення на Інгулецькому, Лебединському і Північному гірничо–збагачувальних комбінатах.

Друга світова війна загальмувала дослідні та проектно–конструкторські роботи з самоподрібнення руд. У повоєнні роки фірми «Х. Хардінал», «Аерофол Міллз» широко розгорнули роботи в галузі мокрого та сухого самоподрібнення, в результаті чого цей процес був істотно вдосконалений, створені високопродуктивні промислові млини. Завдяки цьому вже у 1950 р. стала до ладу збагачувальна фабрика «Мангулан», обладнана млинами сухого самоподрібнення діаметром 6,7 м. Фабрика переробляла багату мідну руду. У 1962 р. шість таких млинів було встановлено на фабриці «Керала Лейк» в Канаді. У 1961 р. експлуатувалося 12 млинів мокрого рудного самоподрібнення на фабриці «Лейк–Дженін» (Канада). Діаметр барабана млинів 5,5 м, довжина 1,5 м, потужність привода 440 кВт. У тому ж році стала до ладу фабрика «Крїтейшн» (США), на якій були встановлені більші млини розміром 6,7×2,14 м з двома двигунами привода загальною потужністю 660 кВт. Такий же млин було встановлений у 1962 р. на фабриці «Валсто», Швеція для переробки поліметалічних руд. З цього періоду починається широке впровадження самоподрібнення для переробки руд чорних і кольорових металів. Вже у 1965 р. закінчується будівництво і починається промислова експлуатація великої збагачувальної фабрики «Вобуш» (Канада) з переробки залізних руд. Подрібнення на цій фабриці здійснюється в більш досконалих млинах мокрого самоподрібнення розміром 7,32 x 2,44 м з приводом потужністю 1300 кВт. Продуктивність цих млинів до 300 т/год при крупності кінцевого продукту подрібнення до –0,8 мм. Частота обертання барабана 0,75% критичної (22,5 хв⁻¹), коефіцієнт заповнення – близько 0,42–0,45. У

наступні роки за кордоном вступають в дію потужні збагачувальні фабрики, обладнані іншими великими млинами самоподрібнення.

В даний час одним з найбільших зарубіжних підприємств, що застосовують технологію самоподрібнення, є фабрика збагачення «Хіббінг Таконайт» фірми «Пікандз Мазер» (Канада), на якій експлуатуються найбільші млини самоподрібнення з діаметром барабана 11 і завдовжки 4,6 м.

У СРСР дослідження промислового застосування самоподрібнення руд чорних і кольорових металів датуються 1962–1964 рр. Перший в нашій країні дослідно–промисловий млин мокрого самоподрібнення діаметром 5,7 м був встановлений на одному з підприємств «Якуталмаз» в 1964 р. Млин такого ж діаметру в 1964–1968 рр. випробовувався на ЦГЗК для сухого самоподрібнення криворізьких залізних кварцитів.

У 1966–1967 рр. на НКГЗК (Новокриворізький гірничозбагачувальний комбінат) були проведені випробування дослідно–промислового млина мокрого самоподрібнення МБ–70–22. З урахуванням результатів цих випробувань була розроблена технічна документація і розпочато виробництво вітчизняних млинів МБ–70–23 з об'ємом барабана 80 м³. У січні 1969 р. два такі млини почали експлуатуватися на першій, найбільшій у чорній металургії фабриці мокрого самоподрібнення руд – РЗФ–2 ІнГЗК в Кривому Розі. До кінця 1969 р. на цій фабриці було встановлено вже 10 таких млинів, а в грудні 1970 р. була здана в експлуатацію РЗФ–2 ІнГЗК, обладнана 16 млинами мокрого самоподрібнення МБ–70–23 і такою ж кількістю млинів рудного подрібнення МРГ–45–75. Зі збільшенням обсягу видобутку руди на ІнГЗК збагачувальна фабрика продовжувала розширюватися і подальша її черга (РЗФ–3) була також обладнана модернізованими млинами ММС–70–23.

З урахуванням позитивного досвіду впровадження самоподрібнення на ІнГЗК на родовищі Курської магнітної аномалії була споруджена і в 1974 р. здана в експлуатацію велика збагачувальна фабрика, обладнана млинами ММС–70–23.

Паралельно з широким впровадженням у гірничорудну промисловість серійних млинів ММС–70–23 Механобрчормет спільно з партнерами розробляв більш габаритний млин

самоподрібнення більшої одиначної потужності з об'ємом барабана 160 м³. Перший дослідний зразок такого млина з розміром барабана 9 х 3 м (МБ-90-30) був випробуваний на дослідній фабриці ІнГЗК в 1973–1975 рр. З урахуванням результатів цих випробувань була виготовлена дослідно-промислова партія найбільших вітчизняних млинів мокрого самоподрібнення ММС-90-30 з потужністю привода 4000 кВт.

Ці млини були встановлені на II черзі збагачувальної фабрики ЛебГЗК, яка була здана в експлуатацію в 1976 р.. Вісім таких же млинів були встановлені на збагачувальній фабриці ПівнГЗК, прийнятої у промислову експлуатацію в 1980 р.

У 1980–1981 рр. млинами ММС-90-30А вдосконаленої конструкції була обладнана третя рудозбагачувальна фабрика ЛебГЗК. Згодом Механобрчорметом видано технічне завдання, а СТЗ розроблено технічний проект найбільшого млина самоподрібнення ММС-105-50 з об'ємом барабана 400 м³ і встановленою потужністю привода близько 10 000 кВт.

Таким чином, у вітчизняній гірничозбагачувальній промисловості кінця ХХ ст.. самоподрібнення знайшло широке застосування при підготовці руд до збагачувальної переробки.

За станом на 2010 рік в зарубіжній гірничій промисловості знаходилося в експлуатації близько 160 великих млинів повного чи часткового самоподрібнення, у тому числі 65 з них працювали в залізорудній промисловості, 28 – у мідній, а інші – при збагаченні руди рідкісних і благородних металів.

Література

1. М.І. Сокур, В.С.Білецький. Рудопомольні апарати самоподрібнення / Навчальний посібник. – К.: ФОП Халіков Р. Х. 225 с.
2. Restor D. W. Pyrolysis and agglomeration //Mining End. – 1977. – № 2. – Р. 82–86.
3. Ягунов А. В. Мельницы самоизмельчения в СССР и за рубежом, – М., 1978,– 35 с.
4. Смирнов В. О., Білецький В. С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин. – Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. – 286 с.

5. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. – Д. : Східний видавничий дім, 2013. – Т. 3 : С – Я. – 644 с.

6. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. Основи техніки та технології збагачення корисних копалин: навчальний посібник. – К.: Ліра-К, 2020. – 634 с.

7. Дезінтеграція мінеральних ресурсів: монографія / Сокур М. І., Кіянєвський М. В., Воробйов О. М., Сокур Л. М., Сокур І. М. – Кременчук: видавництво ПП Щербатих О. В., 2014–304 с.

8. The study of the lining layer abrasing wear in the semi-autogenous grinding mill / Mykola Sokur, Volodymyr Biletskyi, Mykhailo Fyk, Oleksandr Fyk and Igor Zaselskiy / E3S Web Conf. Volume 166, 2020. The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF 2020). Article Number 03008. Pages 7. Section Sustainable Mining/ <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016603008> Published online 22 April 2020.

9. Сокур М. І. Збірник наукових праць / М. І. Сокур, В.С. Білецький, Д. П. Божик ; Кременчук. нац. ун-т ім. М. Остроградського. – Кременчук : Новабук, 2022. – 294 с.

10. Aven, Terje (1 June 2017). "Improving the foundation and practice of reliability engineering". Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability. 231 (3): 295–305. [doi:10.1177/1748006X17699478](https://doi.org/10.1177/1748006X17699478)

11. Кармазин В. И., Денисенко А. И., Серго Е. Е, Есшаровое измельчение руд.– М. : Недра, 1968.– 184 с.

12. Гольдман С. М. Особенности движения материала в мельнице сухого самоизмельчения // Обогащение руд. – 1970. № 4.– С. 41–44.

13. Гольдман С. М. Мощность, потребляемая мельницей сухого самоизмельчения // Там же,– 1971.– № 2,– С. 37–39.

14. Мельберг Ф. Опыт эксплуатации мельниц самоизмельчения в Зиннпругване // Материалы семинара по самоизмельчению в Тронхейме (Норвегия, май 1979 г.).– Кривой Рог, 1979,– С. 1–33.

15. Уэйли Г., Томас У., Пиаре К. Мельницы самоизмельчения, установленные на фабриках фирмы «Пикандз Мазер» // Там же.– С. 34.
16. N. Sokur, V. Biletskyy, L. Sokur, D. Bozyk, I. Sokur, Investigation of the process of crushing solid materials in the centrifugal disintegrators. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 3(7(81)), 34–40 (2016). doi:10.15587/1729-4061.2016.719837.
17. G.G. Stanley, Mechanisms in the autogenous mill and their mathematical representation. Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy 75, 77–98 (1974), <https://www.saimm.co.za/Journal/v075n04/p077.pdf>. Accessed 21 Mar 20208.
18. S. Morrell, A new autogenous and semi-autogenous mill model for scale-up, design and optimization. Minerals Engineering 17(3), 437–445 (2004). doi:10.1016/j.mineng.2003.10.0139
19. P. Toor, M.S. Powell, M. Hilden, N.S. Weerasekara, Understanding the effects of liner wear on SAG mill performance, in MetPlant–2015, Perth, Australia.
10. W.C. Dailey, Wet Semi-autogenous Grinding Mills, in SME–AIME Fall Meeting, Albuquerque, New Mexico. October 16–18, 1985.
20. Society of mining engineers. Preprint No. 85–405, <https://www.911metallurgist.com/wet-semi-autogenous-grinding-mills/>. Accessed 10 Apr 202011.
21. P. Toor, Quantifying the Influence of Liner Wear on SAG Mill Performance, MPhil Thesis, Sustainable Minerals Institute, The University of Queensland, 2013. doi:10.14264/uql.2014.11212.
22. D. Royston, Semi-autogenous grinding (SAG) mill liner design and development. Mining, Metallurgy & Exploration 24, 121–132 (2007). doi:10.1007/BF03403206 (9) (PDF)
23. The study of the lining layer abrading wear in the semi-autogenous grinding mill. Available from: https://www.researchgate.net/publication/340836571_The_study_of_the_lining_layer_abrading_wear_in_the_semi-autogenous_grinding_mill.

Abstract. The history of technique and technology, as well as the introduction of autogenous grinding of ores in the world and in Ukraine, is traced. The review and analysis covers the 20th and the beginning of the 21st centuries. It is shown that self-crushing began to be introduced into ore preparation schemes in 1950–62 and became widespread in the USA, Canada, Sweden, Australia, Norway, South Africa, Germany, Finland, Turkey and others countries. As of 2010, about 160 large full or partial autogenous grinding mills were in operation in the foreign mining industry, including 65 of them working in the iron ore industry, 28 in the copper industry, and the rest in the processing of ore of rare and precious metals.

Про автора:

Сокур М.І. Доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. E-mail: m_sokur39@ukr.net



УДК 621.317.34

ЧАСТОТНИЙ АНАЛІЗАТОР ТА ГЕНЕРАТОР КОЛИВАЛЬНОЇ ЧАСТОТИ

Вілій Соседка, к.т.н., доцент, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

FREQUENCY ANALYZER AND GENERATOR OSCILLATION FREQUENCY

*Viliy Sosedka, Ph.D., Associate Professor, National Technical University "Dnipro Polytechnic",
Ukraine*

ABSTRACT

Обґрунтовано структуру генератора коливальної частоти (ГКЧ) та частотного аналізатора, що дозволяє проводити частотний аналіз за будь-якою повною ортогональною системою функцій. Причому частотний аналіз можна проводити паралельно на n інтервалах (де n довільне число) і одночасно, якщо доцільно, у різних повних ортогональних системах функцій.

Генератор коливальної частоти (ГКЧ) – це блок, який може бути застосований у різних галузях техніки. Наведемо кілька прикладів.

1. **Використання ГКЧ при розробці та налаштуванні якісних систем регулювання.** Відомо, що часові характеристики систем регулювання (швидкість, величина терморегулювання, статична точність та чутливість) однозначно визначаються її частотними характеристиками. Отримання системою заданих часових характеристик зводиться до коригування частотних характеристик розімкненої системи. Донедавна частотна корекція систем зводилася до введення стандартних регуляторів: П, ІІ, ІІД. При такій постановці завдання стійкість визначається в точці (критерій Найквіста) і у смузі середніх частот вводиться заборонена область, яку не повинні перетинати частотні характеристики проекрованої системи. Зазвичай, при введенні стандартних регуляторів, запас стійкості за фазою та амплітудою виконується на частоті Найквіста, а в забороненій області є надлишкові запаси за фазою та амплітудою, які можна, шляхом введення більш складних регуляторів, використати для поліпшення якісних характеристик систем регулювання (підвищення

швидкодії, статичної точності та чутливості). І тут запас стійкості повинен визначатися не у точці, як і подається у підручниках, а в області середніх частот. Частотні характеристики проекрованої системи повинні йти за межею забороненої області.

Таким чином, перехід від використання стійкості **в точці** до використання стійкості **в області** обумовлює суттєве ускладнення регулятора. Замість стандартних регуляторів використовують цифрові фільтри, реалізація яких на стандартній мікропроцесорній техніці не викликає труднощів. Утруднення викликає визначення коефіцієнтів цифрових фільтрів, які входять у програму, що визначає параметри регулятора.

Визначимо коефіцієнти цифрових фільтрів програми. Вихідними даними є частотні характеристики системи і частотні характеристики бажаної (проекованої) системи, побудованої з використанням області стійкості. Частотні характеристики коригуючого пристрою, задані набором частот і амплітуд, можуть бути отримані як різниця бажаної системи регулювання, та існуючої. Зазначимо, що характеристики цифрового регулятора, отримані з використанням області стійкості, описуються складною

кривою і її важко розрахувати, використовуючи типові ланки, що складаються з елементів RC. Набагато простіше це зробити експериментально, використовуючи ГКЧ, виставивши задану частоту і шляхом експериментального підбору параметрів RC елементів домогтися заданої амплітуди вихідного сигналу по всьому частотному діапазону характеристик цифрових регуляторів.

Експериментально отриманий аналоговий фільтр можна поставити в систему регулювання та отримати необхідні показники якості регулювання або, за його тимчасовими характеристиками, можна написати програму для реалізації цифрового регулятора.

2. Особливості застосування ГКЧ при аналізі Фур'є.

Розглянемо співвідношення:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

де f – частота в Гц., T – період для цієї частоти.

Приведемо (1) до вигляду:

$$f \cdot T = 1 \quad (2)$$

Складемо пристрій, який реалізує (2). Це може бути інтегратор, вихідний сигнал якого обмежений (1). Запишемо передатну функцію інтегратора.

$$W(p) = \frac{X(p)_{\text{вих}}}{X(p)_{\text{вх}}} = K_i/p \quad (3)$$

де K_i – коефіцієнт посилення інтегратора.

Запишемо оригінал виразу (3) з урахуванням, що вихідний сигнал інтегратора дорівнює 1. Тоді час інтегрування буде дорівнювати періоду.

$$X_{\text{вих}}(t) = X_{\text{вх}}(t) \cdot K_i \cdot \int_0^t dt = X_{\text{вх}}(t) \cdot K_i \cdot t = X_{\text{вх}}(t) \cdot K_i \cdot T = 1 \quad (4)$$

Як впливає з виразу (3) вихідний сигнал інтеграторів визначається трьома величинами: вхідною напругою $X_{\text{вх}}$, коефіцієнтом посилення інтегратора K_i та часом інтегрування t . Причому зміна напруги призводить до пропорційної зміни частоти. Це обумовлює ряд переваг. Напруга легко змінюється за будь-яким законом, що, по-перше, дозволяє узгоджувати періоди ГКЧ з періодами досліджуваного сигналу, по-друге, різні частотні ділянки проходити з різною швидкістю, по-третє, створити ланцюжок з декількох паралельно працюючих інтеграторів, коефіцієнти посилення яких

відрізняються один від одного, наприклад, у 10 разів. Тоді коливання частоти одночасно проходитиме за декількома декадами одночасно, що скорочує час аналізу.

Співвідношення (4) збігається з виразом (2), якщо вважати, що частота задається напругою. Причому, кожному значенню напруги відповідатиме свій період, тобто повністю виконуватиметься співвідношення (2) при $K_i = 1$. Якщо $K_i > 1$, то період частоти, що синтезується, буде розбитий на більшу кількість ділянок. При $K_i = 16, 32, 64$ період синтезованої частоти буде представлений відповідною кількістю інтервалів. Візьмемо для прикладу $K_i = 32$. Тоді для представлення синусоїдальних коливань потрібно лише вісім осередків пам'яті, в яких зберігаються відповідні значення синуса. Дані осередків пам'яті можуть бути отримані у різний спосіб. Наприклад, якщо уявити синусоїдальну функцію в базисі Волша, то апроксимація ординат синусоїди буде представлена з мінімальною середньоквадратичною похибкою.

При зміні напруги на вході інтегратора за деяким законом, отримаємо генератор коливальної частоти (ГКЧ). Причому, дані осередків (чарунок) пам'яті однакові. Змінюється лише тактова частота, яка управляє цими чарунками, що значно полегшує реалізацію ГКЧ. Код чарунок пам'яті представлений цифровим кодом, а вихідний сигнал ГКЧ – аналоговим, що вимагатиме аналого-цифрового перетворювача (АЦП). За одним з варіантів реалізації інтервали дискретності залишаються постійними а комірки (чарунки) пам'яті підключені до цифрово-аналогового перетворювача (ЦАП) через суматор, що вимагатиме узгодження напруги, задає частоту, з періодом T . При такій реалізації завдання частота задаватиметься ступінчастими функціями, що змінюються наприкінці періоду.

Зазначимо, що крім повної ортогональної системи тригонометричних функцій існують інші повні ортогональні системи (системи Волша, Хаара та інші). Запропонована структура реалізації ГКЧ дозволяє створити паралельні канали та одночасно змінювати (качати) частоту за різними ортогональними функціями. Це може знайти застосування для імпульсних сигналів, що дозволяють визначити економний базис, в якому їх частотний спектр вимагатиме менше коефіцієнтів Фур'є.

Переходимо до аналізу цифрової частини ГКЧ. Як впливає з виразу (4), період будь-якої частоти можна рівномірно

розбити на будь-яке число інтервалів. Зручно, щоб кількість інтервалів, на які розбивається період частоти, яка формується, дорівнював 2^n . Наприклад, при $n=5$ період частоти буде розбитий на 32 інтервали. Це зручні числа, оскільки, по-перше, аналогова структура ГКЧ збігається зі структурою, через яку реалізовані програми швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), а, по-друге, скорочуються апаратні витрати. При аналізі Фур'є по повній ортогональній системі тригонометричних функцій для обробки сигналів потрібно, для синусоїдальної функції на всіх частотах, тільки вісім осередків пам'яті.

Крім того, паралельна структура ГКЧ дозволяє одночасно, при Фур'є-аналізі, використовувати інші системи повних ортогональних функцій, наприклад, систему функцій Волша, Хаара і т. д. Відомо, що функції Волша – це знакові функції, які приймають +1 або -1. Це дозволяє, під час проведення Фур'є-аналізу за функціями Волша, замінити операцію множення операцією додавання. Отже, для визначення коефіцієнтів Фур'є у базисі Волша необхідно, з урахуванням знаку, на періоді скласти вхідні сигнали. Виключити операцію множення можна і під час використання традиційних рядів Фур'є (подання сигналів тригонометричними функціями), якщо цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) перевести у режим множення. Для цього треба замінити канали проходження сигналів у ЦАП: подати аналізований сигнал на вхід, на який надходила опорна напруга.

Відзначимо, що різні форми аналізованих сигналів (сигнали представлені гладкими або розривними функціями) для подання їх рядами з однаковою точністю потребують різну кількість членів. Розривні функції компактніше можуть бути представлені рядами Фур'є – Волша, а гладкі функції доцільно представляти тригонометричними рядами. Очевидно, що є проміжний ряд функцій, компактне представлення яких вимагає додаткових досліджень, і ГКЧ може допомогти у вирішенні цього питання, виконуючи паралельний аналіз різних систем повних ортогональних функцій.

Вкажемо ще одну особливість ГКЧ, що обумовлена тим, що частота задається напругою, темп наростання якої може бути різним на різних ділянках. На одних ділянках частотна розгортка може бути швидкою, але

на інших – повільною і навіть залишатися постійною. Це дозволяє період ГКЧ узгодити з часом появи та закінчення періоду досліджуваного сигналу. У цьому випадку досліджуваний сигнал стає періодичною функцією та його частотні характеристики будуть представлені дискретним спектром (набором ординат). Наприклад, застосуємо ГКЧ для аналізу кардіограм. Якщо період скорочення серцевого м'яза збігається з періодом частоти ГКЧ, то результати частотного аналізу отримаємо дискретний спектр, що характеризує роботу серця. Тоді результати аналізу будуть представлені не графіками, а набором цифр, подібно до аналізу крові.

Розглянемо *друге застосування* даного пристрою – визначення коефіцієнтів Фур'є. Подамо дані чарунок пам'яті, що визначають ординати гармонійних коливань на кожному інтервалі дискретності, на входи АЦП, а еталонну напругу АЦП замінимо вхідним (досліджуваним) сигналом. Тоді АЦП працюватиме у режимі множення: на кожному інтервалі дискретності отримаємо аналоговий сигнал, який визначається добутком амплітуди досліджуваного сигналу відповідні значення ортогональних функцій, у базі яких здійснюється Фур'є-аналіз. Сума всіх добутків на періоді частоти визначає коефіцієнти Фур'є.

Ускладнимо пристрій: введемо паралельно кілька каналів з коефіцієнтами K_i рівними 64, 128, 256 і т. д. Тоді отримаємо ряд коефіцієнтів Фур'є з мінімальним запізненням.

Структура паралельної обробки сигналів збігається із структурою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). На цей збіг слід звернути увагу та проаналізувати їхнє комбіноване застосування з метою підвищення швидкодії.

Висновок:

1. Обґрунтовано структуру генератора коливальної частоти (ГКЧ) та частотного аналізатора, що дозволяє проводити частотний аналіз за будь-якою повною ортогональною системою функцій.

2. Показано, що частотний аналіз можна проводити паралельно на n інтервалах (де n довільне число) і одночасно, якщо доцільно, у різних повних ортогональних системах функцій.



УДК 622.7

ВИБІР СХЕМ ТА ОЦІНКИ ТРАНСФОРМАЦІЇ СВЕРДЛОВИН ЄФРЕМІВСЬКОГО РОДОВИЩА В ГЕОТЕРМАЛЬНІ САЙТИ ЕНЕРГОГЕНЕРАЦІЇ

Михайленко Аліна¹, Фик Михайло д.т.н.²

Студентка¹, доцент² кафедри видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна.

E-mail: lina11alexa@gmail.com

SELECTION OF SCHEMES AND EVALUATION OF TRANSFORMATION OF WELLS OF THE EFREMIVSKE FIELD INTO GEOTHERMAL POWER GENERATION SITES

Alina Mikhailenko¹, Mykhailo Fyk².

Student¹, docent² of the Department of Oil, Gas and Condensate Production, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

E-mail: lina11alexa@gmail.com

ABSTRACT

The paper analyzes the key issues and aspects of the conversion and use of an old high-rate well as a geothermal well for the conditions of the massive deposit of the Yefremivske field of Ukraine, proposes a formula for preliminary assessment of geothermal resources of oil and gas deposits on the specific example of an oil and gas well of this field, the adequate estimated resource potential of the discovered massive productive reservoir is confirmed, it is proved that in the conditions of geological productive deposits of the field, the most profitable is the direct and binary scheme of heat and electricity utilization by local energy consumers

The urgency of the problem. The use of geothermal sources in gas and gas condensate fields can ensure stable and sustainable energy production.

Objective. The aim of this work is to assess the prospects for the extraction of geothermal energy from the productive reservoir of the Yefremivske field, to quantify the heat production of the selected high-rate well in units of natural gas production, and to predict the adaptation of the technological scheme of the process of extracting geothermal energy from the opened massive reservoir.

Methods and equipment. Modern scientific researches in the field of geothermal energy are analyzed, mathematical and geological methods are used to assess the potential of geothermal reserves, data and results of gas condensate field development projects are used.

Results. The conversion of a high-flow well to a geothermal fund can be accomplished by using additional geothermal heat exchangers in the separation system and a closed circulation circuit of produced water. According to the capacity calculations, a potential well can be converted to the geothermal fund and provide relatively high heat output in the direct and binary scheme of the formed power generation site. In particular, it is shown that the closed circulation of geothermal waters through a duplet of high-rate wells that have uncovered a massive

productive gas condensate deposit of the Yefremivske field provides thermal energy productivity of about 15 MW, which is equivalent to the production of 32 thousand m³/day of natural gas of standard caloric content.

Scientific value of the development. Introduction of information about the Yefremivske field and parameters of its massive productive reservoir into scientific circulation. The obtained data contribute to the understanding of transformation processes and improve the technical capabilities of converting gas wells into stable geothermal energy sources.

Practical significance. The use of old gas condensate wells in geothermal energy will help reduce greenhouse gas emissions, as well as ensure the sustainability of energy supply in the region, and provide tens of megawatts of thermal power. This can serve as an example for other regions with large gas and gas condensate fields.

Keywords: geothermal energy, wells re-injection, energy potential, renewable energy sources, geothermal reserves of oil and gas deposits, Yefremivske gas condensate field.

1. АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

З посиленням світового попиту на сталі ресурси та ростом обурення щодо змін клімату, сучасна енергетика переживає трансформаційний період. У цьому контексті, велика увага приділяється розвитку альтернативних джерел енергії, зокрема, геотермальних ресурсів. Геотермальна енергія вважається одним із найбільш стабільних та надійних джерел відновлюваної енергії, оскільки вона доступна цілодобово, незалежно від погодних умов та сезонів. Геотермальна енергетика, заснована на використанні теплових резервуарів у глибинних свердловинах, здобуває все більше уваги як важливий напрямок в сфері відновлюваної енергії. Протягом останніх десятиліть, багато вчених та дослідників зосередили свої зусилля на вивченні оптимальних методів використання геотермальних ресурсів з метою забезпечення сталого та ефективного використання цього відновлюваного джерела енергії. Попередні дослідження в цій галузі включали аналіз різноманітних технічних підходів до конвертації глибинних свердловин, оцінку впливу геотермальних проектів на навколишнє середовище, розробку математичних моделей для прогнозування теплових характеристик резервуарів, а також економічних моделей для оцінки витрат та переваги від використання геотермальних ресурсів. Більшість цих досліджень були спрямовані на розвиток нових технологій та методологій

для забезпечення стабільності та надійності геотермальних систем енергогенерації.

Проаналізуємо унікальний досвід найсучасніших досліджень, які загалом показують перспективність та значний прогрес у переведенні старих нафтогазових свердловин в геотермальні фонди сайтів вироблення тепла та електрики, аналогічно [1] анонсують свої оцінки енергетичних здобутків, показують приклади технологічної схемотехніки геотермальних сайтів на базі нафтогазових покладів.

Дослідження[2] геотермального потенціалу старих нафтогазових свердловин в Україні оцінює можливості використання старих нафтогазових свердловин для геотермальної енергетики в Україні. Автори аналізують температурні режими, глибини, продуктивність та локалізацію свердловин, а також розробляють критерії вибору оптимальних свердловин для геотермальних цілей. Вони також розглядають можливі схеми геотермальних систем, що використовують старі свердловини, та оцінюють їх економічну ефективність. Доведено, що використання геотермальної енергії від нафтогазових покладів є актуальним та перспективним в умовах родовищ України.

Геотермальна енергетика на основі старих нафтогазових свердловин: досвід Канади висвітлено в роботі[3]. Це дослідження презентує досвід Канади у розвитку геотермальної енергетики на основі старих нафтогазових свердловин. Автори розповідають про історичний контекст,

правове регулювання, технологічні аспекти та перспективи геотермальної енергетики в Канаді. Вони також наводять приклади конкретних проєктів, які використовують старі свердловини для генерації тепла та електрики. Доведено, що в умовах середніх широт, які аналогічні українським, попередня оцінка енергетичного потенціалу є надзвичайно важливою та по окремих свердловинах досягає 5 МВт.

Геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин: моделювання та аналіз висвітлено в [4] – це дослідження застосовує чисельне моделювання для аналізу геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин. Автори розробляють математичну модель, яка враховує теплообмін між свердловиною та геологічним середовищем, а також масообмін між робочим агентом та пластовим флюїдом. Вони також проводять аналіз параметрів, які впливають на продуктивність геотермальної системи, таких як температура, тиск, потужність насоса тощо. Доведено, що за сучасних технологічних рішень та технологічної схемотехніки можливо оптимізувати геотермальний потенціал нафтогазових покладів.

Геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин: огляд технологій та викликів розглядається також в [5] – це дослідження подає огляд технологій та викликів, пов'язаних з геотермальною енергетикою з використанням старих нафтогазових свердловин. Автори розглядають різні типи геотермальних систем, що використовують старі свердловини, такі як одно- та двоконтурні, закриті та відкриті, вертикальні та горизонтальні тощо. Вони також аналізують виклики, які стоять перед геотермальною енергетикою, такі як геологічна неоднорідність, хімічна реактивність, забруднення доквілля, економічна конкурентоспроможність тощо. Доведено, що закриті геотермальні системи та особливості нафтогазових покладів на глибинах продуктивних горизонтів можуть адаптуватись до вищезазначених викликів в

частині вирішення ключових проблем економіки та екології.

Геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин: потенціал та перспективи в Туреччині представлено в [6] – це дослідження оцінює потенціал та перспективи геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин в Туреччині. Автори проводять інвентаризацію старих нафтогазових свердловин в Туреччині та аналізують їх геотермальний потенціал за допомогою геотермометричних методів. Вони також розробляють сценарії розвитку геотермальної енергетики в Туреччині з урахуванням технологічних, економічних, соціальних та екологічних факторів. Доведено, що геотермометрія на розглянутих старих свердловинах демонструє своїми результатами можливість використання пластових вод та залишкових вуглеводнів як теплоносіїв геотермальних систем під час переведення таких свердловин в геотермальний фонд.

Геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин: досвід Норвегії детально анонсована по місцевих нафтогазових покладах в [7] – це дослідження презентує досвід Норвегії у розвитку геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин. Автори розповідають про історичний контекст, правове регулювання, технологічні аспекти та перспективи геотермальної енергетики в Норвегії. Вони також наводять приклади конкретних проєктів, які використовують старі свердловини для генерації тепла та електрики. Доведено, що залучені схеми прямої утилізації тепла від нафтогазових покладів та бінарних схем мають перспективу впровадження для більшості реалізованих проєктів.

Геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин: досвід США детально аналізується в [8] – це дослідження презентує досвід США у розвитку геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин. Автори

розповідають про історичний контекст, правове регулювання, технологічні аспекти та перспективи геотермальної енергетики в США. Вони також наводять приклади конкретних проєктів, які використовують старі свердловини для генерації тепла та електрики. Автори підкреслюють та доводять правомірність, перспективність розвитку технологій переведення старих нафтогазових свердловин в геотермальний фонд, а також демонстрацію поступового покращення техніко-економічних характеристик на модернізованих сайтах США.

Геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин: досвід Німеччини аналізується в [9] – це дослідження презентує досвід Німеччини у розвитку геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин. Автори розповідають про історичний контекст, правове регулювання, технологічні аспекти та перспективи геотермальної енергетики в Німеччині. Вони також наводять приклади конкретних проєктів, які використовують старі свердловини для генерації тепла та електрики. Показаний досвід дослідників Німеччини є надзвичайно-корисним в частині оцінки геотермальних ресурсів нафтогазових покладів з урахуванням геологічних особливостей старих нафтогазових родовищ цієї держави. Відомий строгий підхід науковців Німеччини підтверджує не лише економічно-привабливі характеристики переведених геотермальних свердловин, але віддзеркалює тенденцію затребуваних досліджень розгляду та аналізу нафтогазових покладів в цілому.

У роботі [10] викладено досвід Ісландії у розвитку геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин. Автори розповідають про історичний контекст, правове регулювання, технологічні аспекти та перспективи геотермальної енергетики в Ісландії. Вони також наводять приклади конкретних проєктів, які використовують старі свердловини для генерації тепла та електрики. Оцінені геотермальні ресурси нафтогазових покладів в цьому дослідженні підтверджують перспективність та кількісні оцінки як по окремих свердловинах, так і по

нафтогазових покладах виснажених горизонтів, показують збіжність з результатами відповідних оцінок в [1]-[9], надають впевненості в правильному виборі технологічних схем на геотермальних сайтах в [1], [3], [5-8].

Дослідження [11] презентує досвід Китаю у розвитку геотермальної енергетики з використанням старих нафтогазових свердловин. Китай – одна з найбільш стрімких за розвитком східних економік. Автори статті виконали аналіз бінарних схем геотермальних сайтів теплоенергетики на базі окремих свердловин та виснажених нафтогазових покладів, доводять перспективність подальшої перевірки гіпотетичних переваг комбінацій прямих, бінарних та потрійних схем конвертації старих свердловин в геотермальні.

Вищенаведене переконливо свідчить, що геотермальна енергетика з використанням старих нафтогазових свердловин є перспективним напрямком досліджень та розвитку відновлювальних джерел енергії, розроблені та впроваджуються чисельні пілотні проєкти трансформації старих нафтогазових сайтів нафтогазовидобування в геотермальні тепло- та електроенергетичні об'єкти. При цьому активно досліджуються як окремі свердловини старого нафтогазового фонду, так і розроблені поклади із системами розміщених та облаштованих свердловин. Окрім того, робляться спроби знайти оптимальну методологію схемних комбінацій та ресурсних оцінок на обраних старих нафтогазоносних площах із виснаженими покладами. Різні країни мають свій досвід, виклики та можливості у цій галузі, але загалом вони демонструють значний прогрес та позитивні результати.

В умовах України для досліджень нами обрано масивний поклад Єфремівського газоконденсатного родовища (рис.1), який належить до Машівсько-Шебелинського газозносного району Східного нафтогазоносного регіону України. Його локалізація – приосьова зона Дніпровсько-Донецької западини в межах Хрестищенсько-Єфремівського валу. Поклад масивно-

пластовий, екранований соляними штоками та хомогенними відкладами пермі, початкові видобувні запаси категорій А+В+С1: газу — 109970 млн. м³; конденсату — 2595 тис. т. [12]. Масивність покладу, промислові видобувні запаси рідини та пластові температури обумовлюють перспективність переведення свердловин у геотермальний фонд. Отже, важливим кроком досліджень родовища може бути вибір схем трансформації технологічних схем енерговилучення з переведенням свердловин в геотермальний фонд. Окрім того, вигідне розташування масивних підземних солевих

створень [13] послугує вигідному зберіганню значних обсягів розігрітого теплоносія із значними температурами в штучно-створених сховищах на глибинах солевих покладів. Далі розглянемо відповідну проблему в аспекті класифікації, представленої в [14], а саме як комбінований енерготехнічний вузол для виробництва електрики, тепла та отримання цінних продуктів з геотермальних вод. У якості теплового донора такого вузла – масивний поклад Єфремівського газоконденсатного родовища, який розкритого в основний поклад високодебітної свердловиною.

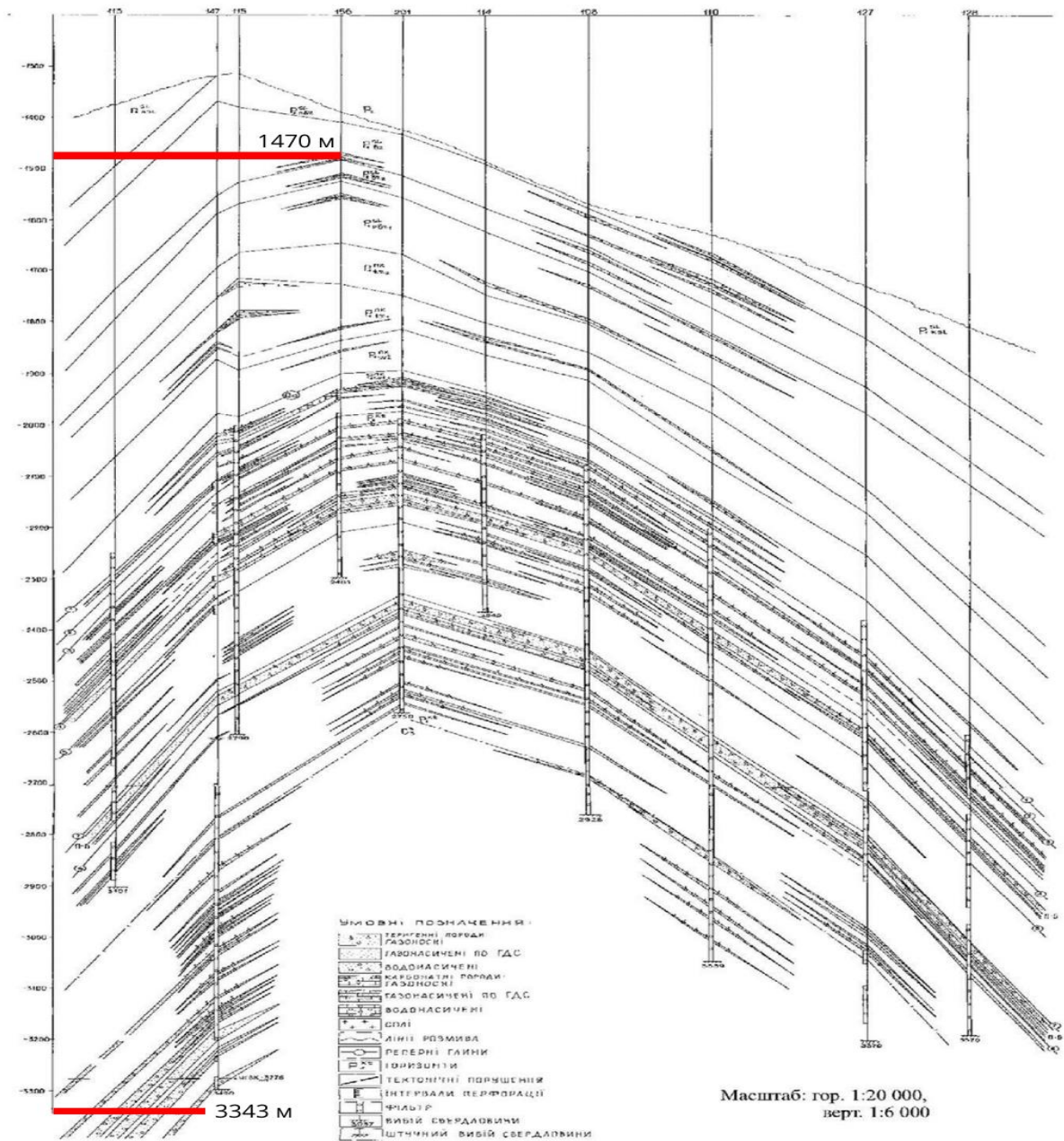


Рисунок 1 – Геолого-фізичний розріз по лінії свердловин 113-147-115-156-201-114-108-110-127-128. Єфремівського ГКР.

На сучасному етапі розвитку глобальної енергетики стоїть нагальне завдання знаходження стабільних та відновлюваних джерел енергії для задоволення зростаючого попиту та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. У цьому контексті геотермальна енергія виступає як перспективне рішення, яке може забезпечити стабільний та екологічно чисте джерело енергії. Проте, використання глибинних свердловин для конвертації їх резервуарів у геотермальні сайти енергогенерації вимагає глибокого та комплексного аналізу.

Загальна проблема полягає в відсутності оптимальних методів вибору схем та недостатньому дослідженні процесів трансформації глибинних свердловин, зокрема, Єфремівського родовища, у функціональні та ефективні геотермальні енергетичні об'єкти. Вибір правильної схеми перетворення свердловин та їх оцінка вимагає урахування багатьох параметрів, таких як геологічна структура, температурний режим, гідродинамічні властивості, а також економічні та енергетичні витрати. Необхідно розробити методології та алгоритми, які дозволять систематизувати ці параметри, враховуючи їх взаємодію та оптимізувати процеси трансформації глибинних свердловин у геотермальні сайти енергогенерації. Вирішення даної проблеми є критично важливим для розвитку геотермальної енергетики як сталого та надійного джерела відновлюваної енергії. Інноваційні методи дослідження та розробки адекватних моделей вибору схем та оцінки трансформації свердловин можуть стати вирішальними для впровадження геотермальних технологій в реальних умовах, забезпечуючи ефективне та стале використання цього природного ресурсу. Безперечно загальну проблему потрібно розбити на складові та етапи, конкретизувати для кожної складової ключову проблему на відповідному етапі роботи.

2. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Єфремівське родовище вирізняється своєю високою температурою та значним потенціалом для конвертації глибинних резервуарів у геотермальні сайти

енергогенерації. Однак, вибір оптимальних схем та оцінка трансформації свердловин в геотермальні сайти є складним завданням, що вимагає інтеграції геологічних, гідродинамічних, енергетичних та економічних аспектів.

В даній роботі пропонується вирішення першого етапу аналізу загальної проблеми в частині оцінки енергетичного потенціалу теплоелектрогенерації при переведенні високодебітної свердловини обраного родовища, яка розкрила основний масивний продуктивний поклад цього родовища в геотермальний фонд, а технологічна схема береться відповідно до попереднього досвіду досліджень щодо утворення закритої схеми циркуляції пластової води, комбінації прямої та бінарної трансформації низькопотенційного тепла в затребувані різновиди енергоресурсів.

3. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою циклу досліджень є аналіз рекомендованих схем та методів оцінки трансформації свердловини Єфремівського родовища в геотермальний сайт енергогенерації, кількісна оцінка теплопродуктивності високодебітної свердловини, розробка науково обґрунтованих та практично застосовних стратегій вибору однієї з рекомендованих попередниками схем трансформації глибинних свердловин.

Метою даної роботи є оцінка перспектив вилучення геотермальної енергії з продуктивного покладу Єфремівського родовища, кількісна оцінка теплопродуктивності обраної високодебітної свердловини в одиницях видобування природного газу, прогноз адаптації технологічної схеми процесу вилучення геотермальної енергії з розкритого покладу.

З аналізу випливають формулювання наступних задач досліджень:

- підтвердження прогресу та перспективності переведення груп старих нафтогазових свердловин або окремих високодебітних свердловин в геотермальний фонд сайтів генерації тепла та електрики;

- оцінка енергетичного потенціалу в еквіваленті природного газу на відповідних промислових сайтах на прикладі Ефремівського родовища;
- розробка попередньої технологічної схеми для розглянутого нафтогазового покладу та високодебітної свердловини.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І РЕЗУЛЬТАТИ

4.1 Деталізовані аспекти, що послуговували вирішенню поставлених завдань

Для вирішення поставлених задач дослідження було проведено диверсифікацію точок зору на проблему загалом, сформовано ряд більш деталізованих аспектів, які в подальшому послуговували скорішому досягненню вагомих результатів. Найважливіші наступні деталізовані аспекти:

- передумови та можливості використання технологій реінжинірингу недіючих свердловин для трансформації в глибинні геотермальні зонди енергогенеруючих об'єктів;
- актуальні проблеми власного енергозабезпечення нафтогазової промисловості, які можуть бути вирішені за допомогою геотермальної енергетики;
- використання досвіду трансформації ліквідованих нафтогазових свердловин різних класифікацій для отримання геотермального тепла;
- переваги і недоліки різних способів реалізації використання старих свердловин для геотермальних потреб;
- оцінення ресурсів ліквідованих нафтогазових свердловин та окремих нафтогазових покладів для отримання геотермального тепла;
- оцінка теплопродуктивності в порівнянні з еквівалентом видобування та спалювання природного газу для теплогенерації.

4.2 Передумови та можливості використання технологій реінжинірингу старих нафтогазових свердловин.

Переведення свердловин на геотермальний фонд має багато переваг, основні з них впливають з огляду досліджень:

- Зниження витрат на буріння нових свердловин, оскільки старі свердловини вже мають необхідну інфраструктуру та обладнання.

- Збереження природних ресурсів, оскільки старі свердловини не потребують додаткового споживання води, палива та інших матеріалів.

- Зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, оскільки старі свердловини не викидають шкідливих речовин у атмосферу та не створюють сейсмічної активності.

- Збільшення енергетичної незалежності та безпеки, оскільки старі свердловини можуть забезпечити місцевим споживачам стабільне та доступне постачання тепла та електрики.

4.3 Актуальні проблеми власного енергозабезпечення нафтогазової промисловості, які можуть бути вирішені за допомогою геотермальної енергетики.

За даними досліджень [1-8], середнє значення цього показника складає близько 2-3 МВт. Це достатньо для забезпечення потреб у теплопостачанні 500-1000 домогосподарств або у виробництві електроенергії для 200-400 домогосподарств. При п'яти-семиточковій реалізованій схемі, з куца свердловин покладу або високодебітною свердловиною може видобуватись 10-21 МВт теплової енергії. Таким чином, переведення старих свердловин в геотермальний фонд є ефективним та вигідним способом використання відновлювальних джерел енергії.

Тому ідея переведення старих свердловин на геотермальні потреби є дуже привабливою для нафтогазової галузі, особливо – з погляду забезпечення своїх виробничих та соціально-побутових енергопотреб. Вона дозволяє зберегти існуючу інфраструктуру, зменшити капітальні витрати, забезпечити додатковий прибуток, покращити екологічну ситуацію, знизити залежність від зовнішніх електромереж. Навіть якщо свердловину не можна використовувати як геотермальний зонд одразу після завершення видобутку вуглеводнів, вартість модернізації або повторного буріння свердловини буде нижчою, ніж вартість буріння нової, спеціально спроектованої геотермальної свердловини.

4.4. Використання досвіду трансформації ліквідованих нафтогазових свердловин різних класифікацій для отримання геотермального тепла

В наш час існує велика кількість старих свердловин, які підлягають ліквідації, тобто величезний енергетичний ресурс залишається невикористаним [1].

Зважаючи на досвід реалізованих пілотних проектів [5-9], аналізу на предмет потенційного використання в геотерміці підлягають:

- пошукові, розвідувальні, опорні, параметричні свердловини, які виявились «сухими» або водяними, не доведені до проектної глибини через геологічну недоцільність;
- видобувні свердловини, які також виявились водяними або «сухими»;
- оцінювальні свердловини, які виконали своє призначення;
- свердловини, що перебувають на обліку серед основних фондів нафтогазодобувних підприємств;
- свердловини, розташовані в населених пунктах, промислових підприємствах;
- свердловини, законсервовані в очікуванні організації промислу;
- інші категорії свердловин згідно «Положення про порядок ліквідації нафтових, газових та інших

свердловин і списання витрат на їх спорудження».

4.5. Переваги і недоліки різних способів реалізації використання старих свердловин для геотермальних потреб

Спеціалісти виділяють кілька способів реалізації використання старих свердловин для отримання геотермального тепла (рис.2). Найбільш сприятливе вирішення передбачає експлуатацію або ін'єкцію (введення в свердловину) геотермальних вод [1-3]. У випадку гідратації покладу вода може експлуатуватись разом з нафтою або газом. Після відокремлення вуглеводнів на поверхні тепло може бути одержане від води, що надходить. Така вода може бути введена у контур пласта, підвищуючи таким чином тиск. Інший спосіб, в який можуть використовуватись свердловини, – для свердловинних теплообмінників.

Всі прогресивні методи переслідують логічну мету збільшення кількості нафтогазових свердловин, які можуть в подальшому працювати як геотермальні. Але завершувати розробку нафтогазових родовищ та видобувати геотермальну енергію можливо одночасно. Тепловий ресурс можливо забирати наверх трьома способами :

- з водою;
- з проміжним теплоносієм;
- із зрідженим CO₂.

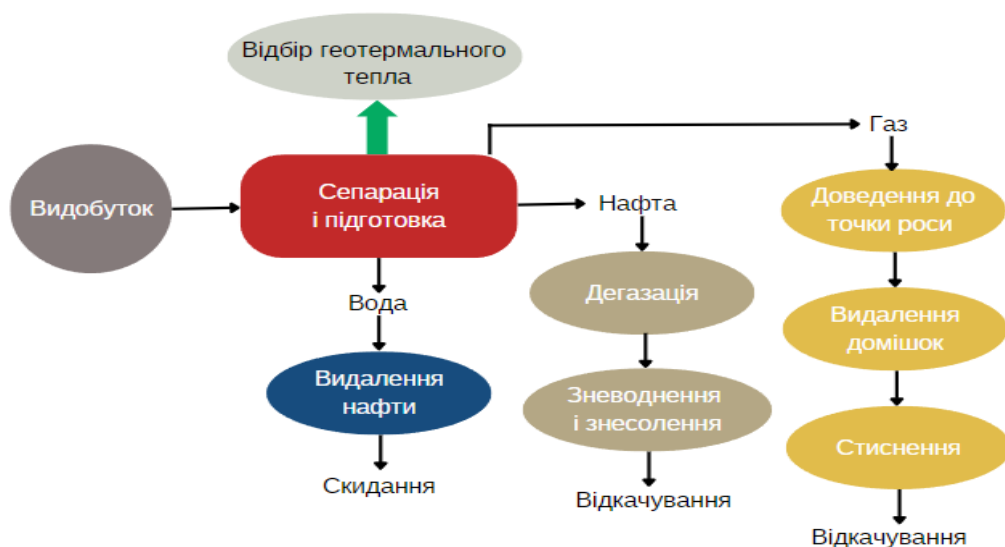


Рисунок 2 - Схема сучасної централізованої системи збору нафти. Теплова енергія в цьому випадку може бути забраною геотермальним теплообмінником, що встановлений в системі сепарації .

4.6 Єфремівське газоконденсатне родовище.

Єфремівське газоконденсатне родовище розташоване в Харківській області України, в

20 км на захід від Шебелинського родовища (рис.3). Відкрито трестом “Харківнафтогазрозвідка” у 1965 році.

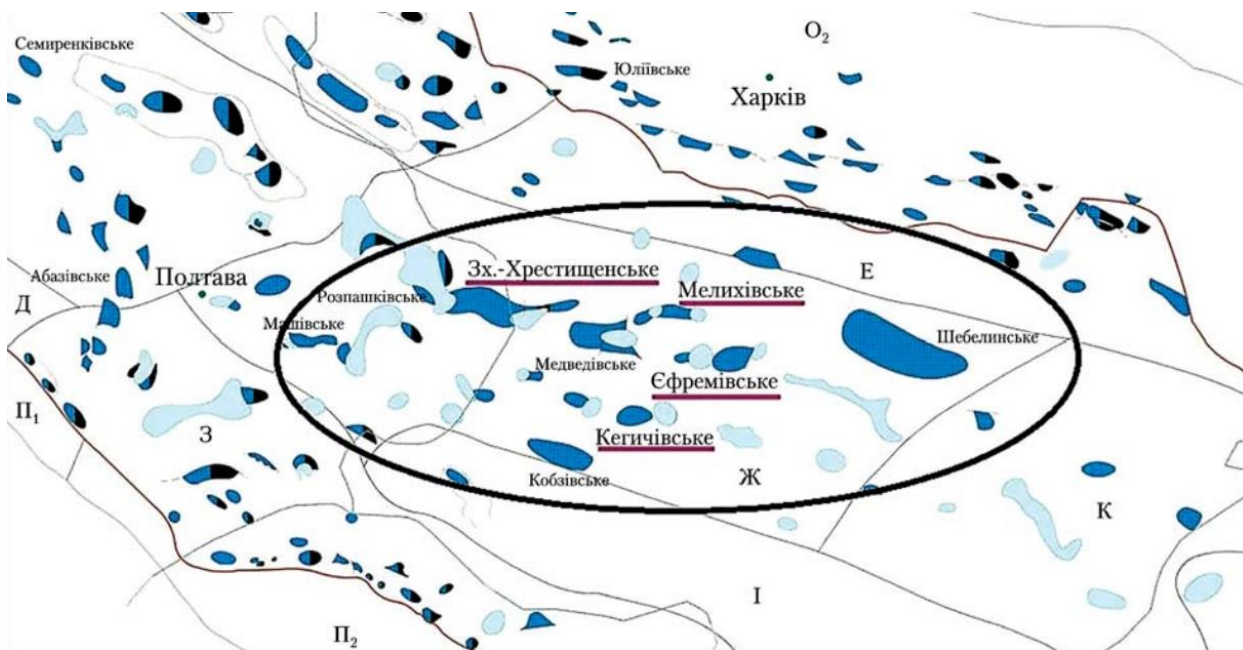


Рисунок 3 – Полтавсько-Харківський сегмент Дніпровсько-Донецької западини – газовий полюс України.

По покрівлі картамиської світи підняття являє собою брахіантикліналь субширотного простягання, східна і західна перикліналі якої ускладнені Єфремівським та Західно-Єфремівським соляними штоками, а присклепінчаста частина порушена скидами переважно субмеридіонального простягання.

Поклад масивно-пластовий, екранований соляними штоками та хомогенними відкладами пермі. Промислова газонасність на родовищі пов'язана з відкладами микитівської світи P_1^{nk} (горизонти середньо- і нижньо-ангідритові НАГ+САГ), картамишської світи P_1^{kt} нижньої пермі (СМП) і араукаристової світи C_3^3 верхнього карбону (АСК).

У серпні 1967 року родовище введено в дослідно-промислову розробку на підставі “Технологічної схеми розробки...” (Укрндігаз, 1967 р.). Газ – метановий (88,6-93,7 %) надходить до газопроводу Шебелинка – Київ. Початкові запаси газу оцінюються в об'ємі 87,666 млрд.м³, в т.ч.

поклад P_1^{nk} – 3,250 млрд.м³, P_1^{kt} – 71.809 млрд.м³, C_3^3 – 12,607 млрд.м³.

На Єфремівському родовищі пробуреними свердловинами розкриті кам'яновугільні, пермські, тріасові, юрські, крейдові, палеогенові, неогенові та четвертинні відклади.

У тектонічному відношенні Єфремівське родовище приурочене до палеозойського підняття південно-східної частини ДДЗ. Структура являє собою брахіантиклінальну складку субширотного простягання, периклінальні частини якої прорвані соляними штоками (рис.4). Характерною особливістю будови родовища є різка невідповідність палеозойського і верхньопермсько-мезозойського структурних планів, інтенсивна порушеність східної перикліналі палеозойської складки розривними порушеннями, які затухають у верхній пермі.

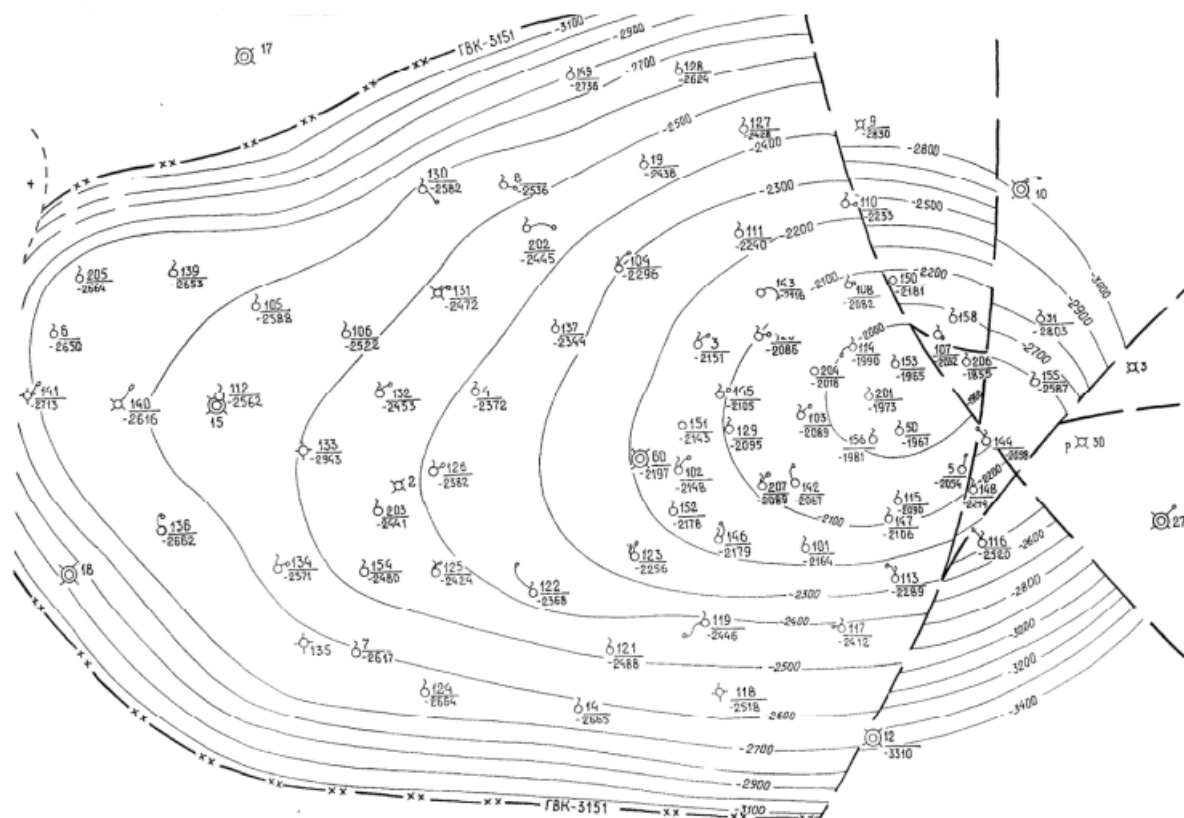


Рисунок 4 – Структурна карта покрівлі горизонту P₁^{kt} (СМФ).

Водонесні горизонти й комплекси в розрізі Єфремівського родовища встановлені у відкладах від четвертинних до кам'яновугільних. У верхній частині розрізу основні водонесні горизонти приурочені до алювіальних четвертинних відкладів, пісків і пісковиків полтавської, харківської та 300 бучацької світ неогену та палеогену, до сеноман-нижньокрейдових відкладів. Підземні води цих горизонтів, з мінералізацією 1 г/л, гідрокарбонатно кальцієвого складу. Пластові води продуктивного комплексу Єфремівського родовища представлені висококонцентрованими та високометаморфізованими розсолами хлоридного кальцієво-натрієвого складу, які в межах даного комплексу мають регіональний розвиток.

Станом на 01.09.2012 р. Єфремівське ГКР нараховувало в експлуатаційному фонді 79 свердловин, у т.ч. діючий фонд – 78 свердловин.

Однією з особливостей розробки газових покладів Єфремівського родовища є

процес утворення соляних пробок у свердловинах, який детермінується інтенсивністю надходження пластової та залишкової води. На Єфремівському родовищі солевідкладення виникає найчастіше у свердловинах, що експлуатують картамишську світу, що пов'язано з більш високою мінералізацією залишкових вод.

4.7 Оцінення ресурсів ліквідованих нафтогазових свердловин та окремих нафтогазових покладів для отримання геотермального тепла. Тепловий ресурс Єфремівського газоконденсатного родовища при експлуатації масивного покладу.

Розглянемо розрахунок за формулою з [1,4,7], за допомогою якої, можемо розрахувати загальний потенціал теплового ресурсу, що вилучається високодебітною свердловиною за наявності нагнітальної свердловини або декількох нагнітальних свердловин утворюючих замкнений та закритий контур циркуляції теплоносія:

$$Q = C_p(t_1 - t_2) \cdot M_g, \text{ де} \quad (1)$$

Q – потужність вилучення геотермальної енергії, Вт;
 C_p – теплоємність, Дж/кг·К;
 t_1 – температура на вибої добувної свердловини, К;

t_2 – температура на гирлі нагнітальної свердловини, куди скидається охолоджений теплоносій, К.

M_g – масова витрата теплоносія, кг/с.
 За нашими оцінками, потужність видобутку геотермальної енергії становить 15 МВт (рис.5).

Температура на гирлі 10°C = 283 К
 Теплоємність = 4200 Дж/кг·К
 Масова витрата теплоносія = 45 кг/с
 Температура на вибої 90°C = 363 К

Потужність вилучення геотермальної енергії

$$Q = 4200 \cdot (363 - 283) \cdot 45 = 15120000 \text{ Вт} = 15 \text{ МВт}$$

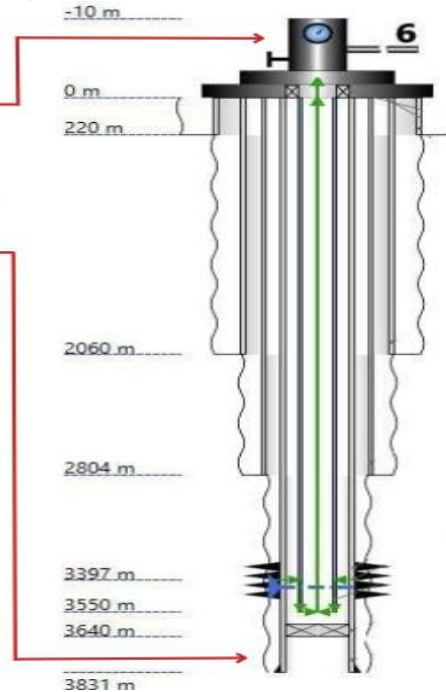


Рисунок 5 - Ілюстрація однієї зі свердловин Єфремівського газоконденсатного родовища, яку ми використовуємо як приклад для розрахунку потужності видобутку геотермальної енергії.

Гаряча вода зі свердловини спочатку потрапляє в парогенератор, де нагріває конденсат первинної пари до температури кипіння (рисунок 6). Коли тиск знижується, частина води перетворюється на пару і

проходить через турбінну секцію. Решта води, яка не перетворилася на пару, повертається до свердловини і може повторно використовуватися для опалення.

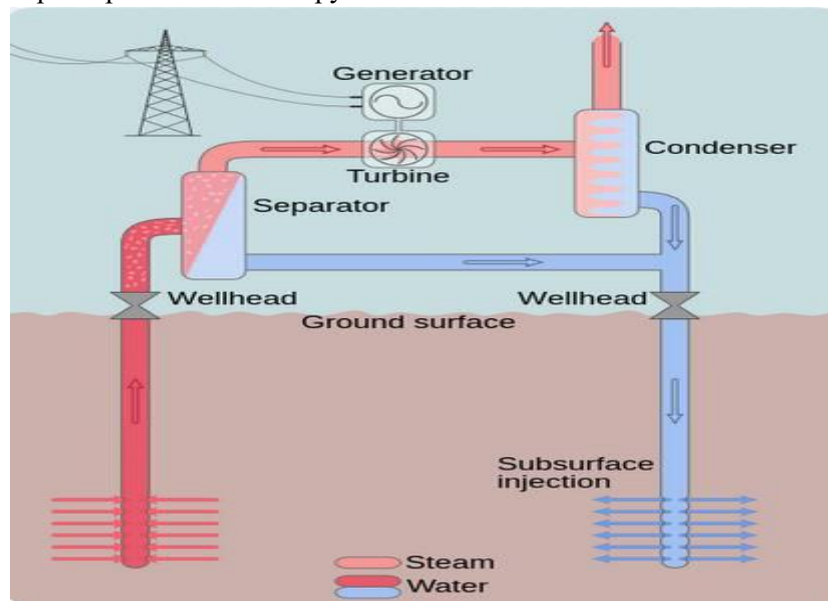


Рисунок 6 - Схема геотермальної електростанції, яка працює на резервуарі гарячої води під тиском.[15]

4.8 Оцінка теплопродуктивності в порівнянні з еквівалентом видобування та спалювання природного газу для теплогенерації

Розрахуємо еквівалент природного газу двома способами :

$$1) \text{ Енергія за добу} = 15 \cdot 10^6 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 1,296 \cdot 10^{12} \text{ Дж/добу};$$

$$\text{Тепловий вміст} = 38 \text{ МДж/м}^3;$$

$$\text{Еквівалент} = \frac{1,296 \cdot 10^{12}}{38 \cdot 10^6 \cdot 0,992} \approx 34 \text{ 380 м}^3/\text{добу}.$$

$$2) \text{ Потужність вилучення} = 15120000 \text{ Вт};$$

$$\text{Еквівалент} = \frac{15120000}{38 \cdot 10^6} = 0,397895 \text{ м}^3/\text{с} \approx 34380 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Одна зі свердловин, переведених у геотермальний фонд, забезпечує еквівалент видобування природного газу за енергетичними одиницями 34 тис. м³/добу.

Розрахунки показали, що впровадження геотермальних систем на основі Єфремівського родовища є ефективним та економічно вигідним рішенням у порівнянні з іншими джерелами енергії. Це не лише сприяє зменшенню викидів парникових газів, але й сприяє забезпеченню сталого енергетичного розвитку регіону. Геологічна структура та гідродинамічні властивості Єфремівського родовища відіграють важливу роль у виборі оптимальних резервуарів для конвертації старих сайтів нафтогазовидобування із виснаженими розкритими покладами в геотермальні джерела.

5. ВИСНОВКИ

5.1 Переведення старих свердловин на геотермальне використання – це актуальна тема для нафтогазової галузі, яка стикається з виснаженням родовищ, старінням покладів, нестабільністю цін на вуглеводні та зростанням попиту на відновлювану енергію, відсутністю адекватної користі від виснажених покладів та проведених до цих покладів свердловин.

5.2 Показана можливість перетворити свердловини та інтегрувати в сайти

геотермальної енергетики, встановивши додаткові геотермальні теплообмінники та циркуляційні контури. За розрахунками потужності, потенційні свердловини можуть вилучати геотермальні ресурси в промислових масштабах. На прикладі Єфремівки, енергетичний еквівалент 15 МВт продукції по природному газу становить 25-30 тисяч м³/добу.

5.3 В умовах геологічних продуктивних покладів розглянутих родовищ України найбільш вигідною є пряма схема тепловикористання місцевими споживачами тепла, включаючи промислові, та використання залишку – бінарними схемами з електрогенераторами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

1. Фик М. І. Теоретичні основи процесів тепломасообміну раціонального вилучення геотермальних флюїдів вуглеводневих свердловин [Електронний ресурс] : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.17.08 / Михайло Ілліч Фик ; [наук. консультант Білецький В. С.] ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т". – Харків, 2021. – 42 с. – Бібліогр.: с. 31-38. – укр.
2. Кузнецов, О., Шевченко, О., Ляшенко, В., & Ляшенко, А. (2019). Дослідження геотермального потенціалу старих нафтогазових свердловин в Україні. Науковий вісник НГУ, (6), 5-14. <https://doi.org/10.29202/nvngu/2019-6/1>
3. Majorowicz, J., & Moore, M. (2018). Geothermal energy from old oil and gas wells: Canadian experience. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81, 2007-2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.007>
4. Li, K., & Horne, R. N. (2019). Geothermal energy from oil and gas wells: Modeling and analysis. Applied Energy, 235, 1634-1645. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.046>
5. Alimonti, C., & Soldo, E. (2019). Geothermal energy from oil and gas wells: An overview of the existing technologies and challenges. Energies, 12(18), 3460. <https://doi.org/10.3390/en12183460>
6. Şimşek, S., Şimşek, N., & Gülen, L. (2020). Geothermal energy from oil and gas wells: Potential and prospects in Turkey.

Renewable Energy, 146, 2474-2488.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.104>

7. Midttømme, K., Ramstad, R., & Olesen, O. (2018). Geothermal energy from old oil and gas wells: The Norwegian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2000-2006.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.258>

8. Tester, J., Anderson, B., Batchelor, A., Blackwell, D., DiPippo, R., Drake, E., ... & Veatch Jr, R. (2006). The future of geothermal energy: impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century: an assessment by an MIT-led interdisciplinary panel (No. MIT-2006-003). Massachusetts Inst of Tech Cambridge.

9. Agemar, T., Alten, J.-A., Ganz, B., Kuder, J., Kühne, K., Schellschmidt, R., & Schulz, R. (2014). The geothermal information system for Germany—GeotIS.ZDGG—German Journal of Geosciences / Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, 165(2), 129–144.

10. Fridleifsson I.B., Bertani R., Huenges E., Lund J.W., Ragnarsson A., Rybach L. (2008) The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In: O.Hohmeyer and T.Trittin (eds.) IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources ,Proceedings ,Luebeck ,Germany ,20–25 January 2008, pp. 59–80.

11. Liang X.-G., Jiang X.-M. (2013) Geothermal resources exploration in China. In: Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19–25 April 2013, pp. 1–7

12. Гірничий енциклопедичний словник : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004. — Т. 3. — 752 с. — ISBN 966-7804-78-X.]

13. Streltsova I. O., Kruhlyk V. M., 2020. Lithology and paleodepositional environment analysis of permian sediments in connection with oil and gas potential in the South-Khrestyshche area in the Dnieper- Donets basin. Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine, Vol. 13. Pp. 89–103. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2020.213813>

14. Геотермальна енергетика: виробництво електричної і теплової енергії / А.А. Долінський, А.А. Халатов // Вісник Національної академії наук України. — 2016. — № 11. — С. 76-86.

15. Геотермальна електростанція. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%8F>

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Е роботі проаналізовано ключову проблематику та аспекти переведення та використання старої високодебітної свердловини у якості геотермальної для умов масивного покладу Єфремівського родовища України, запропоновано формулу попередньої оцінки геотермальних ресурсів нафтогазових покладів на конкретному прикладі нафтогазової свердловини цього родовища, підтверджено адекватний оцінений ресурсний потенціал розкритого масивного продуктивного покладу, доведено – в умовах геологічних продуктивних покладів родовища найвигіднішою є пряма та бінарна схема утилізації тепла та електрики місцевими споживачами енергоресурсів

Актуальність проблеми. Використання геотермальних джерел у газових та газоконденсатних родовищах може забезпечити стабільне та сталє виробництво енергії.

Мета. Метою даної роботи є оцінка перспектив вилучення геотермальної енергії з продуктивного покладу Єфремівського родовища, кількісна оцінка теплопродуктивності обраної високодебітної свердловини в одиницях видобування природного газу, прогноз адаптації технологічної схеми процесу вилучення геотермальної енергії з розкритого масивного покладу.

Методи і апаратура. Проаналізовано сучасні наукові дослідження у галузі геотермальної енергії, залучені математичні та геологічні методи для оцінки потенціалу геотермальних резервів, залучено дані та результати проектів розробки газоконденсатного родовища .

Результати. *Переведення високодебітної свердловини на геотермальний фонд можливо виконати за допомогою залучення додаткових геотермальних теплообмінників в системі сепарації та закритого контуру циркуляції пластової води. Згідно розрахунків потужності потенційна свердловина може бути переведена на геотермальний фонд та надати порівняно-високу теплопродуктивність в прямій та бінарній схемі утвореного сайту енергогенерації. Зокрема, показано що закрити циркуляція геотермальних вод через дуплет високодебітних свердловин, що розкривають масивний продуктивний газоконденсатний поклад Єфремівського родовища, забезпечують теплову енергопродуктивність близько 15 МВт. Це еквівалентно видобуванню 32 тис.м³/добу природного газу стандартної калорійності.*

Наукова цінність розробки. *Введення у науковий обіг інформації про Єфремівське родовище та параметри його масивного продуктивного покладу. Отримані дані сприяють зрозумінню процесів трансформації та покращують технічні можливості конвертації газових свердловин у стабільні геотермальні джерела енергії.*

Практичне значення. *Використання старих газоконденсатних свердловин у геотермальній енергетиці сприятиме зменшенню викидів парникових газів, а також забезпечить сталість постачання енергії в регіоні, надасть десятки мегават теплової потужності. Це може слугувати прикладом для інших областей з великими газовими та газоконденсатними родовищами.*

Ключові слова: *геотермальна енергія, переведення свердловин, енергетичний потенціал, відновлювані джерела енергії, геотермальні резерви нафтогазових покладів, Єфремівське газоконденсатне родовище.*

ABOUT AUTHORS

Михайленко Аліна¹, Фик Михайло д.т.н.²

Студентка¹, доцент² кафедри видобування нафти, газу та конденсату, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна.

E-mail: lina11alexa@gmail.com

НОВІ ВИДАННЯ

Володимир Білецький, професор, доктор технічних наук

Геннадій Гайко, професор, доктор технічних наук

ДО ІСТОРІЇ ВИДАННЯ «DE RE METALLICA» ГЕОРГА АГРІКОЛИ УКРАЇНСЬКОЮ МОВОЮ

У 2006 і 2008 роках польська фундація підтримки науки (пол. Fundacja Popierania Nauki) «Каса Мьяновського» підтримала ідею перекладу *De Re Metallica* авторства вченого епохи Відродження Георга Агріколи [1] українською мовою.

У цей час силами донецького видавництва «Східний видавничий дім» виконувався фундаментальний проект «Гірнична енциклопедія». Автор і керівник цього проекту — доктор технічних наук В. С. Білецький. У рамках проекту вперше узагальнено україномовну термінологічну базу в гірництві. В проєкті брало участь близько 150 провідних науковців в галузі гірництва і наук про Землю, а також точних наук з України. Закордонні учасники проєкту — з Польщі, США та ін.

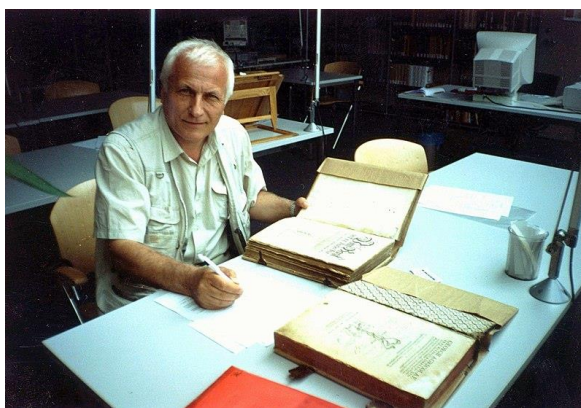
За цим проєктом підготовлено і видано:

- Перший етап. Тлумачний гірничий словник — 1998 р. Донецький національний технічний університет
- Другий етап. Гірничий енциклопедичний словник у трьох томах — 2001, 2002, 2004 рр. видавництво «Східний видавничий дім», Донецьк.
- Третій етап. Мала гірнична енциклопедія, т.1 і т.2 — 2004, 2007 рр. — видавництво «Донбас», Донецьк. т.3. — «Східний видавничий дім». — 2013.

Цикл «Гірнична енциклопедія» включає 6 основних книг на 3832 сторінках формату А4, обсягом 658 друкованих аркушів, які складають два фундаментальних енциклопедичних видання: «Гірничий енциклопедичний словник» (2001—2004 рр.) і «Мала гірнична енциклопедія» (2004—2013 рр.). Крім того, проєкт передбачав підготовку і видання ряду похідних видань (дочірні проєкти) — словники з мінералогії, екології і безпеки праці у гірничій промисловості, монографії з історії гірництва, підготовку серії видань-пам'яток гірничої науки (зокрема Г. Агріколи), словників-довідників та іншої довідкової літератури з нафто- і газовидобування, петрографії, маркшейдерії тощо.

Отже, попри свою масштабність і значимість, переклад «De Re Metallica» ГЕОРГА АГРІКОЛИ українською і випуск її друком – один з дочірних проєктів фундаментальної комплексної роботи «Гірнична енциклопедія» по створенню української національної терміносистеми у гірничій галузі і випуску нового парку підручників та посібників з гірництва для університетів, монографій і словників для розвитку вітчизняної гірничої науки та гірничої справи.

У 2006 і 2008 роках «Каса Мьяновського» на конкурсній основі підтримала заявку проф.. Білецького В.С. на два гранти (2+3 місяці) по науковому стажуванню у Польщі.



Варшавський університет (Польща), робота із твором Георгіуса Агріколи «De Re metallica libri XII». Проф. В.С.Білецький, 2008 р.

Це була можливість ознайомитися і попрацювати з оригіналами *De Re metallica* 1556 і 1557 років у відділі стародруків бібліотеки Варшавського університету. Так розпочався перший етап довгого 15-річного (2008-2023) шляху перекладу наукової пам'ятки Середньовіччя українською мовою. До роботи над порівняльним перекладом (з англійської, польської, німецької, російської – саме такий методичний перекладацький підхід було обрано) ініціатор Проекту «Агрікола – українською» проф. Білецький В.С., на той час проф. Донецького національного технічного університету, запросив свого колегу – проф. Г.І.Гайка з Донбаського державного технічного університету, який теж стажувався в ті роки у Польщі – в Гірничо-металургійній академії ім. Станіслава Сташиця, що у Кракові.

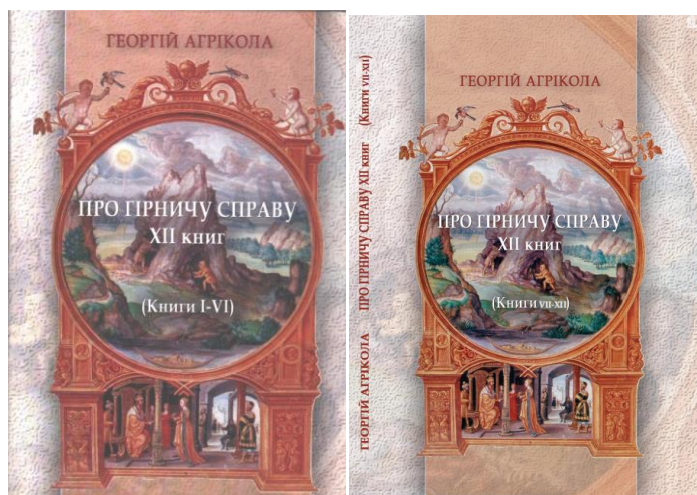
До 2014 року було перекладено і підготовлено до друку перші 6 розділів *De Re Metallica* українською. Та 2014-й рік – це рік початку війни Росії проти України. Спершу Крим, а потім і окремі райони Донбасу були захоплені загарбниками.

У таких умовах, за «акомпанементу» артилерійської канонади у 2014 році в Донецьку вдалося видати половину українського перекладу *De Re Metallica* (розділи 1-6) у видавництві «Східний видавничий дім», Донецьк, переклад і редакція — проф. Білецький В. С. та проф. Гайко Г.І. [2].

Надалі доля українських науковців-перекладачів *De Re Metallica* різко змінюється – Володимир Білецький спершу очолює кафедру «Обладнання нафтових і газових промислів» у Полтавському технічному університеті (2014-2017 рр.), потім переїздить до Харкова, де обіймає посаду професора у Харківському політехнічному університеті. Геннадій Гайко стає професором Київського політехнічного інституту. Ці обставини призупинили, але не припинили роботу над перекладом *De Re Metallica* Георга Агріколи.

У 2022-2023 рр. – вже на завершенні Проекту «Агрікола – українською» його підтримала Вища технічна школа Георга Агріколи (нім. Technische Hochschule Georg Agricola) з м. Бохум, Німеччина.

Заключні шість розділів (книг) 7-12 вийшли друком в українському перекладі у 2023 р. (видавництво Новий Світ-2000, Львів, переклад і редакція — тих же науковців [3].



Унікальна праця Г.Агріколи, по суті – перша європейська енциклопедія гірництва та металургії» складається з 12 книг (розділів):

- Перша — це міркування про роль металів в історії людства, загострене зіткнення позицій противників і прихильників гірництва.
- Друга — характеристика умов, які впливають на успішну розробку родовищ, а також розвідка й пошукові ознаки багатих руд.
- Третя — геологічні знання, опис рудних покладів і властивостей гірських масивів.
- Четверта — землемірні й геодезичні дані, крім того — гірничі посади й звання та відповідні ним обов'язки.
- П'ята — засади підземної розробки руд, кріплення виробок, маркшейдерське мистецтво.
- Шоста — опис знарядь праці, машин і механізмів для руйнування порід, транспорту й підйому руди, водовідливу та вентиляції.
- Сьома — пробірний аналіз руд.
- Восьма — способи й механізми для збагачення руд.

- Дев'ята — способи витоплення металів, металургійні печі та обладнання.
- Десята й одинадцята — очистка благородних металів від домішок та інших металів.
- Дванадцята — алхімічні уявлення про солі, бітуми, скло та інші «затужавілі соки» землі, а також технології їх отримання.

Отже, відомо цілий ряд значимих перекладів історичної пам'ятки «De Re Metallica»:

- латинською мовою — у 1561 (Basel: Froben), 1621 (Basel: Ludwig König), 1637 (Basel: Emannel König),
- німецькою мовою — у 1557 (Basel: Froben), 1621 (Basel: Ludwig König), 1778 (Rotenburg), 1928 (переклад С. Schiffnera) і 1953, 1997 (Düsseldorf, Essen),
- італійською мовою вперше перекладена у 1563 р. (Basel: Froben),
- китайською – у 1640 р. («Кунью гечжі» (Kunyu gezhi, 坤輿格致) – «Дослідження надр Землі»),
- декілька разів — англійською — у 1912, 1927 і 1950 (переклад і редакція [Герберт Кларк Гувер](#) і Lou Henry Hoover),
- чеською — 1933 р. (Praga, переклад: Bohuslav Jezek-старший, Bohuslav Jezek-молодший, Josef Hunmel),
- російською — у 1962 та 1986 рр. (переклад В. Гальмінаса та А. Дробінського за редакцією С. Шухардіна),
- польською — у 2000 р. (Jelenia Gora, переклад — Karina Kurkova),

У 2014 і 2023 р. цей список нарешті доповнився перекладом «De Re Metallica» українською мовою, яка за версією [«Ethnologue»](#) (повна назва: [«Ethnologue: Languages of the World»](#) — [англомовний онлайн довідник з мов світу](#)) оцінюється на 26-27 місці серед мов людства [4].

Йоганн Вольфганг фон Гете так писав про Георга Агриколу [5]: *«Він розгадував таємниці гір, володів гірничим мистецтвом, відкривав важливі корисні копалини, вивчав, обробляв і очищав їх, роблячи корисними для людських потреб. Дотепер ми захоплюємось його творами, де сконцентровані усі старі й нові знання з гірництва та металургії. Ці твори залишені нам як чудовий дарунок».*

Література

1. [Білецький В. С.](#) Агрикола, Георг // Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/%D0%90%D0%B3%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B0,%D0%93%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B3>
2. Агрикола Г. Про гірничу справу: в дванадцяти книгах (книги I—VI) / Перекл. і ред. В. Білецького, Г. Гайка. Донецьк : Східний видавничий дім, 2014. 232 с.
URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/35510>
3. Агрикола Г. Про гірничу справу: в дванадцяти книгах (книги VII—XII) / Перекл. і ред. В. Білецького, Г. Гайка. Львів : Новий Світ-2000, 2023. 343 с.
URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/72887993-0213-464b-af24-75e6da2b3315>
4. [«Ethnologue»](#). URL: <https://photius.com/rankings/languages2.html>
5. Georgius Agricola (1494-1555). Informationsblätter zur Kultur- und Naturgeschichte
URL: <https://www.heimatforschung-regensburg.de/105/1/27-Georg%20Agricola.pdf>

ЗМІСТ

<i>Віталій Орловський, Володимир Білецький, Валентина Подчерніна</i> Історія видобутку та одержання нетрадиційного вуглеводневого газу	1-13
<i>Редька Анатолій, Самойлов Анатолій</i> Досвід використання колонних машин при флотації вугільних шламів на збагачувальній фабриці «Свято-Варваринська»	14-17
<i>Віталій Орловський, Богдан Кузьмичев</i> Моделювання полегшеного тампонажного каменю з домішкою цеолітового борошна	18-23
<i>Леонід Шпильовий</i> Виробництво піротехнічних порошків цирконію на Донецькому хіміко-металургійному заводі	24-32
<i>Ігор Младецький., Костянтин Левченко</i> Синтез технологій збагачення вкраплених руд	33-40
<i>Володимир Білецький, Ганна Онкович, Анастасія Куц</i> Створення спецкурсу «Основи наукових досліджень» на основі медіа-ресурсів	41-44
<i>Микола Сокур</i> Історія розвитку процесу самоподрібнення	45-48
<i>Вілій Сосєдка</i> Частотний аналізатор та генератор коливальної частоти	49-51
<i>Михайленко Аліна, Фик Михайло</i> Вибір схем та оцінки трансформації свердловин Єфремівського родовища в геотермальні сайти енергогенерації	52-65
<i>Володимир Білецький, Геннадій Гайко</i> Нові видання До історії видання «De Re Metallica» Георга Агріколи українською мовою	66-68



Національний технічний університет
«Харківський політехнічний університет»
кафедра «Видобування нафти, газу та конденсату»
61002, Україна, м.Харків,
вул.Пушкінська, 85, корпус У-4
Телефон: (057)707-65-15; (067)717-80-68
E-mail: dngik@ukr.net
Редакція української «Гірничої енциклопедії»
E-mail: ukcdb2021@ukr.net



ГЕОТЕХНОЛОГІЇ

Науково-технічний журнал

Число 6

Комп'ютерна верстка

Кущ Анастасія

Обкладинка

Фик Михайло

Редактор випуску

Білецький Володимир

Рекомендовано до друку Редакцією української «Гірничої енциклопедії»

Протокол № 2 від 20.11.23

Підп.до друку оригінал-макета 22.11.23

Формат 60×84 1/16. Папір офісний.

Друк цифровий.Гарнітура Times. Ум.друк.арк. 12,0.

Обл.вид.арк. 10. Зам 0408-2020. Наклад 50 пр.