



Журнал виходить за підтримки редакції
української «Гірничої енциклопедії»



ГЕОТЕХНОЛОГІЇ

Число 4

ISSN 2616–8839

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

2021

**ЗАСНОВНИЦЬКА
РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

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., с.н.с., УкрНДІгаз, м. Харків;

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., с.н.с., завідувач відділу сейсмометрії і фізичних властивостей речовини Землі, Інститут геофізики ім. С.І.Суботіна НАН України; член-кореспондент НАН України;

Колтун Ю.В., д.г.н., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України;

Наумко І.М., д.г.–м.н, с.н.с., Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, м. Львів; член-кореспондент НАН України;

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

Лаврова І.О., к.т.н., професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»;

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

Засновник та видавець

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

Адреса видавця та редколегії

61002, Україна, м. Харків, вул. Пушкінська, 85, корпус У–4, кафедра «Видобування нафти, газу і конденсату» НТУ «ХПІ».

Наклад 100 примірників. Формат 60x84 1/16. Папір крейдовий і офсетний..

Телефон: (057) 707–65–15; (067) 717–80–68. E–mail: ukcdb@i.ua .

Журнал в інтернеті

http://library.kpi.kharkov.ua/uk/ntu_geotechn



Журнал выходит при поддержке редакции
украинской «Горной энциклопедии»



ГЕОТЕХНОЛОГИИ

Число 4

ISSN 2616–8839

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

2021

**УЧРЕДИТЕЛЬНАЯ
РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:**

Белецкий В.С., д.т.н., профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», действительный член Горной академии Украины и Академии экономических наук Украины, редактор отдела переработки полезных ископаемых, редактор выпуска;

Фык И.М., д.т.н., профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», действительный член Украинской нефтегазовой академии, редактор отдела нефтегазовой инженерии;

Суярко В.Г., д.–м.н., профессор, Харьковский национальный университет им. Каразина, академик Академии наук Высшей школы Украины и Украинской нефтегазовой академии, редактор отдела геологии;

Бондаренко В.И., д.т.н., профессор, Национальный горный университет, действительный член Академии инженерных наук Украины, редактор отдела разработки твердых полезных ископаемых;

Гайко Г.И., д.т.н., профессор, Национальный технический университет «Киевская политехника», член–корреспондент Академии строительства Украины, редактор отдела геостроительства;

Барташук А.В., д.г.н., с.н.с., УкрНИИгаз, г. Харьков.

Высочанский И.В., д.–м.н., профессор, Харьковский национальный университет им. Каразина;

Карпенко А.Н., д.–м.н., профессор, КНУ им. Тараса Шевченко;

Коболев В.П., д.г.н., с.н.с., заведующий отделом сейсмометрии и физических свойств вещества Земли, Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины; член-корреспондент НАН Украины;

Колтун Ю.В., д.г.н., Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины;

Наумко И.М., д.–м.н., с.н.с., Институт геологии и геохимии горючих ископаемых НАН Украины, г. Львов; член-корреспондент НАН Украины;

Витрык В.Г., к.т.н., ООО «НТП» Буровая техника », действительный член Украинской нефтегазовой академии (УНГа)

Лаврова И.А., к.т.н., профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»;

Петр Салуга, доктор хабилитованный «Горно–металлургическая академия им. Сташица», Польша.

Учредитель и издатель

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 61002, г. Харьков, ул. Кирпичева, 2.

Адресс издателя и редколлегии

61002, Украина, г. Харьков, ул. Пушкинская, 85, корпус У–4, кафедра «Добыча нефти, газа и конденсата» НТУ «ХПИ». Тираж 100 экземпляров. Формат 60х84 1/16. Бумага мелованная и офсетная.
Телефон: (057) 707–65–15; (067) 717–80–68. E–mail: ukcdb@i.ua .

Журнал в интернете

http://library.kpi.kharkov.ua/uk/ntu_geotechn



The journal is supported by the Ukrainian
edition «Mining encyclopedia»



GEOTECHNOLOGIES

Volume 4

ISSN 2616–8839

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

2021

EDITORIAL BOARD:

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., D.Sc., Senior Researcher, UkrNIIGaz, city of Kharkiv;

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

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

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

Koltun Yu.V., Ph.D., Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the National Academy of Sciences of Ukraine;

Naumko I.M., D.Sc., Senior Researcher, Lviv; Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the National Academy of Sciences of Ukraine;

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

Lavrova I.O., Ph.D., Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute";

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

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

Founder and publisher

Address of editor and editorial office

61002, Ukraine, Kharkiv, str. Pushkinska, 85, Building U-4, Department of "Production of oil, gas and condensate" NTU "KhPI". Number of copies printed 100 (1st plant – 50). Sheet size 60x84 1/16. Coated paper and offset. Phone (057) 707-65-15; (067) 717-80-68. E-mail: ukcdb@i.ua.

Journal in Internet

http://library.kpi.kharkov.ua/uk/ntu_geotechn



УДК 622.331:504.062

РОЗРОБКА ТОРФОВИХ РОДОВИЩ: ЕКОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ

В.О. Гнєшєв

Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна

e-mail volod-g@ukr.net, тел. +380 96 970 42 37

DEVELOPMENT OF PEAT DEPOSITS: ENVIRONMENTAL ASPECT

V.Hnieushev

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

e-mail volod-g@ukr.net, tel. +380 96 970 42 37

ABSTRACT

Purpose. Show ecological expediency and technological possibility of mining peat deposits that degrade due to drainage.

Methods. Analysis of the ecological state of peat deposits of Ukraine in the context of their ability to perform useful biosphere functions, analysis of existing technologies of peat extraction, hypothetical method of substantiation of ecological technology of peat extraction and restoration of ecologically useful peatlands functions.

Results. The ecological expediency and technological possibility of mining peat deposits that degrade due to drainage and their renaturalization for the purpose of restoration of gas-regulatory function are shown.

Scientific novelty. The analysis of gas-regulatory function of peatlands depending on the degree of their dehydration and in the context of absorption or emission of carbon dioxide is performed.

Practical consequences. It is proposed to carry out an ecological survey of peatlands to perform useful biosphere functions, to determine the list of degraded peatlands emitting CO₂ into the atmosphere, and to mining these peatlands by the proposed method, followed by renaturalization of peatlands aimed at restoring useful biosphere functions.

Key words: peatland, greenhouse effect, peat extraction, carbon accumulation, renaturalization of produced peatland.

ВСТУП

Постановка проблеми та стан її вивчення. Зменшення обсягів видобутку вугілля, а місцями – і повне закриття вугледобувних галузей стало однією з ознак нашого часу, коли кліматичні зміни стали потужним мотиватором для пошуку людством шляхів оздоровлення екології нашої планети.

Відбуваються зміни й у ставленні до видобування торфу – першої ланки вугільного ряду генетичної класифікації каустобіолітів: після визнання у 2006 р. Міжурядовою групою експертів з питань змін клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) торфу не біопаливом, а викопним паливом [1], загальною світовою тенденцією стало скорочення видобутку торфу паливного призначення та обмеження його застосування як основи для виготовлення широкого

спектру непаливної продукції для сільського господарства, квітникарства, грибництва, медицини тощо.

Роль торфовищ і торфу в екології не лише регіонів, а й у планетарному масштабі для широкого загалу маловідома. Між тим, вона значна і багатогранна. Розрізняють, принаймні, вісім біосферних функцій боліт і торфовищ, що впливають на екологічний стан територій: міжкругообігову, гідрологічну, акумулятивну, біологічну, газорегуляторну, геохімічну, ландшафтну, кліматичну [2]. Саме через це заклики до заборони розробки торфових родовищ виглядають безумовно правильними і безальтернативно необхідними. Між тим, торфовий фонд України має специфічні властивості антропогенного походження, які

потребують уваги і розуміння. Жодним чином не применшуючи вагомості кожної із зазначених функцій, розглянемо в цій статті лише ту, що безпосередньо впливає на газовий склад атмосфери – газорегуляторну, і визначимо, яким чином видобування торфу може сприяти тому, що цей вплив буде позитивним.

Мета роботи – показати екологічну доцільність і технологічну можливість відпрацювання торфових родовищ, що деградують внаслідок осушення.

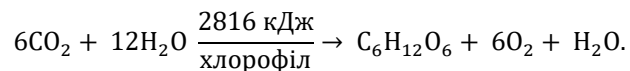
ОСНОВНА ЧАСТИНА

1. Газорегуляторна функція торфових родовищ

Газорегуляторна функція торфово-болотних систем проявляється через їх вплив на склад атмосферного повітря. Принципово важливим для подальшого розуміння антропогенних впливів на роль торфово-болотних систем в біосфері є визначення характеру газорегуляторної функції: чи є вона складовою частиною більш широкої геохімічної функції торфовищ, чи є переважно біохімічним процесом. «Большая Советская Энциклопедия» [3] тлумачить термін «геохімічні процеси» як «процеси зміни хімічного складу гірських порід та мінералів, а також розплавів і розчинів, з яких вони утворилися». Газорегуляторна діяльність торфово-болотних екосистем є наслідком біохімічних реакцій, що відбуваються домінуючою мірою в клітинах живих рослин, а не в земній корі. Це особлива функція, яка традиційно вивчається переважно з позицій біології і біохімії, тобто з позицій сукупності наук про живу природу. Однак інші процеси, що є наслідком діяльності бактерій в глибині покладу, можна вважати біогеохімічними. З цієї точки зору стаття «геохімічні процеси» в українській «Малій гірничій енциклопедії» [4] виглядає більш всеохоплюючою, ніж у БСЭ: біогеохімічні процеси включені у поняття «геохімічні процеси» як повноправна складова їх частина, характерна для біосфери і зумовлена діяльністю організмів. Отже, доцільно вважати газорегуляторні функції торфовищ такими, що входять до складу геохімічних процесів в тій їх частині, яка зумовлена діяльністю живих організмів у біосфері та має назву «біогеохімічні процеси». Цей висновок важливий з методологічної точки зору як такий, що в наступному дозволить відрізнити «живі» торфовища з активними позитивними впливами на склад атмосфери від «неживих», таких, що деградують і роль яких у формуванні газового балансу планети негативна.

Вагомий внесок торфово-болотних комплексів в утворення органічної речовини на Землі та в продукування кисню відомий давно і оцінюється приблизно на такому ж рівні, як внесок лісів [5]. Єдиним процесом у біосфері нашої планети, який призводить до засвоєння енергії Сонця і забезпечує існування всього живого на Землі є фотосинтез – процес синтезу органічних сполук з діоксиду карбону та води з використанням світлової енергії й за участю фотосинтетичних пігментів (у рослин – хлорофілу)

та, здебільшого, з виділенням кисню як побічного продукту. Спрощено процес фотосинтезу описується загальною формулою:



Утворена в процесі фотосинтезу органічна речовина утримується в живих рослинах протягом їх життя, а після відмирання рослин частково мінералізується, постачаючи в атмосферу CO_2 , а частково – гуміфікується, накопичується в ґрунті і також поступово мінералізується з утворенням діоксиду вуглецю. Дещо спрощено можна вважати, що за такою схемою відбувається кругообіг карбону у лісових та лугових екосистемах.

Схема незамкненого кругообігу вуглецю відрізняється від попередньої тим, що частина гуміфікованої органічної речовини виводиться з біогенного кругообігу в геологічний і консервується у вигляді торфу (а в подальшому – у бурому і кам'яному вугіллі, що утворюються) на тисячі й мільйони років.

Біологічні, біогеохімічні процеси накопичення, мінералізації та гуміфікації органічної речовини болотних рослин активно відбуваються у верхньому (0,2÷0,5 м), так званому торфогенному шарі покладу при високому рівні стояння ґрунтових вод. При цьому до 95 % біомаси відмерлих рослин мінералізується і лише близько 5 % накопичується у вигляді гуміфікованого продукту – торфу [6].

Нижче постійного рівня стояння ґрунтових вод пори торфу заповнені водою, аеробні бактерії практично відсутні, біологічні процеси майже не відбуваються. Це зона консервації торфу, де домінують геологічні процеси. В такий спосіб у болотних біогеоценозах з біогенного у геологічний кругообіг щорічно виводиться приблизно 16÷16,5 % вуглецю, що був вилучений з атмосфери в процесі фотосинтезу органічної речовини болотних рослин [10].

Лише торфовища здатні переводити вуглець у складі органічних сполук з біогенного кругообігу в геологічний, тобто ця їх біосферна функція є незамінною. Решта угідь на суші – ліси, луки, степи, сільгоспугіддя (агроценози) – такої функції не мають. Саме через це загальна планетарна кількість вуглецю, законсервованого у вигляді органічних корисних копалин (торфу, вугілля, нафти, сланців, сапропелю) складає $6,4 \cdot 10^{15}$ т, що у 12, 8 тис. разів перевищує сумарну кількість вуглецю в живих рослинах ($5 \cdot 10^{11}$ т) і в 1,28 млн. разів кількість вуглецю в тваринах ($5 \cdot 10^9$ т) [2]. Не дивно, що позитивна роль торфовищ у формуванні атмосфери – вилучення вуглекислого газу з повітря і, при достатності води, тепла і світла, синтез органічної речовини рослин-торфоутворювачів з одночасним продукуванням кисню й води – впродовж тривалого часу вважалася єдиною і незаперечно позитивною (таку точку зору до кінця 90-х років XX ст. висловлював і автор – [7, 8]).

Антропогенний вплив – осушення торфовища –

припиняє дію механізму, що переводить вуглець з малого біологічного у великий геологічний кругообіг і змінює функцію торфово-болотного комплексу на прямо протилежну. В осушених торфовищах починається зворотній процес переходу елементів (карбону зокрема) з геологічного кругообігу в біогенний, а механізмом його реалізації стає окиснення, мінералізація накопиченого раніше торфу. Торфове родовище деградує тим скоріше, чим нижче знаходиться рівень стояння ґрунтових вод і чим відкритіша його поверхня для контакту верхнього шару торфу з повітрям.

Масове осушення боліт Українського Полісся у 60-80-х роках минулого століття мало сумні наслідки

для багатьох торфовищ. Приміром, за дослідженнями автора, з 30 обстежених торфових родовищ сім виявилися такими, що деградує: впродовж 30 – 50 років зольність їх торфу зросла у 1,7 – 3,8 рази. Простежується залежність ступеня зростання зольності від інтервалу часу між визначеннями її значень: навіть при лінійній апроксимації лінії тренду ми спостерігаємо помітне зростання зольності торфів осушених родовищ із часом. Виконаний за допомогою програми Excel розрахунок коефіцієнта кореляції між двома множинами чисел (інтервалів часу і індексу зростання зольності) дав значення 0,827, що свідчить про наявність суттєвого зв'язку між цими показниками.

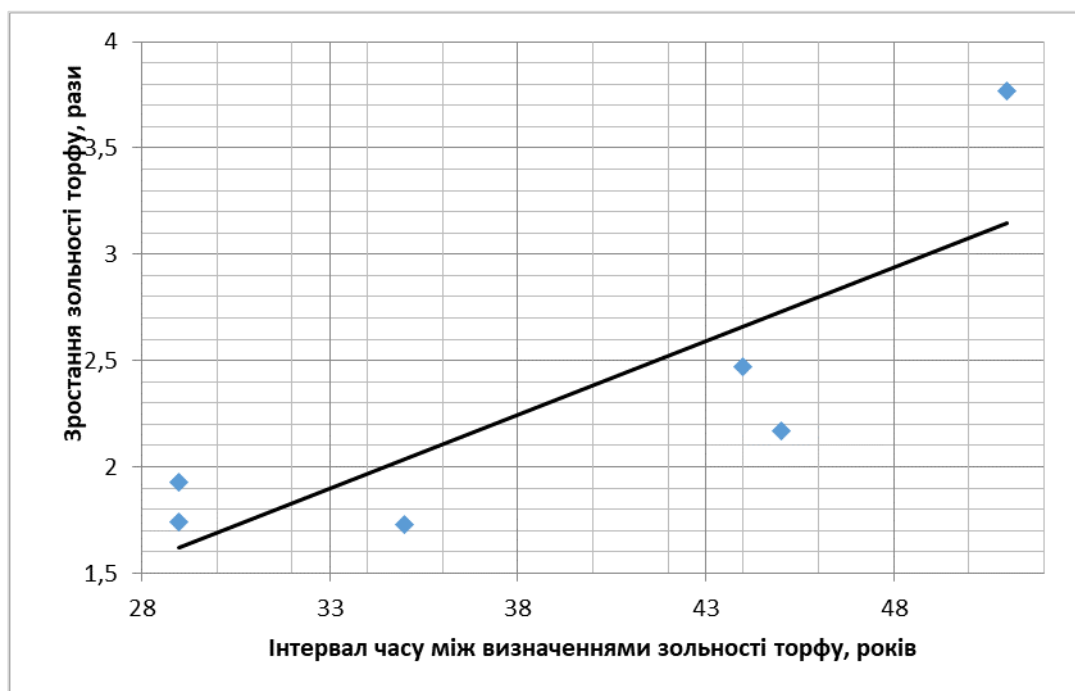


Рисунок 1. Залежність зростання зольності торфу від інтервалу часу між її визначеннями на осушених торфовищах

Отже, через припинення процесів утворення і накопичення торфу, осушені торфовища України не лише не акумулюють карбон, а й емітують в атмосферу «парниковий газ» діоксид вуглецю як продукт розпаду органічної речовини торфу в процесі її окиснення, тобто – чинять негативний (в аспекті кліматичних змін) вплив на атмосферу.

Екологічну шкоду чинить також рекультивация вироблених (або частково вироблених чи деградованих) торфовищ для облаштування на них сільськогосподарських угідь для вирощування просапних культур. За таких умов щорічна втрата органічної речовини торфу може перевищувати 15 т/га, торф мінералізується, а атмосфера отримує додаткові надходження діоксиду вуглецю.

2. Напрямки екологізації технології видобування торфу

Дієвим шляхом до поліпшення ситуації, за якої газорегуляторна функція окремих торфовищ є негативною, може стати промислове відпрацювання осушених торфових покладів родовищ, що деградує. Більшість екологів і громадськості може сприйняти цей шлях як надто радикальний і недостатньо обґрунтований. Ці побоювання мають й технологічне підґрунтя: на жаль, найбільш поширений у світі пошарово-поверхневий (фрезерний) спосіб видобування торфу є й найбільш травматичним для торфовищ та довкілля. Навіть порівняно невеликі об'єми видобутку торфу українськими торфопідприємствами (близько 500 тис. т на рік) потребують підготовки до розробки приблизно 1000 га площ полів видобування: осушення покладу, зняття рослинного покриву,

планування поверхні тощо. На осушених торфовищах, поверхня яких піддається постійним механічним впливам, мають місце окиснення і мінералізація торфу з емісією в атмосферу CO₂. Тобто, об'єктивно корисне відпрацювання деградованих торфовищ традиційним пошарово-поверхневим способом з інтенсивністю зменшення пласта торфу на 0,20-0,35 м на рік стає носієм такого «побічного ефекту», як забруднення атмосфери «парниковим» газом зі значної площі впродовж декількох років.

Автором (у співавторстві) були запропоновані напрямки екологізації технологій видобування торфу [9, 10]. Суть пропозицій полягає у мінімізації площі торфовища, яка виводиться з природного стану для видобування при забезпеченні необхідного об'єму видобутку та з можливістю швидкого переведення відпрацьованої ділянки у стан реабілітації та ренатуралізації шляхом повторного заболочування. При цьому, завдяки зменшенню площі виробничої ділянки, досягається відповідне зменшення емісії діоксиду вуглецю і, завдяки відновленню торфоутворення на виробленій ділянці, також відновлюються акумуляція карбону та, як результат процесу фотосинтезу, поновлюється й емісія кисню в атмосферу. Детально суть запропонованої екологізованої технології (екскаваторно-фрезерний спосіб видобування торфу) викладена в авторській статті у журналі «Уголь Украины» [11].

ВИСНОВКИ

Аналіз наявних досліджень показує, що екологічно корисними в контексті кліматичних змін є лише ті торфовища, на яких відбуваються повноцінні процеси фотосинтезу органічної речовини болотних рослин, торфоутворення і торфонакопичення, пов'язані із акумулюванням карбону в торфі та емісією кисню в атмосферу.

Антропогенні втручання у функціонування торфово-болотних комплексів, їх осушення, промислове чи сільськогосподарське використання призводять до втрати корисних і виникнення негативних біосферних функцій: емісії діоксиду вуглецю як продукту мінералізації органічної речовини торфу в процесі окиснення поверхневого шару осушеного покладу, зростанню небезпеки виникнення торфових пожеж із масштабним забрудненням атмосфери продуктами згорання тощо.

Торфовий фонд України потребує ретельного обстеження на предмет визначення екологічного стану торфовищ, ідентифікації тих з них, які деградують і об'єктивно шкодять довкіллю. Такі родовища доцільно відпрацювати екскаваторно-фрезерним чи іншим екологізованим способом та забезпечити відновлення сприятливого

гідрологічного режиму для розвитку болотної рослинності, утворення та накопичення торфу.

Рекультивация деградованих та вироблених торфових родовищ повинна розглядатися як комплекс заходів, спрямованих на повернення площі торфового родовища до культурного і сприятливого для раціонального природокористування стану.

Бездіяльне спостереження за деградацією торфового фонду матиме своїми наслідками погіршення кліматичної ситуації і поступову втрату торфовищ через мінералізацію торфу.

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. International Mire Conservation Group. Newsletter issue 2007/2 [Електронний ресурс] – 2007. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.imcg.net/media/newsletter/nl0702.pdf>.
2. Бамбалов Н.Н., Ракович В.А. Роль болот в биосфере. Минск: Бел. наука, 2005. – 285 с.
3. Геохимические процессы. Геохимия. Геохимия ландшафта // БСЭ. – Т.6. – М., 1971. – С. 330 – 337.
4. Мала гірнича енциклопедія, т. 1 / За редакцією В.С.Білецького. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с.
5. Лиштван И.И. Торфяные ресурсы и их использование // Природные ресурсы. – 1996. - № 1. – С. 62 – 73.
6. Бамбалов Н.Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Под. Ред. Тишковича А.В. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 175 с.
7. Гнеушев В.О. Торфові родовища: космічний і земний аспекти // Вісник Української державної академії водного господарства. Зб. наук. праць. Рівне: – 1998. – Вип. 1, част. 1 – С. 15-17.
8. Гнеушев В.А. Роль и потенциал торфяных ресурсов Украины // Уголь Украины. – 1998. - №1, с.22-24.
9. Гнеушев В.А. Экологические аспекты развития технологий и оборудования для добычи и переработки торфа / В.А. Гнеушев // Уголь Украины. – 2014. – № 1. – С.45–48.
10. Пат. 89307 Україна, МПК, E21C 49/00. Екскаваторно-фрезерний спосіб видобування торфу [Текст] / Гнеушев В.О., Стадник О.С. (Україна); заявник і патентовласник Нац. ун-т водного госп-ва та природокористування; № u2013 14551 заявл. 12.12. 2013; опубл. 10.04. 2014, Бюл. № 7. – 2 с.
11. Гнеушев В.О., Стадник О.С. Екологізація технологій видобування торфу / В.О. Гнеушев, О.С. Стадник // Уголь Украины. – 2014. – № 11. – С.44-46.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета. Показати екологічну доцільність і технологічну можливість відпрацювання торфових родовищ, що деградують внаслідок осушення.

Методи. Аналіз екологічного стану торфових родовищ України в контексті можливості виконання ними корисних біосферних функцій, аналіз наявних технологій видобування торфу, гіпотетичний метод обґрунтування екологізованої технології видобування торфу та відновлення екологічно корисних функцій торфовищ.

Результати. Показана екологічна доцільність і технологічна можливість відпрацювання деградованих торфових родовищ та ренатуралізація з метою відновлення газорегуляторної функції.

Наукова новизна. Виконано аналіз газорегуляторної функції торфовищ залежно від ступеня їх осушеності і в контексті поглинання чи емісії діоксиду вуглецю.

Практична значимість. Запропоновано здійснити екологічне обстеження торфових родовищ на предмет виконання ними корисних біосферних функцій, визначити перелік деградованих торфовищ, що емітують в атмосферу CO₂, і відпрацювати ці торфовища запропонованим методом з наступною рекультивацією, спрямованою на відновлення корисних біосферних функцій.

Ключові слова: торфове родовище, парниковий ефект, видобування торфу, акумуляція карбону, рекультивація виробленого торфового родовища.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель. Показать экологическую целесообразность и технологическую возможность отработки торфяных месторождений, деградирующих вследствие осушения.

Методы. Анализ экологического состояния торфяных месторождений Украины в контексте возможности выполнения ими полезных биосферных функций, анализ имеющихся технологий добычи торфа, гипотетический метод обоснования экологизированных технологий добычи торфа и восстановления экологически полезных функций торфяников.

Результаты. Показана экологическая целесообразность и технологическая возможность отработки деградированных торфяных месторождений и их ренатурализации с целью восстановления газорегуляторной функции.

Научная новизна. Выполнен анализ газорегуляторной функции торфяников в зависимости от степени их осушенности и в контексте поглощения или эмиссии диоксида углерода.

Практическая значимость. Предложено осуществить экологическое обследование торфяных месторождений на предмет выполнения ими полезных биосферных функций, определить перечень деградированных торфяников, эмитирующих в атмосферу CO₂, и выработать эти торфяники предложенным методом с последующей рекультивацией, направленной на восстановление полезных биосферных функций.

Ключевые слова: торфяное месторождение, парниковый эффект, добыча торфа, аккумуляция карбона, рекультивация выработанного торфяного месторождения.

ABOUT AUTHORS

Volodymyr Hniewushev, National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine, e-mail volod-g@ukr.net, tel. +380 96 970 42 37



УДК 550.8

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДОБУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ФЛЮЇДІВ

В.Романова¹, В.Білецький²

¹ аспірант, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

² докт. техн. наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

електронна адреса ukcdb@i.ua, тел. +380 (067) 717-80-68.

MODELING OF PROCESSES OF EXTRACTION OF HYDROCARBON FLUIDS

V.Romanova¹, V. Biletskyi²

¹ Postgraduate student, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

² National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

e-mail ukcdb@i.ua, tel. +380(067) 717–80–68.

ABSTRACT

The relevance of the problem. The article is devoted to the modern software modeling of hydrocarbon fluid production processes. A series of PETEX IPM programs is described which is a leading software package in oil and gas tucked. Petex IPM allows you to simulate the entire technological chain of production processes from the productive formation to surface arrangement systems.

The purpose of the article. Introduction to the scientific circulation of the main characteristics of the PETEX IPM software product.

Methods and equipment. Literary review, attracting Internet resources, a description of the components of the PETEX IPM subroutines ..

Results. The general characteristic of Petex IPM is presented. The capabilities of the GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL and PVTP subprograms are described.

Scientific value of development. Functions and fields of application of the PETEX IPM resource subroutines are described, which makes it possible to use them in the study of production of hydrocarbon fluids.

Practical importance. Using Petex IPM, an engineer, on existing geological and industrial data, can create integrated deposit models, perform preliminary adaptation of reservoir models, wells and pipelines. Petex IPM allows you to optimize the entire system and use the model for predicting production. The article may be useful to researchers from producing hydrocarbon fluids and lecturers, students and graduate students with a degree in 185 "oil and gas engineering and technology".

Keywords: *hydrocarbon fluid mining, modeling, software, Petex IPM.*

ВСТУП

Станом на 2020-ті роки лідируючим пакетом програмного забезпечення в нафтогазовій галузі, який дозволяє моделювати весь технологічний ланцюг процесів видобутку від продуктивного пласта до систем поверхневого облаштування, є серія програм *Petex IPM* (Petroleum Experts Integrated Production Modelling – Інтегроване Моделювання Розробки від Petroleum Experts) [1, 2]. Назва «Petex» від назви компанії-розробника Petroleum Experts.

Серія програм *Petex IPM* поєднує програми *GAP*, *PROSPER*, *MBAL*, *REVEAL* і *PVTP* і постійно доповнюється та вдосконалюється.

Використовуючи *Petex IPM* інженер, за наявними геолого-промисловими даними, може створювати комплексні моделі родовищ, виконувати попередню адаптацію моделей пласта, свердловин і системи трубопроводів. *Petex IPM* дозволяє оптимізувати всю систему і використовувати модель для прогнозу видобутку.

Ресурс RESOLVE розширює інтеграцію, контроль і оптимізацію для родовищ які включають моделі пласта-колектора і системи промислової підготовки, виконані в програмних пакетах сторонніх розробників.

Програми, що входять до складу IPM дозволяють отримати швидкі надійні результати і прийняті в якості галузевого стандарту найбільшими операторами по всьому світу. Понад 320 нафто- і газодобувних, а також сервісних компаній, використовують IPM у усьому світі.

Використання OpenServer дозволяє безпосередньо підключати додатки IPM до технологічних процесів компанії, що дозволяє більш ефективно організувати схему роботи.

Petex IPM забезпечує:

- Швидку і надійну оптимізацію та прогноз видобутку вуглеводневих флюїдів
- Моделювання одно- або багатокотекторних покладів з гідродинамічної зв'язкою
- Моделювання багатовибірних і горизонтальних свердловин з урахуванням втрат тиску в горизонтальній секції стовбура, а також з урахуванням взаємовпливу перфорованих інтервалів свердловини
- Проектування і діагностика свердловин з механізованим видобутком, включаючи свердловини з електро-відцентровими, гідропоршневими, гвинтовими, струминними і штанговими насосами, а також свердловини з постійним і періодичним газліфтом.
- Детальне проектування і розрахунок технічних показників роботи трубопроводів: режим течії, розміри і частота водяних або газових пробок, аналіз стійкості течії.
- Моделювання систем поверхневого

облаштування: мережі трубопроводів, насосних і компресорних станцій, багатотрубних і замкнутих нафтозбиральних систем.

- Моделювання свердловин, оснащених пристроями управління припливом (ICD, ICV)

- Кореляції розроблені Petroleum Experts визнані кращими в своєму класі і дозволяють отримати стійкі рішення для найбільш складних випадків експлуатації нафтогазовидобувних підприємств.

RESOLVE.

IPM – Контролер IPM. Сполучна ланка між IPM і програмами сторонніх розробників

RESOLVE дає можливість з'єднувати і здійснювати централізований контроль декількох додатків, аналізувати і оцінювати вплив на прогноз видобутку всіх заходів на родовищі, від свердловин до систем переробки і економіки проекту. Дозволяє оптимізувати всю систему – системи видобутку і нагнітання – одночасно з вивченням маршрутизації.

Кожна програма працює автономно, в той час як RESOLVE відповідає за синхронізацію, передачу даних, черговість завдань, представлення результатів, збір даних і глобальну оптимізацію (рис. 1).

Моделі можуть бути розподілені по мережі і використовувати різні операційні системи, Windows, Linux, Unix або кластерні системи.

Розрахунок індивідуальних компонентів (моделей) системи може проводитися на віддалених комп'ютерах. Це створює додаткову зручність при використанні чисельних симуляторів, які можуть вести розрахунок паралельно на декількох комп'ютерах або на 64-х розрядних системах.

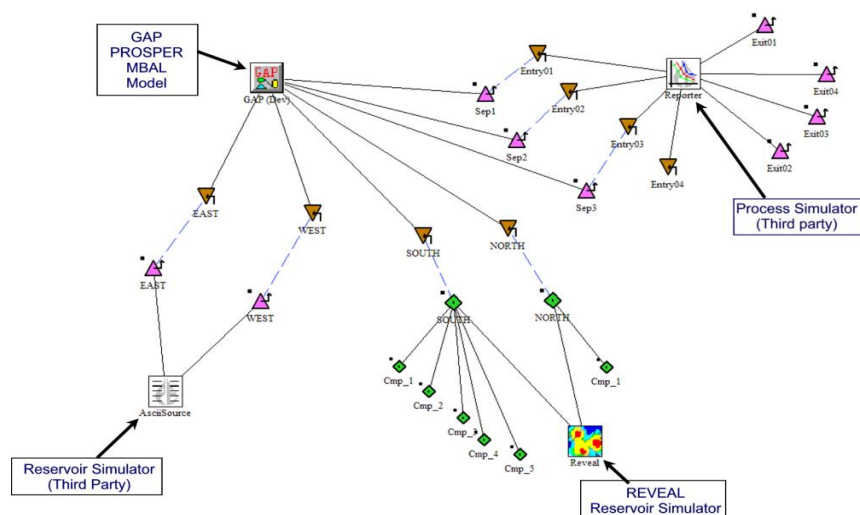


Рисунок 1. – Фрагмент поєднань RESOLVE

RESOLVE може використовуватися як інтерфейс для з'єднання додатків різних розробників або програм пакета IPM. Взаємодія з клієнтськими додатками будується на основі драйверів, які представляють собою бібліотеки (.dll), запрограмовані для з'єднання з RESOLVE.

GAP IPM – багатофазний оптимізатор системи видобутку.

Оптимізація системи видобутку та прогноз.

GAP – програма, призначена для оптимізації нафто- і газозбиральних мереж, яка дозволяє

об'єднати PROSPER і MBAL для створення повної моделі родовища від пласта до системи видобутку. GAP дозволяє моделювати системи видобутку для нафтових, газових і газоконденсатних родовищ, а також системи нагнітання газу і води.

GAP дає можливість інженеру створювати моделі родовищ, що включають продуктивні пласти, свердловини і наземні трубопроводи, а також системи нагнітання рідини в пласт. Добувна та нагнітальна системи можуть бути оптимізовані з метою максимального збільшення припливу або економічної вигоди з урахуванням накладених проектних обмежень. Крім того, існує можливість прогнозу видобутку з урахуванням зміни параметрів покладу і умов експлуатації.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Проектування мережі поверхневих трубопроводів
- Можливість включити моделі фонтануючих свердловин і свердловин з механізованим видобутком – газліфтом, відцентровими, кавітаційними, гідравлічними, струминними і штанговими насосами в єдину систему
- Вивчення оптимізації родовищ зі змішаним типом свердловин
- Оптимізація замкнутих нафтозбиральних систем
- Швидкий і надійний нелінійний алгоритм оптимізації
- Розрахунок параметрів гирлових штуцерів свердловин для забезпечення плану контролю за розробкою родовища
- GAP забезпечує зв'язок між PROSPER і MBAL що дозволяє моделювати і оптимізувати всю систему видобутку протягом життя родовища
- Вивчення стійкості течії, включаючи гідратоутворення і випадання солей
- Моделювання відцентрових і поршневих компресорних і насосних станцій
- Моделювання СПГ
- Прогноз видобутку
- Використання програмованих елементів
- Використання компонентної моделі флюїду від пласта колектора до систем промислової підготовки
- Моделювання CO₂
- Легкий у використанні графічний інтерфейс для створення моделі родовища (визначення символічних піктограм для сепараторів, компресорів, трубопроводів, маніфольдів і свердловин, лінійних штуцерів і покладів)

GAP був розроблений для усунення штучних граничних умов у пластових, свердловинних і поверхневих мережних моделях шляхом створення інтегрованих моделей з використанням інструментів Petex. Він здатний розглянути багатозначну мережову реакцію кількох свердловин (з різними PVT), де реакція однієї свердловини могла б вплинути на видобуток іншої (тобто реакція протитиску). Сьогодні GAP – це найскладніший стаціонарний багатозначний оптимізатор мережі, який існує в галузі, з багатьма

запатентованими функціями, які дозволяють інженерам максимізувати видобуток з нафтових і газових родовищ у всьому світі. GAP став інструментом вибору для понад 420 нафтових компаній у більш ніж 80 країнах світу та корпоративним стандартом для всіх суперсервісів у галузі інтегрованого моделювання.

GAP враховує всю фізику, яка присутня в системі, і працює, отримуючи інформацію з усіх частин системи, виконуючи динамічні розрахунки на фізичних моделях (для трубопроводів, дроселів, свердловин, компресорів тощо), або використовуючи попередньо –розраховані відповіді (наприклад, криві підйому).

PROSPER.

IPM – свердловини. Системний аналіз видобутку.

PROSPER – програма для розрахунку, проектування і оптимізації свердловин, яка є частиною пакета IPM. Програма є галузевим стандартом для моделювання свердловин серед найбільших компаній по всьому світу (рис. 2).

PROSPER включає опис властивостей пластової рідини (PVT), розрахунок робочих характеристик НКТ та індикаторних діаграм.

PROSPER дає унікальні можливості з калібрування властивостей пластового флюїду, багатозначних кореляцій та індикаторних діаграм за наявними промисловими даними, що дозволяє отримати узгоджену модель свердловини, яка може бути використана для прогнозу видобутку.

PROSPER дозволяє проводити детальний розрахунок і проектування трубопроводів: режими течії, індикатор гідратоутворення, вивчення стабільності, розрахунок розмірів і частоти пробок.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Проектування та оптимізація завершення свердловини включно багатобінійні, багатопластові і горизонтальні свердловини
- Проектування та оптимізація тюбінгу і трубопроводів
- Проектування, діагностика та оптимізація газліфтих свердловин, свердловин обладнаних гідравлічними, кавітаційними, струминними і відцентровими насосами
- Вивчення безперебійності припливу – свердловини і поверхневі трубопроводи
- Розрахунок робочих характеристик НКТ для використання в програмах чисельного моделювання покладів
- Розрахунок падіння тиску в свердловинах, трубопроводах і штуцерах
- Розрахунок температури флюїду (свердловини і трубопроводи)
- Контроль роботи свердловин для виявлення свердловин, що потребують ремонту
- Розрахунок параметрів перфорації – SPOT
- Розрахунок сумарного скін-фактора та індивідуальних значень (скін в зв'язку з погіршенням фільтраційних властивостей, скін викликаний нахилом свердловини, неповним

розкриттям пласта)

- Унікальна модель "нелеткої" нафти для газоконденсату, що враховує випадання

конденсату в стовбурі свердловини

- Розподіл видобутку між свердловинами.

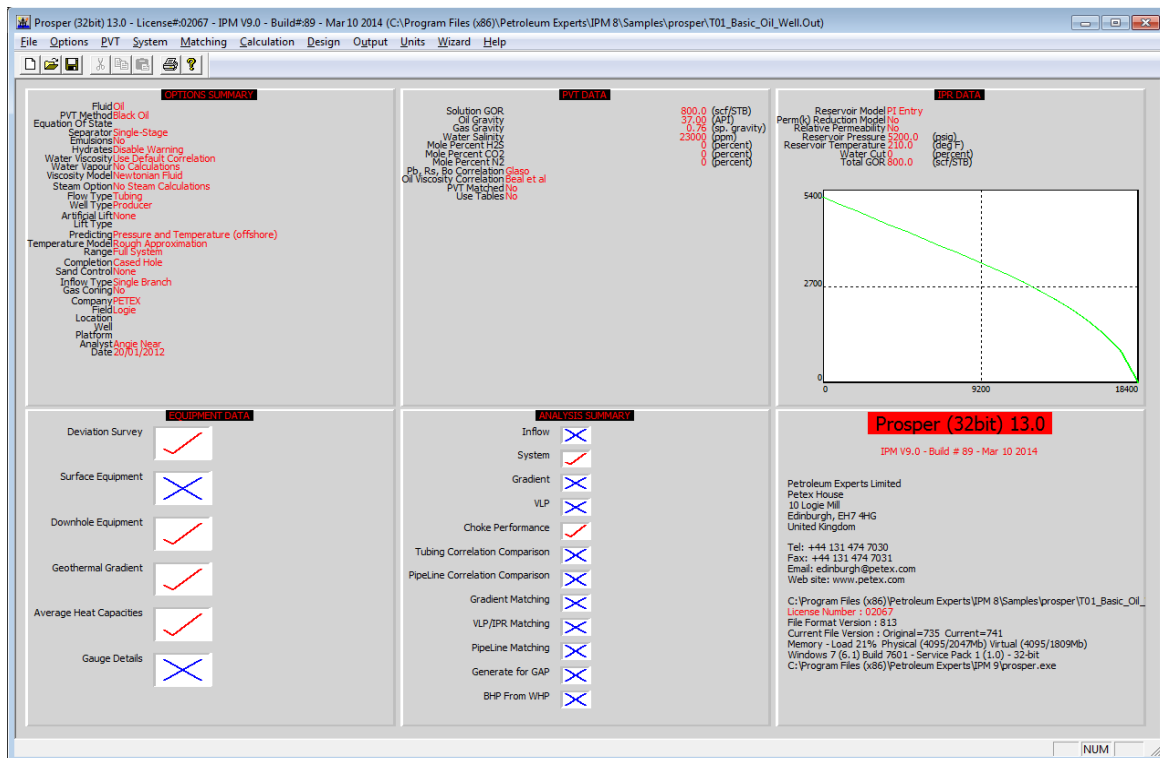


Рисунок 2. – Вікно програми PROSPER.

МОДЕЛІ ІНДИКАТОРНИХ ДІАГРАМ (IPR)

- Багатовибірної свердловини
- Прості свердловини з єдиним стовбуром
- Кілька спеціальних моделей припливу для різних типів флюїду
- Модуль для розрахунку швидкості течії рідини крізь гравійний фільтр
- Врахування зниження проникності при ущільненні колектора
- Врахування турбулентної багатофазної течії крізь гравійний фільтр

MBAL.

IPM - Пласт-колектор. Програмний пакет аналізу динаміки пласта.

Програма MBAL містить класичні інженерні інструменти розробки родовищ, які використовують аналітичні методи для аналізу динаміки флюїду в пласті.

MBAL використовує методи матеріального балансу, включає велику кількість інновацій компанії Petroleum Experts, які недоступні в інших програмах подібного роду.

Ефективна розробка родовища передбачає знання фізики пласта і системи видобутку. MBAL допомагає інженеру визначити механізм видобутку і обсяг запасів нафти і газу. Це необхідні умови для успішного моделювання родовища.

Для родовищ, що знаходяться на стадії розробки, MBAL надає широкий набір методів

адаптації моделі за геолого-промисловими даними.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Адаптація моделі покладу за наявними промисловими даними для визначення запасів вуглеводнів і механізму витіснення
- Побудова багатоколекторних моделей родовища
- Прогноз динаміки видобутку
- Аналіз сценаріїв розробки родовища
- Визначення щоденної контрактної кількості газу
- Моделювання динаміки експлуатації газоконденсатних
- родовищ в режимі виснаження і рециркуляції
- Аналіз кривої падіння видобутку
- Моделювання методом Монте-Карло
- Моделювання процесу лінійного заводнення
- Моделювання видобутку газу в щільних породах
- Видобуток метану з вугільних пластів
- Калібрування відносної проникності за наявними даними
- видобутку
- Контроль змішування компонент
- Контроль рециркуляції газу
- Використання композиційної моделі

флюїду

BAL володіє логічним і покроковим інтерфейсом, який поступово направляє інженера від процесу адаптації моделі до прогнозу видобутку. Програма проста у використанні і легка в навчанні. MBAL дає можливість інженеру калібрувати PVT кореляції для отримання відповідності з промисловими даними. Це дозволяє уникнути помилок в розрахунках між різними етапами моделювання.

REVEAL.

IPM – Симулятор. Спеціалізований чисельний симулятор пласта.

REVEAL – спеціалізована система чисельного моделювання пласта-колектора, що моделює процеси у привибійній зоні свердловини, включаючи зміни рухливості і приймальності. Точно моделюються температурні і хімічні процеси, ефекти, які можуть виникнути при нагнітанні флюїду відмінного за властивостями і температури від пластового.

Закачування хімічних речовин або флюїдів з температурою відмінною від пластової суттєво впливає на рухливість пластового флюїду і, отже, на приймальність і обсяги видобутку. Приймальність також буде залежати від перфорації, включаючи можливість гідророзриву пласта.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Термальне чисельне моделювання пласта-колектора
- Термальний розрив пласта
- Запомповування пари – гравітаційне дренавання із застосуванням пари (SAGD)
- В'язка нафта
- Хімічний розрахунок
- Хімічний склад води
- Окиснення нафти в пласті
- Полімерне заводнення
- Заводнення з використанням ПАР
- Геомеханічне моделювання
- Гідророзрив пласта
- Винесення піску
- Утворення глинистого фільтра
- Моделювання складних свердловин
- Пристрої контролю припливу (ICD, ICV)
- Гравійна набивка
- Нагнітання пари і розрахунок зміни паровмісту
- Подвійні паралельні НКТ

Модель закачування пари може бути використана для моделювання циклічної обробки свердловини парою при гравітаційному дренаванні (рис. 3).

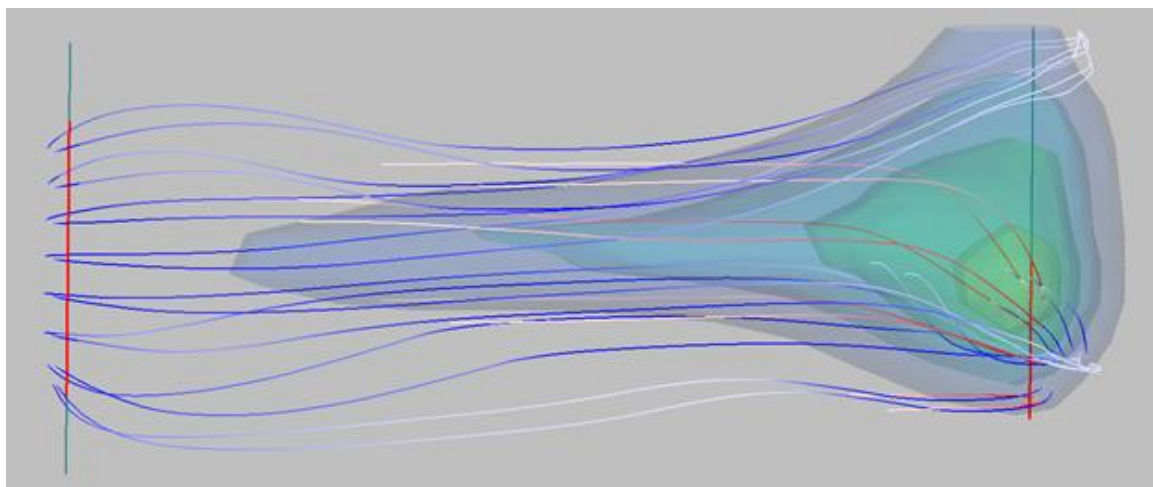


Рисунок 3.– Модель витіснення нафти парою з лініями течії води і пари.

КОНТРОЛЬ РУХЛИВОСТІ

Зміна температури і в'язкості флюїду з температурою також позначається на приймальності свердловини і відносних фазових проникностях нафти і води. Ці зміни враховуються REVEAL при моделюванні.

REVEAL також враховується зміна рухливості гелів, полімерів, піни, що нагнітаються в пласт для поліпшення заводнення або уникнення прориву води.

REVEAL дозволяє моделювати аномально в'язкі (неньютонівські) нафти, де динамічна в'язкість зменшується при збільшенні напруження зсуву.

Капілярне витіснення, пов'язане зі зміною поверхневого натягу, може бути враховано REVEAL як функція числа капілярності при додаванні ПАР, а також при зміні поверхневого натягу з температурою, тиском або газовим фактором.

REVEAL може врахувати гістерезис кривих фазової проникності при циклічному заводненні.

Для REVEAL доступні моделі дисперсії і дифузії для відстеження трасуючих компонентів. Програма також включає опції підігріву стовбура свердловини для моделювання зменшення в'язкості навколосвердловинного флюїду. Зокрема, програма моделює мікрохвильові і електронагрівачі.

PVTP

ІРМ – Флюїди. Термодинаміка пластового флюїду.

Знання властивостей флюїду є основною вимогою для всіх аспектів розробки родовища, видобування і переробки вуглеводнів.

PVTP дозволяє уточнювати рівняння фазового стану (РС) для отримання відповідності з лабораторними даними. Відкалібровані РС може бути використано для моделювання процесів у покладі, а також процесів видобутку, які впливають на вибір обладнання й ефективність вилучення вуглеводнів (рис. 4).

Результати досліджень пластових флюїдів об'єднуються в єдиний проект, що дозволяє користувачеві створювати повну картину пласта.

Логічна структура PVTP допомагає інженеру в процесі характеристики флюїду, який включає калібрування РС для отримання відповідності з лабораторними даними як в пластових умовах так і в умовах промислової підготовки.

PVTP може бути використаний для розрахунку таблиць властивостей флюїду, флюїду з меншим числом компонентів або параметрів калібрування (T_c , P_c і коефіцієнтів бінарної взаємодії) для використання при моделюванні пласта-колектора або вузловому аналізі.

PVTP був вдосконалений для врахування

твердого осаду, гідратів і асфальтенів, а також розрахунку тиску гідратуутворення, пригнічення гідратів, температури початку кристалізації парафінів і температури випадання парафінів.

При розробці інтегрованої моделі родовища від пласта-колектора до систем промислової підготовки, дуже важливо мати узгоджену модель флюїду.

ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ

- Характеризація флюїдів
- Рекombінація проб флюїду взятих з сепаратора
- Визначення положення газонафтового контакту
- Оптимізація стадій сепарації
- Прогноз фазового стану
- Дослідження здатності нафти розчиняти газ при тиску вище тиску насичення
- Моделювання твердої фази (гідратів і парафінів)
- Моделювання процесу витіснення нафти на моделі у вигляді тонкої трубки, заповненої піском
- Структурний підхід до процесу очищення проби від домішок, полегшує проблему аналізу проб забруднених домішками

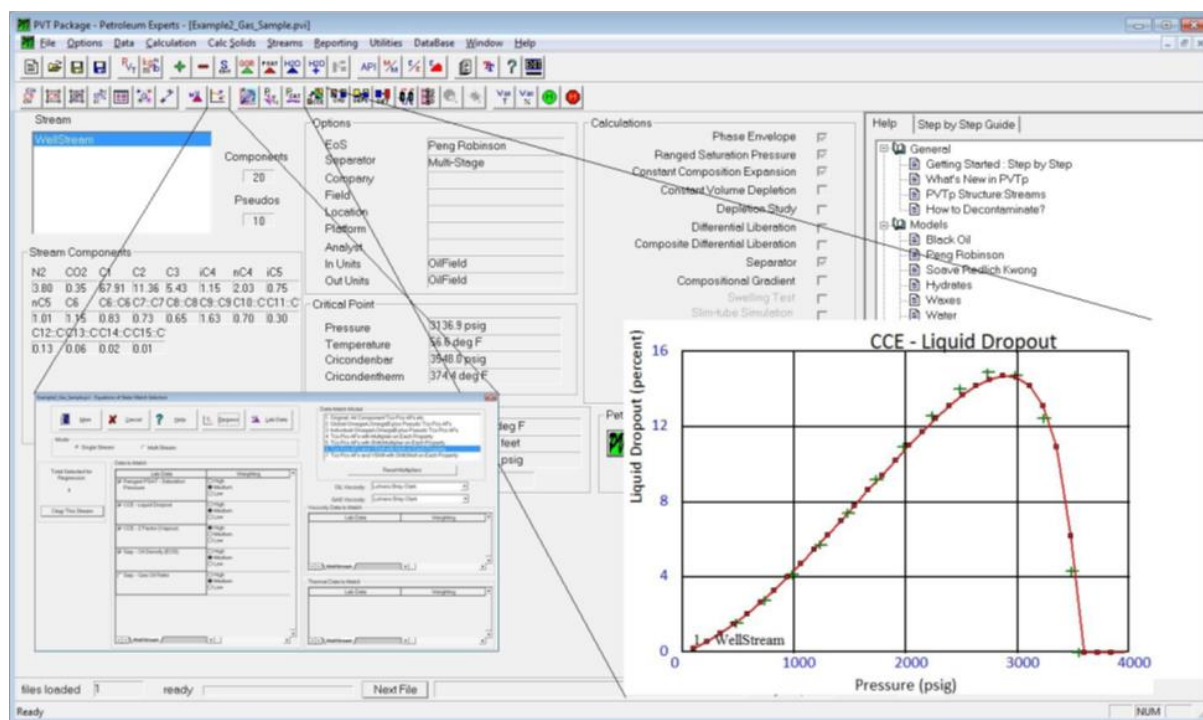


Рисунок 4. – Вікно програми PVTP

- Рекombінація і перевірка коректності даних PVT
- Моделювання лабораторних тестів
- Підбір відповідності з пластовими властивостями і результатами диференціального розгазування одночасно

- Калібрування рівнянь стану (РС) для прямого використання в програмі моделювання свердловин PROSPER
- Розрахунок даних калібрування моделі "нелеткої" нафти для газоконденсату, яка використовується в програмі матеріального балансу MBAL

- Створення стислої і розгорнутої композиційних моделей флюїду
- (Lumping / Delumping) з можливістю переходу від однієї моделі до іншої. Подібна подвійна модель флюїду далі може використовуватися в інтегрованій моделі від пласта (стисла композиція) до переробки (розгорнута композиція).

OpenServer

Послання (суміщення) з програмами сторонніх розробників

OpenServer дозволяє використовувати відкриту архітектуру серед всіх додатків Petroleum Experts. Це дає можливість безпосереднього доступу і контролю програм за допомогою сторонніх додатків.

Додатки доступні для OpenServer включають:

- Електронні таблиці, що використовують сценарії і макроси для розрахунків на основі результатів IPM
- Економічні програми
- Бази даних
- Системи контролю розробки родовища
- Внутрішні і приватні додатки компаній

Зокрема, OpenServer дозволяє використовувати інші програми (такі як Excel або програми написані на VisualBasic) для доступу до відкритих функцій програм Petroleum Experts. Стороння програма в автоматичному режимі може використовувати програми Petroleum Experts для розрахунків.

OpenServer може бути використаний для запуску програми Petroleum Experts спільно з іншими додатками і обміну даних між ними.

ВИСНОВКИ

Таким чином, використовуючи Petex IPM інженер, за наявними геолого-промисловими даними, може створювати комплексні моделі родовищ, виконувати попередню адаптацію моделей пласта, свердловин і системи трубопроводів. Petex IPM дозволяє оптимізувати всю систему і використовувати модель для прогнозу видобутку.

Стаття може бути корисна як дослідникам процесів видобування вуглеводневих флюїдів, так і лекторам, студентам та аспірантам зі спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології".

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Нові підходи щодо застосування програмного забезпечення для підготовки фахівців спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології» / Є. Коровяка, В. Білецький, В. Расцветаев, Т. Калюжна, В. Яворська // Матеріали Форуму гірників-2021. Дніпро. 04 – 05 листопада 2021 р.
2. Petroleum Experts (Petex) develop the Integrated Production Modelling software (IPM). URL: <https://www.petex.com/products/ipm-suite/>
3. PETROLEUM ENGINEERING AND STRUCTURAL GEOLOGY SOFTWARE. <https://www.petroleumexperts.com/>
4. INTEGRATED PRODUCTION MODELLING. <http://itps.com/uploads/files/Petex%20IPM%20Brochure%20RUS.pdf> (2021, вересень, 04).
5. Білецький, В.С. (2021). *Моделювання у нафтогазовій інженерії*. Львів: «Новий Світ – 2000», Харків: НТУ «ХПІ» — 306 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Актуальність проблеми. Стаття присвячена сучасному програмному забезпеченню моделювання процесів видобування вуглеводневих флюїдів. Описано серію програм Petex IPM що є лідируючим пакетом програмного забезпечення в нафтогазовій галузі, який дозволяє моделювати весь технологічний ланцюг процесів видобутку від продуктивного пласта до систем поверхневого облаштування.

Мета статті. Введення у науковий обіг основних характеристик програмного продукту Petex IPM.

Методи і апаратура. Літературний огляд, залучення інтернет-ресурсів, опис складових підпрограм Petex IPM.

Результати. Подана загальна характеристика Petex IPM. Описані можливості підпрограм GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL і PVTP.

Наукова цінність розробки. Описані функції і області застосування підпрограм ресурсу Petex IPM, що уможливує їх використання при дослідженні процесів видобування вуглеводневих флюїдів.

Практичне значення. Використовуючи Petex IPM інженер, за наявними геолого-промисловими даними, може створювати комплексні моделі родовищ, виконувати попередню адаптацію моделей пласта, свердловин і системи трубопроводів. Petex IPM дозволяє оптимізувати всю систему і використовувати модель для прогнозу видобутку. Стаття може бути корисна як дослідникам процесів видобування вуглеводневих флюїдів, так і лекторам, студентам та аспірантам зі спеціальності 185 "Нафтогазова інженерія та технології".

Ключові слова: видобування вуглеводневих флюїдів, моделювання, програмне забезпечення, Petex IPM

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Актуальность проблемы. Статья посвящена современному программному обеспечению моделирования процессов добычи углеводородных флюидов. Описана серия программ Petex IPM которая является лидирующим пакетом программного обеспечения в нефтегазовой отрасли. Petex IPM позволяет моделировать всю технологическую цепочку процессов добычи от продуктивного пласта к системам поверхностного обустройства.

Цель статьи. Введение в научный оборот основных характеристик программного продукта Petex IPM.

Методы и аппаратура. Литературный обзор, привлечение интернет-ресурсов, описание составляющих подпрограмм Petex IPM ..

Результаты. Представлена общая характеристика Petex IPM. Описаны возможности подпрограмм GAP, PROSPER, MBAL, REVEAL и PVTP.

Научная ценность разработки. Описаны функции и области применения подпрограмм ресурса Petex IPM, что делает возможным их использование при исследовании процессов добычи углеводородных флюидов.

Практическое значение. Используя Petex IPM инженер, по имеющимся геолого-промышленным данным, может создавать комплексные модели месторождений, выполнять предварительную адаптацию моделей пласта, скважин и системы трубопроводов. Petex IPM позволяет оптимизировать всю систему и использовать модель для прогноза добычи. Статья может быть полезна как исследователям процессов добычи углеводородных флюидов, так и лекторам, студентам и аспирантам по специальности 185 "Нефтегазовая инженерия и технологии".

Ключевые слова: добыча углеводородных флюидов, моделирование, программное обеспечение, Petex IPM.

ABOUT AUTORS

В.Романова, аспірант, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна

В.Білецький, докт. техн. наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна, електронна адреса ukcdb@i.ua, тел. +380 (067) 717-80-68.



УДК 621.7.043

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДРОБИЛЬНО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ ФАБРИК

М. І. Сокур¹, В. С. Білецький²

¹Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

RESEARCH OF ENERGY CONSUMPTION OF COMMINUTION-PREPARATION PLANTS

M. Sokur¹, V. Biletsky²

¹Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University 20, e-mail: tanyahaikova@ukr.net

²National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine, e-mail ukcdb@i.ua,

ABSTRACT

Purpose. Measures to save electricity through the introduction of new technology are not only effective, but also solve the problem of increasing the quality characteristics of concentrates. Therefore, the aim of the article is to conduct a comparative analysis of electricity consumption by different mills and units of mining industries and to outline measures for implementation in production to regulate and reduce electricity costs.

Methodology. The choice, substantiation and test of the new drive of the MMS 70x23 mill on the basis of the low-speed (125 min^{-1}) synchronous motor which excludes application of a reducer is made. The obtained experimental data showed that the new drive allows to reduce the power consumption, at the design stage of filling the mill, by 80 kW, compared with similar mills equipped with gear drives.

Results. The power consumed by the drive mills depends mainly on the degree of filling of the drum, the relative speed, the efficiency of the drive. Constructed graphically: the dependence of power consumption on the type of drive and the degree of filling of the mill drum; the dependence of power consumption on the speed of the drum of the mill at different degrees of filling it with ore; the dependence of the specific electricity consumption of the mill on the productivity of specific consumption; the dependence of the specific consumption of electricity for grinding in the mill with different drive options on the performance of the concentrate. Therefore, the use of elastic couplings, automatic lubrication systems of open gears, quality control of gearing during PPR can increase the efficiency of the drive by at least 0.5%. The use of automatic speed control of the K-2 conveyor at the crushing plant not only improves the starting conditions, creates a uniform load distribution between the engines in the new drive, but also reduces the specific cost of electricity for ore transportation by 15% or approximately 0.1 kWh / t.

Practical value. At the same time, the introduction of measures for pre-magnetic beneficiation of highly magnetic ores, ore sorting, averaging, introduction of radiometric methods of beneficiation, beneficiation, testing of ores in the face, multi-connected control of crushing, crushing and their intensification allows superbuilt. not only reduce the energy consumption of the process by 16-20%, but also significantly increase their productivity without reducing the quality of concentrates. A special place in power management systems is occupied by ASK TP concentrators, which increase productivity by 5-8%, reduce losses of total iron in the tailings by 2-3% and stabilize the content of total iron in the concentrate.

Key words: mining and processing plant, energy consumption standards, electricity consumption, drive type, productivity.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На гірничу промисловість припадає понад 25% споживаної вітчизняною промисловістю енергії. Тому питання економії енергоресурсів при збагаченні залізних руд мають важливе державне значення [1, 2].

На всіх гірничорудних підприємствах Криворізького басейну постійно проводиться робота з економії енергоресурсів, здійснюються заходи щодо раціонального використання електроенергії, газу, води [3, 4].

Проводяться теоретичні і експериментальні дослідження по раціональному енергоспоживанню, керуванню процесами збагачення, подрібнювання і класифікації [5, 6].

При будівництві нових підприємств і реконструкції існуючих на основі техніко-економічних розрахунків повинні впроваджуватися інноваційні технології з електропостачання [7-10].

Тому, розробка і дослідження раціональних схем енергоспоживання підприємств, є актуальною науково-технічною проблемою.

На передових ГЗК країни – Південному (ПівдГЗК) і Новокриворізькому гірничо-збагачувальних комбінатах (НКГЗК) та інших це досягається комплексною організацією роботи по розробці прогресивних норм витрат електроенергії і організацією постійного контролю за витратами електроенергії [11]. Тому, доцільне зниження заявленої потужності підприємств і вирівнювання графіків навантаження енергосистем. При цьому досягається значно краще використання генеруючих потужностей, знижуються витрати на виробництво і транспорт електроенергії, заощаджуються первинні енергоресурси [12, 13].

Подальші дослідження енергоспоживання привели до необхідності організації поцехового і

поагрегатного обліку і контролю енергоспоживання, що дозволяє отримувати інформацію про витрати електроенергії, споживаної потужності в усіх технологічних ланках і вчасно виконувати регулювальні заходи [14].

Як впливає з аналізу енергоспоживання на гірничозбагачувальних комбінатах, економії електроенергії можна досягти сукупною оптимізацією всіх виробничих процесів, так як вони є взаємозалежними.

При цьому в багатьох випадках оптимальним енергетичним режимом відповідає максимальна продуктивність збагачувального устаткування з мінімальними питомими витратами електроенергії.

Наприклад, впровадження квадратних футеровок [15] кульових млинів дозволяє знизити витрати електроенергії на 10-15%, не знижуючи продуктивності агрегату [16]. Отже, заходи щодо економії електроенергії за рахунок впровадження нової технології не тільки ефективні, але й вирішують задачі збільшення якісних характеристик концентратів.

Мета роботи – провести порівняльний аналіз споживання електроенергії різними за конструкцією млинами та агрегатами гірничих виробництв і сформулювати заходи по регулюванню і зменшенню витрат електроенергії для впровадження у виробництво.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Потужність, яка споживається приводами млинів залежить від ступеня заповнення барабана, відносної частоти обертання і ККД приводу. Питома витрата електроенергії залежить також від продуктивності млина (рис. 1, рис. 2, рис. 3) [17, 18].

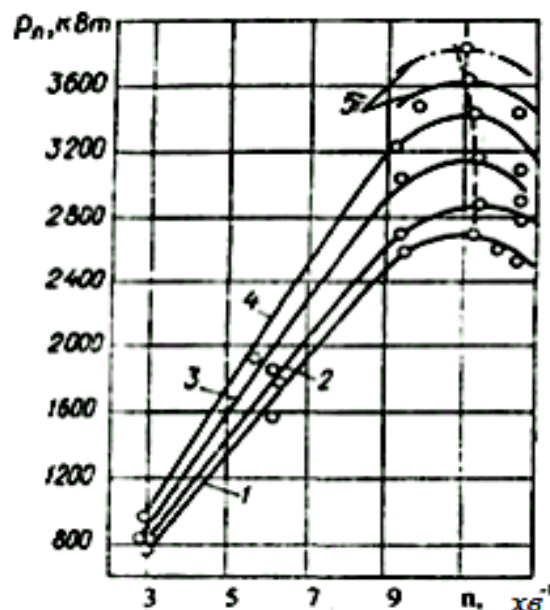


Рисунок 1 – Залежність споживаної потужності від частоти обертання барабана млина при різному ступені заповнення його рудою: 1-4 – для нової футеровки; 5 – для зношеної футеровки (1 – $\varphi=0,28$; 2 – $\varphi=0,33$; 3 – $\varphi=0,38$; 4 – $\varphi=0,46$; 5 – $\varphi=0,55$)

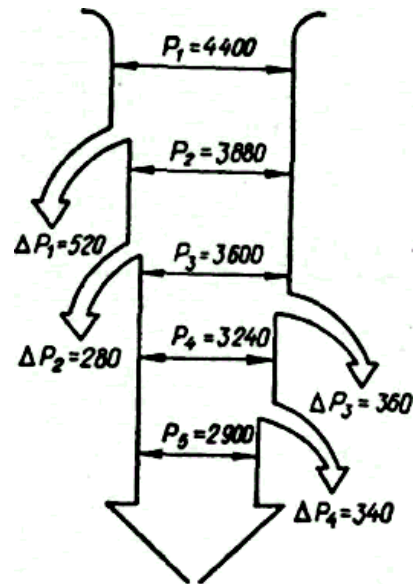
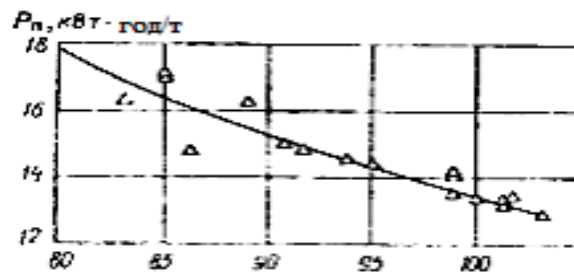
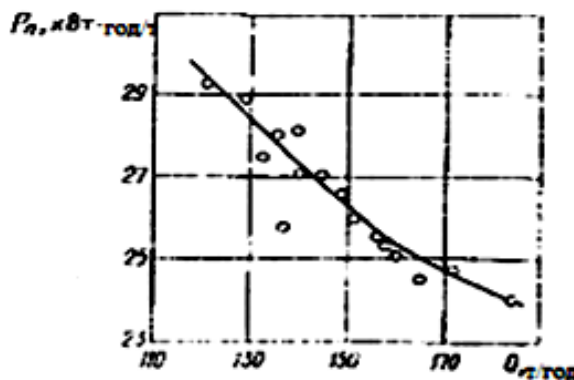


Рисунок 2 – Енергетична діаграма розподілення і втрат потужності в елементах привода млина МБ-90-30 P_1 , P_2 – потужності, споживані синхронними двигунами і двигунами постійного струму; P_3 – корисна потужність на валу двигуна постійного струму; P_4 – потужність на виході редуктора; P_5 – корисна потужність, яка передається на барабан млина; ΔP_1 , ΔP_2 , ΔP_3 , ΔP_4 – втрати потужності відповідно в обертаючому перетворювачі, в двигуні постійного струму, редукторі та відкритій зубчатій передачі



а)



б)

Рисунок 3 – Залежність питомих витрат електроенергії млина ММС-70-23 (а) і МБ-90-30 (б) від продуктивності за питомим споживанням

У таблиці 1 наведені дані за однотипними млинами, що виготовляються вітчизняними заводами і закордонними фірмами. Подані дані показують, що питома енергоємність привода млина більш висока на вітчизняних млинах. Це пояснюється більш високими ступенями заповнення

барабанів цих млинів при роботі й більш високими частотами обертання. Тому при подальших розробках і створенні нових млинів підвищеного об'єму потрібен ретельний аналіз і обґрунтування вибору таких параметрів як частота обертання і ступінь заповнення барабана.

Таблиця 1 – Порівняльні данні електроспоживання вітчизняних та закордонних млинів

Тип млина	Показники	Заводи НКМЗ, СТЗ	Закордонна фірма (країна)		
			Алліє Чалмерс (США)	Моргардс-Гаммер (Швеція)	Драгон (Франція)
Стержневий	Діаметр млинів, м	3,2-4,5	3,05-3,96	2,4-4,5	3,1
	Ступінь заповнення, %	40-41	38-41	-	33-34
	Відносна швидкість від критичної, %	60	-	50,5-61,0	60
	Питома енергоємність привода, кВт/м ³	31,5-30,5	16,8-15,8	12,8-17,8	18,3-18,4
Кульовий з центральним завантаженням	Діаметр млинів, м	3,2-5,5	3,05-3,96	2,4-5,3	3,15
	Ступінь заповнення, %	42-43	40-45	-	39-41
	Відносна швидкість від критичної, %	75-80	-	75	75
	Питома енергоємність привода, кВт/м ³	28,1-33,3	16,6-19,5	14,6-29,1	22,5-35,1
Кульовий з ґратами	Діаметр млинів, м	3,2-4,5	3,05-3,96	3,2-3,8	3,15
	Ступінь заповнення, %	47-50	42-46	-	43-45
	Відносна швидкість від критичної, %	78-80	-	75	75
	Питома енергоємність привода, кВт/м ³	27,8-34,3	16,9-20,5	16,0-23,6	27,9-25,0
Рудогальковий млин	Діаметр млинів, м	4,0-5,5		3,15-6,5	
	Ступінь заповнення, %	40-50		45	
	Відносна швидкість від критичної, %	81		75	
	Питома енергоємність привода, кВт/м ³	19,2-19,6		12,2-17,5	
Само-подрібнення	Діаметр млинів, м	7-9			
	Ступінь заповнення, %	45-50			
	Питома енергоємність привода, кВт/м ³	20-25			

Що стосується помольного обладнання збагачувальних фабрик ГЗК України, то при їхній реконструкції необхідно знизити частоту обертання барабана на млинах II і III стадії, шляхом установки нових валів-шестерень зі зменшеним числом зубів. Це дозволить зменшити витрати електроенергії на приводах млинів II і III стадій від 2 до 5%, що складе близько 100 млн. кВт·год за рік.

Приводи млинів різних типів, що виготовляються в даний час Новокраматорським машинобудівним заводом (НКМЗ) і Сизранським турбобудівним заводом (СТЗ) обладнані, здебільшого, синхронними двигунами і відкритою зубчастою передачею. За винятком млинів СТЗ типу ММС-70х23, привод яких складається зі швидкохідного (1000 хв.⁻¹) синхронного двигуна, 2-ступеневого редуктора і відкритої зубчастої передачі. Але застосування редуктора пов'язано не тільки зі збільшенням експлуатаційних витрат (за рахунок ремонтів редуктора), але і зменшенням коефіцієнта технічного використання (КТВ) млина і ККД привода. Це призводить до збільшення електропоживання млинами цього типу, приблизно, на 5%.

Дослідженнями, проведеними інститутом Механобрчормет разом з Інгuleцьким ГЗК привод млина ММС 70х23 був визнаний технічно й економічно недоцільним. Обґрунтовано та випробувано новий привод млина ММС 70х23 на базі тихохідного (125 хв.⁻¹) синхронного двигуна. Такий привод виключає застосування редуктора (рис. 4). Експерименти показали, що новий привод дозволяє знизити споживану потужність, при проектному ступені заповнення млина, на 80 кВт, порівняно з аналогічними млинами, обладнаними редукторними приводами.

Річна економія електроенергії по одному млині ММС 70х23 з безредукторним приводом складає близько 0,5 млн. кВт·год, а загальний економічний ефект складає 110,8 тис. грн. на один млин.

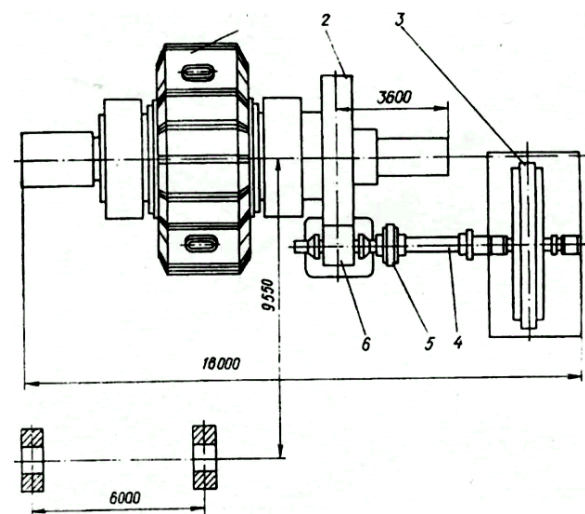


Рисунок 4 – Схема безредукторного привода млина ММС-70-23: 1 – барабан; 2 – вінцева шестерня ($z=254$, $m=20$); 3 – електродвигун СДС-19-56-48 ($P=1600$ кВт, $n=125$ хв); 4 – проміжний вал; 5 – муфта; 6 – вал-шестерня відкритої передачі ($z=27$, $m=20$)

Інгuleцький ГЗК, по документації інституту Механобрчормет, перевів усі млини ММС 70х23 на безредукторний привод. На збагачувальній фабриці №1 Лебединського ГЗК дотепер продовжують працювати застарілі млини із заводськими приводами, які обладнані редукторами. Тому при реконструкції зазначеної фабрики рекомендується перевести млини ММС 70х23 на безредукторний

привод, що дозволить знизити витрату електроенергії по фабриці в розмірі близько 8,0 млн. кВт. год на рік (рис. 5, рис. 6) [4, 17].

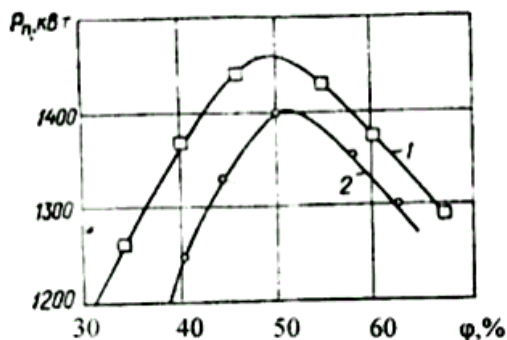


Рисунок 5 – Залежність споживаної потужності від типу приводу і ступеня заповнення барабана млину ММС-70-23:1 – редукторний привод; 2 – безредукторний привод

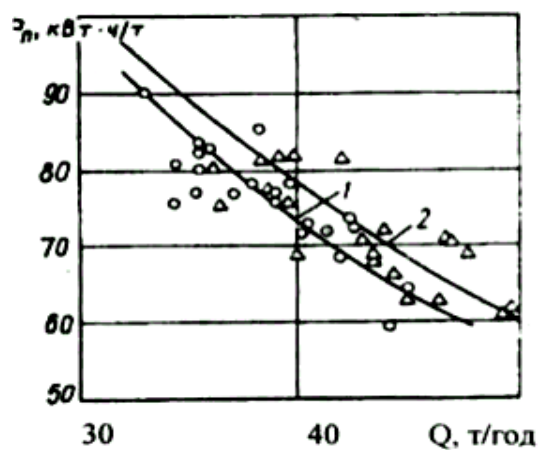


Рисунок 6 – Залежність питомих витрат електроенергії на подрібнення в млині з різними варіантами приводів від продуктивності по концентрату: 1 – безредукторний привод; 2 – редукторний привод

Обстеженням, проведеним інститутом Механобрчормет на млинах різних типів (самоподрібнювання, рудногалькових, кульових із ґратами, кульових з центральним розвантаженням) показано, що кожному типу млинів відповідає визначений характер залежності коливань електронавантаження, що, як відомо, повторює характер змін моменту опору на валу двигуна.

При цьому загальним для всіх млинів є пульсуючий характер моменту опору, який для млинів самоподрібнювання, рудногалькових і кульових з центральним розвантаженням є періодичним, а для млинів кульових із ґратами – аперіодичним.

Пульсації є наслідком комбінованого впливу ряду факторів таких, як точність виготовлення і монтаж зубчастих коліс, порушень у зубчастому зчепленні, що виникають при експлуатації, міцність сполучних елементів у системі двигун-млин, наявність і якість мастила та інше.

Пульсація струму статора приводить до наведення струмів у демпферній обмотці та, як наслідок, до збільшення теплових втрат у двигуні, підвищення витрат електроенергії.

До підвищення витрат електроенергії приводить також відсутність на ГЗК автоматичних систем маслозмащування відкритих зубчастих передач, що не забезпечує ефективної роботи передачі й знижує ККД привода. Крім того, до зниження ККД привода приводить також наявність порушень у зубчастому зчепленні та відсутність еластичних з'єднань між двигуном і млином. Тому застосування еластичних муфт, систем автоматичного змащення відкритої зубчастої передачі, контроль за якістю зубчастого зчеплення при ППР можуть дати підвищення у ККД привода не менш, ніж на 0,5%. Якщо взяти до уваги, середній коефіцієнт завантаження приводів млинів 0,8, коефіцієнт використання устаткування 0,9, то при зазначеній загальній установленій потужності приводів млинів від застосування зазначених вище заходів може бути отримана економія електроенергії в розмірі не менше 32 млн. кВт.год/рік.

Одним зі способів економії електроенергії при роботі важких конвеєрів дробильних фабрик є виключення витрат електроенергії на холості ходи. Це особливо важливо для тих механізмів, що характеризуються періодичністю завантаження матеріалу або нерівномірністю завантаження протягом зміни. Раніше була випробувана система автоматичного регулювання швидкості привода конвеєра К-2 на дробильній фабриці. Випробування показали, що застосування зазначеної системи забезпечує не тільки поліпшення умов пуску, створює рівномірний розподіл навантаження між двигунами в новому приводі, але і забезпечує зниження питомих витрат електроенергії на транспортування руди на 15% або, приблизно, на 0,1 кВт.год/т. Тому запропоновано при проектуванні нових і реконструкції діючих дробильних фабрик застосовувати регульований привод для великих конвеєрів, які характеризуються нерівномірністю завантаження матеріалом, що транспортується. Це може забезпечити додаткову економію електроенергії в розмірі близько 30 млн. кВт.год за рік.

За даними інституту Механобрчормету при впровадженні піскових насосів з регульованим приводом Т.АРД-250 і поліуретановими та карбідними покриттями коліс підвищується термін служби в 2-4 рази, а економія електроенергії складає 5-10%. Одночасно, за рахунок нового керуючого впливу можна підвищити ефективність роботи гідроциклонів II і III стадій на 10-15%. Впровадження дробарок з розподілом споживання знижує витрати електроенергії на 10-15% і крупність за класом плюс 20 мм, також знижується на 10-15%.

ВИСНОВКИ.

Таким чином, використання при рудопідготовці попереднього магнітного збагачення сильно-магнітних руд, сортування руд, усереднення, впровадження радіометричних методів збагачення, випробування руд у вибої, багатозв'язне керування процесами подрібнювання, дроблення та їхня інтенсифікація дозволяє не тільки знизити енергоємність процесу на 16-20%, але і значно підвищити їхню продуктивність, не знижуючи якості концентратів.

Важливе місце в системах керування економією електроенергії займають АСК ТП збагачувальних фабрик, що дозволяють підвищити продуктивність на 5-8%, знизити втрати загального заліза в хвостах на 2-3% і стабілізувати вміст загального заліза в концентраті.

При цьому питання підвищення ККД привода млина не вичерпується тільки виключенням зі схеми привода окремих елементів і зниженням на цій основі витрат електроенергії. Питання підвищення ККД привода є також актуальним для всіх тих млинів, що обладнані безредукторним приводом з тихохідними синхронними двигунами. Такими приводами обладнані понад 800 одиниць млинів із загальною встановленою потужністю приводних двигунів близько 1 млн. кВт.

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокур Н.И., Потураев В.Н., Бабец Е.К. *Дробление и измельчение руд*. Кривой Рог: ВЭЖА, 2000. 290 с.
2. Воробьев В.В., Хорошман В.А. Экспериментальное обоснование параметров низкотемпературного метода разрушения горных пород. *Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут»*, Серія: «Гірництво». НТУУ «КПІ»:ЗАТ «Тех.новибух», 2012. № 22. С. 97–101.

3. Инженерная геология (з основами геотехники): учебник для студентов высших учебных заведений / В. Г. Суярко, В. М. Величко, О. В. Гаврилюк, В. В. Сухов, О. В. Нижник, В. С. Білецький, А. В. Матвеев, О. А. Улицький, О. В. Чуєнко; за заг. ред. проф. В. Г. Суярка. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2019. 278 с.

4. Сокур М. І., Білецький В. С., Ведмідь І. А., Робота Є. М. Рудопідготовка: дроблення, подрібнення, грохочення: монографія. Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2020. 494 с.

5. 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.

6. Білецький В. С., Олійник Т. А., Смирнов В. О., Скляр Л. В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина І. Підготовчі процеси. Кривий Ріг: Криворізький національний університет. 2019. 202 с.

7. Tverda O., Vorobyov V. Interrelation breakup parameters of rock mass with the direction breakage under explosive working off high ledges in the quarries. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2015. №1. С. 63–73.

15. Ivasiv V., Yurych A., Zabolotnyi S., Yurych L., Bui V., Ivasiv O. Determining the influence of the condition of rock-destroying tools on the rock cutting force. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol 1.No 1 (103). PP. 15–20.

16. Переробка корисних копалин: Підручник / Смирнов В. О., Білецький В. С. — Львів: Видавництво «Новий Світ-2000», 2019. — 607 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Показано, що дослідження енергоспоживання привели до необхідності організації поцехового і поагрегатного обліку і контролю енергоспоживання, що дозволяє в реальному масштабі часу отримувати інформацію про витрати електроенергії, споживаної потужності в усіх технологічних ланках і вчасно виконувати регульовальні заходи. Таким чином, створивши ефективну підсистему АСК ТП контролю і керування енергоспоживання гірничо-збагачувального комбінату, енергетики разом з технологами можуть розробляти організаційно-технічні плани економіки енергії, які пов'язані з планами раціоналізації технології та поліпшенням організації виробництва. Показано, що у частині приводів, установлених на подрібнювальному устаткуванні збагачувальних фабрик ГЗК України, доцільно при їхній реконструкції розглянути питання деякого зниження частоти обертання барабана на млинах II і III стадії, шляхом установки нових валів-шестерень зі зменшеним числом зубів. Таке зниження відносної частоти обертання з 80 до 75-78% від критичної може зменшити витрати електроенергії на приводах млинів II і III стадій від 2 до 5%, що складе близько 100 млн. кВт·год за рік.

Ключові слова: гірничо-збагачувальний комбінат, норми енергоспоживання, витрати електроенергії, тип приводу, продуктивність.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Показано, что исследование энергопотребления привели к необходимости организации цехового и поагрегатного учета и контроля энергопотребления, что позволяет в реальном масштабе времени получать информацию о расходах электроэнергии, потребляемой мощности во всех технологических звеньях и вовремя делать регулировочные мероприятия. Таким образом, создав эффективную подсистему АСУТП контроля и управления энергопотребления горно-обогатительного комбината, энергетики вместе с технологами могут разрабатывать организационно-технические планы экономики энергии, связанные с планами рационализации технологии и улучшением организации производства. Показано, что в части приводов, установленных на дробильном оборудовании обогатительных фабрик ГОКов Украины, целесообразно при их реконструкции рассмотреть вопрос некоторого снижения частоты вращения барабана на мельницах II и III стадии, путем установки новых валов-шестерен с уменьшенным числом зубов. Такое снижение относительной частоты вращения с 80 до 75-78% от критической может уменьшить расходы электроэнергии на приводах мельниц II и III стадий от 2 до 5%, что составит около 100 млн. кВт·ч за год.

Ключевые слова: горно-обогатительный комбинат, нормы энергопотребления, расходы электроэнергии, тип привода, производительность.

ABOUT AUTORS

М. І. Сокур, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

В. С. Білецький, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»



УДК 622.772 : 669.293

СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПЕРЕРОБКИ ЧОРНОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ РІДКІСНОМЕТАЛІЧНИХ РУД

Шпильовий Л. В.¹, Шпильовий К. Л.²

¹кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, E-mail: mineraltech.azov@gmail.com

²інженер, ТОВ «Азов-Мінералтехніка», Донське, Донецька область, Україна
E-mail: mineraltech.azov@gmail.com

MODERN TECHNICAL SOLUTIONS FOR PROCESSING ROUGH CONCENTRATES OF RARE METAL ORES

Shpilevoy L. V.¹, Shpilevoy K.L.²

¹candidate of technical sciences, senior researcher, M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation, Ukraine, E-mail: mineraltech.azov@gmail.com

²engineer, Azov-Mineraltekhnik LLC, Donske, Donetsk region, Ukraine, E-mail: mineraltech.azov@gmail.com

ABSTRACT

The relevance of the problem. The article is devoted to the problem of processing poor rare metal ores. The combined method of processing such ores, which consists in determining the optimal boundary between mechanical processing and subsequent pyrometallurgical processing of the draft concentrate, which allows to increase the end-to-end removal of a rare metal.

The purpose of the article. Increase technical and economic indicators of mining and metallurgical processing of niobium ores.

Methods and equipment. Literary review, attraction of Internet resources, description of experimental studies.

Results. The technological parameters of the production of a draft pyrochlorine concentrate with mechanical methods of enrichment, and restorative smelting of such a concentrate are determined.

Scientific value of development. The concept of a rational technological processing scheme of raskometallic ore is proposed.

Practical importance. Using the proposed approach to processing the poor ore of rare metals, it is possible to significantly improve the technical and economic indicators of the work of the mining and processing enterprise. The arts may be helpful both researchers of processes of dressing and pyrometallurgical processing of ores and engineers of project organizations, students and graduate students.

Keywords: *pyrometallurgical processing, rare metal ores, optimal depth of mechanical processing, extraction*

У світовій практиці для підвищення вилучення металів з бідних рідкіснометалічних руд застосовують гідро- та пірометалургійні процеси переробки чорнових концентратів і бідних промпродуктів. Альтернативне застосування методів механічного збагачення приводить до значних втрат.

Одним з перспективних методів переробки бідних рідкіснометалічних руд, проміжних продуктів збагачення та чорнових концентратів є

пірометалургійна плавка, що в багатьох випадках дозволяє відмовитися від застосування кислот, хлору та інших активних і екологічно небезпечних речовин, спростити технологічну схему. Прикладом ефективного застосування металургійної переробки є метод відновлювальної плавки, що полягає в концентруванні рідкісних металів у сплав із залізом (чавуні), який отримують в результаті відновлення оксидів рідкісних металів

вуглицем (коксом) в електродуговій печі при температурі процесу 1500-1800 °С. Цей метод придатний для переробки сировини з вмістом рідкісних металів менше 2 %. Додаткове збагачення досягається конвертуванням чавуну при 1250-1350 °С. В результаті продування повітрям вдається отримати шлаки з вмістом 6-12 % оксидів рідкісних металів, які придатні для наступної гідрометалургійної переробки, та досягти високого вилучення металів – 95,0 – 99,0 % [1].

Відомий різновид селективної плавки бідної тантал-ніобієвої руди родовища Crevir (Канада) з вмістом 0,17 % пентоксиду ніобію та 0,02 % пентоксиду танталу. Руду спочатку збагачують гравітаційним способом та магнітною сепарацією. Ніобій і тантал концентруються в немагнітній фракції. Концентрат містить 21 % пірохлору, 18 % циркону, 16 % апатиту, 12 % альбіту, 18 % піриту та 5 % магнетиту. Шихту, що складається з концентрату, коксу та залізної стружки, плавлять при температурі 1550-1700 °С і отримують фероніобій з 20 % вмістом карбідів ніобію і танталу. Обробкою такого, попередньо подрібненого, сплаву сірчаною кислотою в розчин переводять залізо, а карбіди ніобію і танталу залишаються в нерозчинному осаді. Далі проводять окиснювальний випал карбідів при 800 °С протягом 30 хв. та отримують синтетичний концентрат з вмістом ніобію 80 % та 8 % танталу [2]. Але проблем екології та охорони праці цей метод переробки бідних концентратів повністю не вирішує, а лише зменшує масштаб їх шкідливого впливу.

Нами запропоновано застосувати плазмодуговий метод переробки бідного пірохлор-цирконового концентрату, отриманого від переробки руд Мазурівського родовища (Донецька обл.) [3]. Цей метод на відміну від попереднього, має перевагу в швидкості нагрівання шихти та можливості перегрівання металічної фази вище температури кипіння окремих елементів. Це дозволяє знизити вміст деяких елементів в металічному розплаві, наприклад алюмінію, магнію, кремнію; відповідно підвищується концентрація заліза та рідкісних металів.

Плазмодуговий нагрів дозволяє суттєво підвищити швидкість відновлювальних реакцій в печі в порівнянні із звичайною електричною дугою, та швидкість протікання відновлювальних реакцій не лише за рахунок підвищення температури розплаву, але і в результаті перемішування рідких металу та шлаку плазмовим струменем. Аргон, крім функції несучого газу плазми, виконує також роль утворювача нейтрального середовища по відношенню до газоподібного SiO, що міститься в газовій фазі.

При звичайній електродуговій плавці монооксид кремнію, що утворюється при цьому, окис-

нюється в робочій зоні печі та конденсується на поверхні шлаку.

При плазмодуговому нагріванні значна кількість кремнію з концентрату може вилучатися з печі у вигляді леткої сполуки – монооксиду кремнію, та збиратися як додатковий супутній товарний продукт плавки.

Практична перевірка вилучення кремнію з рідкіснометалічного концентрату у вигляді SiO, а також випарювання металічного кремнію під час відновлюваної плавки виконана на лабораторній плазмодуговій установці.

Для експериментів з плазмовими дугами постійного струму було розроблено, виготовлено та встановлено на зварювальний апарат ТДФ-1601У4 спеціальний мостовий діодний випрямляч струму. Охолодження діодів здійснювалося проточною водою.

Було проведено дослідження кінетики нагрівання робочого простору та горіння дуги змінного та постійного струму з подачею інертного газу (аргону), або без нього, через порожнистий електрод.

Встановлено, що використання змінного струму забезпечує більш стабільне горіння дуги, а подача аргону в зону горіння дуги дозволяє суттєво збільшити довжину дуги, створюючи тим самим в робочій зоні печі плазмовий потік, що призводить до зростання швидкості нагрівання тигля. Процес знекремнювання вивчався на прикладі відновлювальної плавки цирконового концентрату. Були виготовлені котуни, які склалися з цирконового концентрату та графітового порошку. Проведено дві порівняльні плавки на шихті однакового складу: 2,0 кг котунів та 1,0 кг феросиліцію. Обидві плавки починалися з розтоплення феросиліцію в електродуговому режимі роботи пічної установки. Потім в рідкий метал невеликими порціями завантажувалися котуни. Відновлення здійснювалося в першому випадку у звичайному електродуговому режимі печі, а в другому варіанті – в плазмодуговому режимі.

Під час першої плавки відновлювальні процеси, що супроводжувалися кипінням ванни з металом, завершувалося за 40 хвилин.

Під час плазмодугової плавки тривалість кипіння скоротилася до 20 хв., а кипіння було більш інтенсивним.

Результати хімічного аналізу металу, отриманого в результаті відновлювальних плавок цирконового концентрату, наведені в табл. 1, показують, що плавка із застосуванням плазмодугового нагрівання дозволяє отримати більш високий вміст цирконію в металі, та більш низький вміст кремнію. Вилучення цирконію у сплав для першої плавки – 76 %, для другої – 85 %.

Таблиця 1 – Хімічний склад сплавів, отриманих в результаті відновлюваної плавки цирконового концентрату

Номер плавки	Вміст, %							
	Zr	Si	Fe	Ti	Mg	Al	Ca	C
Плавка 1	23,84	28,73	39,77	0,19	2,1	3,7	0,16	0,32
Плавка 2	38,66	16,10	26,92	0,23	4,2	4,8	0,5	0,16

Схема процесу відновлювальної плавки пірохлорового концентрату наведена на рисунку 1.

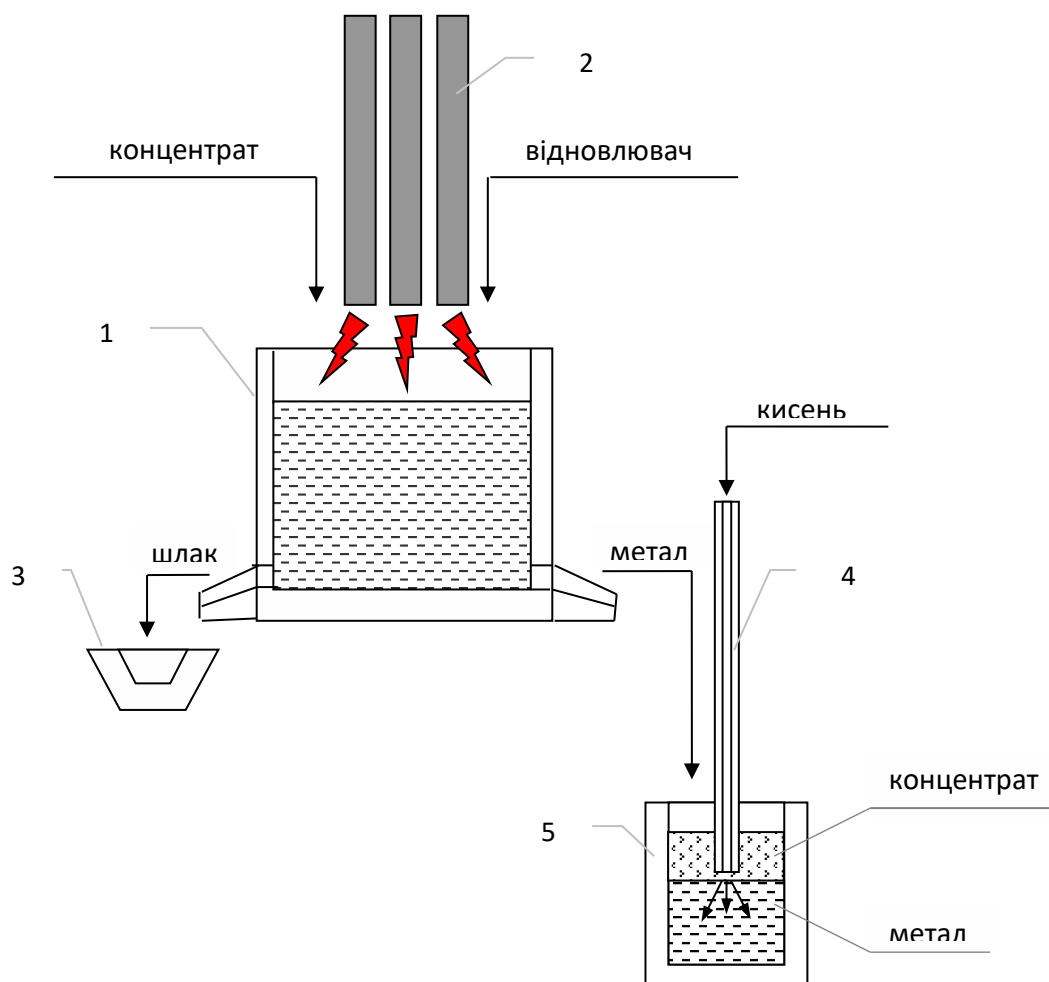


Рисунок 1. Схема процесу відновлювальної плавки пірохлорового концентрату

1 – ванна дугової електричної печі; 2 – графітові електроди; 3 – шлакова виливниця; 4 – киснева фурма; 5 – футерований ківш.

Незважаючи на високий вміст кремнезему та низький вміст рідкісних металів для безпосереднього використання феросплаву у чорній металургії, з бідних рідкіснометалічних концентратів можна отримати феросплави з достатньо високим вмістом рідкісних металів, який досягається за рахунок скорочення кількості шлаку та, очевидно, випаровування відновлених металевих алюмінію і кремнію. При відповідних умовах значну частину кремнезему можна вилучити шляхом сублімації монооксиду кремнію. Отриманий, в результаті окиснювання киснем повітря SiO , дрібнодисперсний діоксид кремнію SiO_2 після уловлювання його в спеціальному циклоні та очищенні може бути ще одним

супутнім продуктом комплексної переробки руди.

Використання плазмового джерела тепла дозволяє достатньо просто переробляти дрібнодисперсну сировину, організувавши її подачу в потоці плазмовоутворюючого газу. Чим більше диспергована речовина, тим більш ефективною є переробка, адже нагрівання та випаровування більш дрібних частинок відбувається швидше, і з меншими витратами енергії.

Дрібнодисперсна сировина разом з відновлювачем (вугільний пил) подається у високотемпературну реакційну зону в потоці плазмовоутворюючого газу. Висока температура (близько $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$) забезпечує швидке й найбільш повне відновлення оксидів всіх металів, що

входять до складу концентрату (Nb, Ta, Zr, Fe, Al, Si). При цьому кремній та алюміній переходять у газову фазу і виводяться із реакційної зони в спеціальну камеру-кондесатор, де охолоджуються, переходять у рідкий стан та випускаються у виливницю. Тугоплавкі рідкісні метали та залізо залишаються в рідкій фазі і накопичуються на дні реакційної камери, з якої періодично випускаються.

Даний процес моделювався за допомогою програми термодинамічних розрахунків **Oracle**. Отримані результати моделювання високотемпературних відновлюваних процесів дозволяють зробити висновки про принципову можливість їх реалізації.

Встановлено, що оптимальна глибина збагачення руд Мазурівського родовища визначається вмістом пентоксиду ніобію у чорновому пірохлоровому концентраті на рівні 7,0-7,5 % (або сумарним вмістом пентоксиду ніобію та танталу близько 8,0 %). При цьому наскрізне вилучення пентоксиду ніобію в концентрат складає 60-61 % (проти 26 % при механічних методах збагачення), вилучення танталу – 74 %. Схема доводки чорнового рідкіснометалічного концентрату при цьому спрощується – з неї будуть виключені останні стадії доводки.

Операція магнітного збагачення є дуже витратною через низьку продуктивність сепараторів, високу їх вартість та значні витрати на обслуговування.

Застосування в технології переробки чорнового концентрату відновлювальної плавки дозволяє отримати ніобієвий продукт відповідних кондицій, придатний для подальшої металургійної переробки, вже при напруженості магнітного поля 9,7-11,0 кЕ (097-1,1 Тл), та відмовитися від застосування високоградієнтних сепараторів.

При цьому прибуток від реалізації готової продукції додатково зростає на 375 дол. США на кожній тонні руди.

Проведені техніко-економічні дослідження дозволили виявити діапазони оптимальної глибини збагачення рідкіснометалічних руд Мазурівського родовища на основі критерію максимального прибутку від реалізації кінцевої товарної продукції.

Зниження глибини механічного збагачення (до вмісту пентоксиду ніобію 7-8 % в чорновому концентраті) призводить до зростання загального сумарного (наскрізного) вилучення в 2,3 рази у порівнянні із збагаченням руди механічними методами та металургійною переробкою більш багатих чорнових концентратів (з сумарним вмістом пентоксиду ніобію та танталу близько 16-19 %).

Виконані розрахунки показують, що оптимізація співвідношення механічного та пірометалургійного збагачення в комбінованих схемах переробки бідної руди є досить ефективним напрямком вдосконалення виробництва рідкісно-металічної продукції.

Але робота гірничо-переробного підприємства на основі використання критерію «оптимальної глибини збагачення» можлива лише у випадку, коли гірничо-збагачувальне виробництво знаходиться в єдиному комплексі з металургійним цехом у складі одного підприємства.

В умовах повного циклу переробки руди на гірничо-металургійному заводі можлива і необхідна оптимізація співвідношення механічного збагачення та металургійної обробки продуктів збагачення на основі критерію «максимальний прибуток від реалізації кінцевої товарної продукції».

ВИСНОВКИ

Концепція раціональної технологічної схеми переробки рідкіснометалічної руди полягає в наступному [4]:

1. попередня крупногрудкова сепарація руди крупністю –30 мм фотометричним методом для виділення ніобій- і цирконійвмісних порід – альбіту та маріуполіту, – від мікрокліну та інших порід, що на 45-50 % зменшує обсяги перероблюваної руди;

2. подрібнення руди у відцентровій дробарці ударної дії та відцентровому млині металної дії до крупності –1 мм, що дозволяє досягти більш повного розкриття пірохлору в грубих класах крупності;

3. мокра магнітна сепарація (в слабкому і високоградієнтному полях) подрібненої руди для вилучення магнетиту, та часткового вилучення егірину і біотиту, з метою створення оптимальних умов для наступного гравітаційного збагачення у відцентровому концентраторі, за яких досягається вилучення пентоксиду ніобію в чорновий концентрат 3,0-3,5 %;

4. гравітаційне збагачення у відцентрових концентраторах, що дозволяє підняти вміст пентоксиду ніобію і танталу в чорновому концентраті до 7-8 % при вилученні 77,25 %;

5. пірометалургійна переробка бідного чорнового концентрату з сумарним вмістом пентоксидів ніобію і танталу 7-8 %.

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г. Металлургия редких металлов. – М.: Металлургия, 1991. – 432 с.
2. Гасик М.И., Лякишев Н.П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. – М.: СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 764 с.
3. Шпилевой К.Л., Костецкий Ю.В. Переработка некондиционных редкометалльных продуктов / Разработка рудных месторождений: Научно-технический сборник // Криворожский технический университет. Вып. 1(90), 2006. – С. 122-125.
4. Шпилевий Л. В., Білецький В. С., Шпилевий К. Л. Збагачення ніобієвих руд / За ред. В.С. Білецького. – К.: Видавництво ФОП Халіков Р.Х., 2021. – 160 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Актуальність проблеми. Стаття присвячена проблемі переробки бідних рідкіснометалічних руд. Описано комбінований метод переробки таких руд, який полягає у визначенні оптимальної межі між механічним збагаченням та наступною пірометалургійною переробкою чорного концентрату, що дозволяє підвищити загальне (наскрізне) вилучення рідкісного металу

Мета статті. Підвищити техніко-економічні показники гірничо-металургійної переробки бідних ніобієвих руд.

Методи і апаратура. Літературний огляд, залучення інтернет-ресурсів, опис експериментальних досліджень.

Результати. Визначені технологічні параметри виробництва чорного пірохлорового концентрату механічними методами збагачення, та відновлювальної плавки такого концентрату.

Наукова цінність розробки. Запропонована концепція раціональної технологічної схеми переробки рідкіснометалічної руди.

Практичне значення. Використовуючи запропонований підхід до збагачення і переробки бідної руди рідкісних металів можна суттєво поліпшити техніко-економічні показники роботи гірничо-переробного підприємства.

Стаття може бути корисна як дослідникам процесів збагачення і пірометалургійної переробки руд, так і інженерам проектних організацій, студентам та аспірантам.

Ключові слова: пірометалургійне збагачення, рідкіснометалічні руди, оптимальна глибина механічного збагачення, вилучення.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Актуальность проблемы. Статья посвящена проблеме переработки бедных редкометаллических руд. Описано комбинированный метод переработки таких руд, который состоит в определении оптимальной границы между механическим обогащением и последующей пирометаллургической переработкой черного концентрата, что позволяет повысить сквозное извлечение редкого металла.

Цель статьи. Повысить технико-экономические показатели горно-металлургической переработки ниобиевых руд.

Методы и аппаратура. Литературный обзор, привлечение интернет-ресурсов, описание экспериментальных исследований.

Результаты. Определены технологические параметры производства черного пирохлорового концентрата механическими методами обогащения, и восстановительной плавки такого концентрата.

Научная ценность разработки. Предложена концепция рациональной технологической схемы переработки редкометаллической руды.

Практическое значение. Используя предложенный подход к обогащению и переработке бедной руды редких металлов можно существенно улучшить технико-экономические показатели работы горно-перерабатывающего предприятия. Статья может быть полезна как исследователям процессов обогащения и пирометаллургической переработки руд, так и инженерам проектных организаций, студентам и аспирантам.

Ключевые слова: пирометаллургическое обогащение, редкометаллические руды, оптимальная глубина механического обогащения, извлечение.

ABOUT AUTORS

Шпильовий Л.В. кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, E-mail: mineraltech.azov@gmail.com

Шпильовий К.Л. інженер, ТОВ «Азов-Мінералтехніка», Донське, Донецька область, Україна, E-mail: mineraltech.azov@gmail.com



УДК 622.245.42

РОЗРОБКА ТЕРМОСТІЙКОГО ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРІАЛУ

В. М. Орловський¹, Є. О. Суліма², К. М. Палєєва³, А. В. Мележик⁴

¹канд. техн. наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, e-mail: svaroh13@ukr.net, ORCID-0000 0002 8749 5354

²провідний інженер, Український науково-дослідний інститут природних газів - УкрНДІгаз, e-mail: jane_13@mail.ua,

³асистент, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, e-mail: kat.81p@gmail.com,

⁴здобувач вищої освіти, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, e-mail: lina.melehik@gmail.com

DEVELOPMENT OF HEAT-RESISTANT CEMENT MATERIAL FOR WELLS

V. M. Orlovskyy¹, Ye. O. Sulima², K. M. Paleeva³, A. V. Melezhiuk⁴

¹PhD, 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

²Leading Engineer, Ukrainian Research Institute of Natural Gases - UkrNDIgaz, e-mail: jane_13@mail.ua,

³assistant, Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine, e-mail: kat.81p@gmail.com,

⁴a graduate, Kharkiv National University of Municipal Economy named after A. M. Beketov, Kharkiv, Ukraine, e-mail: lina.melehik@gmail.com,

ABSTRACT

Objective. The aim is to develop heat-resistant autoclave hardening cement with high performance properties for cementing high-temperature wells in difficult mining and geological conditions at oil and gas fields and exploration areas of Ukraine.

Methodology. During the research, theoretical and experimental methods were used. The experiments were carried out on laboratory equipment simulating reservoir conditions. Measurement of the technological properties of the cement slurry and the formed stone was carried out using standard laboratory equipment. In particular, the density of cement slurries was determined using a pycnometer, the water-mixture ratio of the solutions was selected using a KR-1 flow cone, the water separation of the solutions was determined according to the standard method according to DSTU BV.2.7-86-99, the thickening time of the solutions was determined using a KT-3 consistometer. a laboratory press PSU-10 with a hydraulic drive and a special attachment were used, the determination of the boundaries of the strength of the stone in bending was carried out according to DSTU BV.2.7-86-99 on a device for testing beams for tensile bending in bending, in compression - on a press PSU-10. The number of experiments performed is sufficient to obtain results with a confidence level of 0.95.

Results. Heat-resistant cement of autoclave hardening on the basis of high-calcium and acid ash removal of thermal power plants was created and investigated. A statistical mathematical model of the strength of heat-resistant stone based on mixtures of high-calcium ash and acid ash depending on the content of components in the mixture and hardening conditions was obtained. The obtained mathematical model can be used for engineering estimates of the influence of factors on the strength of cement stone and is fully confirmed by physicochemical processes occurring during hardening of the cement mortar.

Scientific novelty. The scientific value of this work lies in the selection of optimal formulations of new heat-resistant cement materials intended for use in difficult mining and geological conditions.

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

Key words: well cementing, heat-resistant cement for wells, heat resistance of cement stone, strength of cement stone, adhesion.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

При цементуванні нафтових і газових свердловин в якості основи більшості тампонажних матеріалів застосовується портландцемент – високоактивний в'язучий матеріал, розчин з якого швидко твердіє при невисоких температурах. Але в гідротермальних умовах глибоких свердловин його застосування не лише економічно невиправдане, але й створює принципово невирішені проблеми щодо довговічності утвореного каменю. Підвищена активність портландцементу при тужавінні у глибоких свердловинах виявляється не лише зайвою, але й шкідливою. Вона є причиною швидкого схоплення цементного розчину і температурної нестабільності утвореного каменю. Якщо сповільнення схоплення регулюється порівняно просто, то питання температурної стійкості значно складніше, так як в жорстких гідротермальних умовах відбувається зниження міцності твердого тіла навіть з так званих термостійких цементів. Це пов'язано з тим, що при невисоких температурах термодинамічна нестабільність мінералів цементного каменю не викликає його структурної нестійкості, так як процес перекристалізації відбувається дуже повільно. Більш того, один з проявів термодинамічної нестійкості – висока питома поверхня гідратних новоутворень є однією з умов забезпечення міцності [1].

Але при високих температурах і тисках, характерних для глибоких свердловин, процеси перекристалізації з утворенням кристалохімічно упорядкованих структур протікають дуже швидко, що призводить до зниження міцності і підвищення проникності цементного каменю.

З огляду на вище сказане актуальною є задача розробки термостійких тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями на основі низькоактивних композицій з метою підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів у глибоких нафтових і газових свердловинах.

2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Сьогодні для якісного розмежування пластів у нафтових і газових свердловинах застосовують переважно тампонажні цемент, в яких основним в'язучим матеріалом є портландцемент. Згідно з ДСТУ БВ.2.7-88-99, залежно від хіміко-мінералогічного складу, тампонажні портландцементи розділяють на класи для різних температурних умов експлуатації від 288 до 423 К.

Проведені дослідження [1 – 3] показали, що при застосуванні портландцементів у геотермальних умовах глибоких свердловин виникають проблеми довговічності тампонажного каменю. Висока активність портландцементу є причиною температурної нестабільності тампонажного каменю, що викликає деструктивні процеси, зокрема утворення високоосновного гідросилікату $C_2SH(A)$, внаслідок чого поступово знижується міцність і підвищується проникність, навіть у

термостійких цементів. Це приводить до формування шляхів газонафтоводопроводів (ГНВП) і перетоків у свердловині.

Дослідник Гамзатов С.І. вважає[4], що гранична термостійкість тампонажних портландцементів для помірних температур становить 363 – 368 К.

Автори [5, 6] показують, що тампонажний портландцемент може застосовуватись до температури близько 358 К, тобто до глибин 2500 – 3000 м.

За даними [2], навіть при температурі 348 К на пізніх стадіях тужавіння тампонажного портландцементу (через 28 діб) міцність утвореного каменю починає знижуватись.

Досліджуючи процеси тужавіння і деструкції цементного каменю при тривалій гідротермальній дії Данюшевський В. С. зробив висновок про важливе значення генези тієї чи іншої структуротвірної фази для властивостей тампонажного каменю, зокрема його термостійкості [1]. При цьому виділяються два можливих напрямки в одержанні стійких новоутворень на ранніх стадіях тужавіння.

Перший з цих напрямків полягає у виборі в'язучого з найменшою але достатньою для забезпечення необхідної швидкості тужавіння хімічною активністю. Другий напрямок передбачає утворення в реакції із спеціально введеними кремнеземом і глиноземом довговічних в умовах високих температур і тисків гідросилікатів і гідрогранатів кальцію.

Практичне вирішення даного питання пов'язано з розробкою тампонажних композицій, до складу яких входять малоактивні в'язучі матеріали та різні домішки до них, які присутні у відходах металургійної, гірничорудної і хімічної промисловості. Це шлаки, шлами, розплави, золи, горілі породи тощо [7].

Уперше термостійкий тампонажний цемент одержали шляхом додавання до тампонажного портландцементу тонкомеленого кварцового піску [1]. Такі суміші одержали широке застосування завдяки універсальності домішки піску, який добре поєднується з різними типами цементів і практично не впливає на технологічні властивості цементного розчину.

Відомий широкий спектр малоактивних кальцієвмісних компонентів, які присутні у відходах металургійної, енергетичної, гірничорудної і хімічної промисловості (шлаки, шлами, огарки, золи, пил, горілі породи тощо). Цементи з таких матеріалів найбільш економічні та термостійкі [7, 8]. Для тампонажних робіт найширше застосування серед техногенних матеріалів дістали доменні шлаки. Їх хімічний склад близький до складу портландцементного клінкера і відрізняється, як правило, меншим вмістом оксиду кальцію. За ДСТУ Б В.2.7-261:2011, доменні шлаки, залежно від коефіцієнта якості і хімічного складу, поділяють на три сорти. Коефіцієнт якості враховується при оцінюванні їх гідралічних властивостей. У роботах [9 – 11] показано, що при підвищенні температури процеси гідролізу та гідратації доменних шлаків значно інтенсифікуються і вони стають достатньо активними в'язу-

чими матеріалами. Враховуючи ці якості, на основі доменних шлаків розроблено шлакові та піщано-шлакові цементи для високо температурних (до 473 К) свердловин [3, 10, 12].

Фізико-механічні властивості цементних розчинів на основі доменних шлаків залежать від хіміко-мінералогічного складу вихідного шлаку і способу його охолодження. Для температурних умов 373 – 473 К використовують шлаки з коефіцієнтом якості, не меншим ніж 1,65, для температур 473 – 573 К, не меншим ніж 1,45. При температурах, нижчих за 373 К, для активації шлаків добавляють тампонажний портландцемент [13, 14]. Недоліком тампонажних розчинів на основі доменних шлаків, який обмежує їх використання, є велика густина (1 800 – 2 000 кг/м³) внаслідок чого зменшується висота підйому тампонажного розчину в глибоких свердловинах на один ступінь.

Для низьких, нормальних і помірних температур використовують тампонажний шлакопортландцемент з домішкою електро-термофосфорного шлаку [15].

Відомі тампонажні композиції для цементування свердловин у температурному інтервалі 393 – 473 К, у процесі тужавіння яких мають місце фізико-хімічні процеси взаємодії в системах $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$; $\beta = \text{C}_2\text{S}-\text{CaO}-\text{H}_2\text{O}$ [2]. До цієї групи належать вапняно-піщані, нефеліново-піщані (беліто-кремнеземисті) в'язучі матеріали та ін. [1, 2, 3].

Широко застосовують цементно-золіві тампонажні суміші, в яких для підвищення термостійкості використано пуцоланову домішку – кислу золу-винос ТЕС [16 – 19]. Доведено можливість використання таких композицій у температурному діапазоні 323 – 473 К [20].

Отже, аналіз досліджень багатьох авторів дає підстави стверджувати, що запобігання ГНВП, унаслідок деструктивних процесів у цементному камені, можна досягти підвищенням термостійкості тампонажних матеріалів у глибоких свердловинах шляхом застосування малоактивних тампонажних композицій на основі широкого спектру мінеральних відходів промислового комплексу.

В Україні для цементування глибоких нафтових і газових свердловин в умовах підвищених і високих температур використовуються спеціальні цементи ШПЦС-120 і ШПЦС-200 та УШЦ-120 і УШЦ-200 виробництва Костянтинівського ВАТ «Обважнювач». Недоліками таких цементів є велика густина та низька якість тампонажного матеріалу, що проявляється в нестабільності приготовленого з нього тампонажного розчину.

3. ПОСТАНОВКА МЕТИ

Мета досліджень полягає в розробленні термостійкого тампонажного матеріалу автоклавного

тужавіння з високими експлуатаційними властивостями для цементування високотемпературних свердловин в складних гірничо-геологічних умовах на нафтових і газових родовищах та геологорозвідувальних площах України.

4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ І РЕЗУЛЬТАТИ

При визначенні оптимального складу тампонажних матеріалів (оптимального спів відношення компонентів золувих сумішей) основними критеріями можуть бути гранична міцність тампонажного каменю, міцність контакту каменю з обмежувальною поверхнею, газопроникність, величина лінійного розширення і корозійна стійкість.

Для обґрунтування оптимального використання пиловидних зол ТЕС як в'язучих матеріалів і домішок до них звернемося до їх класифікації. На сьогодні існує декілька класифікацій шлаків та зол за походженням, хімічним і мінералогічним складом тощо, але жодна з них не дістала широкого практичного застосування. Найчастіше використовувалася класифікація за модулем

основності ($M_{\text{осн}}$) й активності ($M_{\text{акт}}$), покладена в основу ДСТУ Б В.2.7-261:2011 на доменні гранульовані шлаки для виробництва цементу. Але дослідження і досвід промисловості показали відсутність закономірності між величиною цих модулів і властивостями матеріалу [21]. Очевидно, це пов'язане з тим, що вони є виключно емпіричними коефіцієнтами, які одержані на основі статистичних даних у процесі дослідження конкретної групи матеріалів.

У нашій роботі зроблено спробу використати в процесі підбору оптимального кількісного складу золувих сумішей коефіцієнт основності $K_{\text{осн}}$ (3.1), запропонований Боженівим П. І., який враховує не лише співвідношення, але і деякою мірою динаміку реакції між найголовнішими оксидами в процесі тужавіння [22]. Перший член чисельника ($\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O}$) показує загальний (валовий) вміст (у відсотках) «умовного» CaO , і чим його більше, тим активнішим є цей матеріал. Другий член чисельника ($0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3 + 1,3\text{CO}_2$) визначає кількість CaO , яка зв'язується відповідними оксидами і не бере участі в утворенні силікатів. У цілому чисельник показує, скільки відсотків «умовного» CaO залишається вільним для утворення силікатів кальцію. Знаменник $0,93\text{SiO}_2$ показує, скільки потрібно CaO (у відсотках) для зв'язування SiO_2 у моносилікат кальцію, і чим більший знаменник, тим більше в суміші може бути силікатів кальцію, а їх основність можна визначити за $K_{\text{осн}}$.

$$K_{\text{осн}} = \frac{(\text{CaO} + 0,93\text{MgO} + 0,6\text{R}_2\text{O}) - (0,55\text{Al}_2\text{O}_3 + 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0,7\text{SO}_3 + 1,3\text{CO}_2)}{0,93\text{SiO}_2} \quad (3.1)$$

Відомо, що низькоосновні гідросилікати кальцію і магнію надають цементному каменю високу міцність, термо- і корозійну стійкість у баротермальних умовах глибоких свердловин. Тому необхідно добиватись їх кількісної переваги у складі цементуючої зв'язки. $K_{осн}$ золи висококальцієвої, яка утворюється при спалюванні горючих сланців на електростанціях, становить 0,823 та, за класифікацією Боженова П. І., цей матеріал відносять до нейтральної сировинної групи (матеріали автоклавного тужавіння) [21].

Згідно з дослідженнями [1], найбільша міцність і термостійкість каменю при тривалій гідротермальній обробці в чисто силікатній системі досягається при мольному відношенні $CaO / SiO_2 \leq 0,8$ для температур 333 – 363 К і $CaO / SiO_2 \leq 0,6$ для температур 363 – 393 К. Це в переважній більшості випадків відповідає $K_{осн} - 0,3 \div 0,7$ [21]. Розраховані значення $K_{осн}$ для різних складів зольних сумішей показано в

таблиці 3.1. Аналізуючи одержані дані, можна передбачити, що найбільша міцність золотого каменю буде відповідати складам, які включають 20 – 50 мас. % домішки кислої золи. Для перевірки цього припущення зразки золотих сумішей різного складу піддавались автоклавуванню протягом двох діб при температурі 348 К і тиску 30 МПа (табл. 3.1). Випробування однієї з важливих характеристик золотого каменю – границі міцності при стисненні – показали близькі до теоретичних передбачень результати вибору оптимального кількісного складу тампонажних композицій на основі розрахованого коефіцієнта основності. Найкращі показники міцності мають зразки, у складі яких міститься 30 – 50 мас. % кислої золи. Враховуючи, крім міцності, й інші характеристики золотого каменю (силу зчеплення з металом (адгезію), газопроникність, відносне лінійне розширення, корозійну стійкість при вилуговуванні), оптимальний кількісний склад золотих композицій дещо змінюється і відповідає складам, які включають 30 – 70 мас. % кислої золи.

Таблиця 3.1 – Визначення оптимального складу золотих сумішей, що розширюються при твердінні

Тампонажний матеріал, мас. часток %		В/С	Коефіцієнт основності	Відносне лінійне розширення каменю, %	Границя міцності каменю при стисненні, МН/м ²	Міцність зчеплення каменю з металом, МН/м ²	Газопроникність каменю, мкм ² ×10 ⁻³	Коефіцієнт стійкості при вилуговуванні через 360 діб
ЗВ	ЗК							
100	–	0,55	0,823	3,33	0,40	2,20	6,30	0,80
90	10	0,55	0,716	3,29	0,70	2,40	3,93	0,813
80	20	0,55	0,609	3,26	2,50	2,90	2,10	0,84
70	30	0,55	0,504	3,21	13,90	3,70	0,98	0,96
60	40	0,55	0,396	3,18	13,00	4,43	0,595	0,97
50	50	0,55	0,289	3,00	11,00	4,75	0,58	0,97
40	60	0,55	0,182	1,84	8,80	4,45	0,76	0,97
30	70	0,55	0,074	0,68	6,00	3,00	1,54	0,97
20	80	0,55	–0,031	0,045	0,90	0,43	3,50	0,85
10	90	0,55	–0,138	0,02	0,26	0,11	6,70	0,83
–	100	0,55	–0,245	–	–	–	–	–

*Умови тужавіння: температура 348 К, тиск 30 МПа, час 2 доби

У процесі проведення лабораторних досліджень були вивчені технологічні властивості оптимальних складів золотих сумішей. Золоті розчини мають густину 1 500 – 1 790 кг/м³, водовідді-

лення золотих сумішей 6,0 – 15,0 мл, максимальна величина розширення каменю на основі золотих сумішей – 3,21 %. Камінь із золотих сумішей має високі показники міцності і міцності зчеплення з

металом обсадних труб, низьку газопроникність ($0,98 - 1,54 \text{ мкм}^2 \cdot 10^{-3}$), високу корозійну стійкість при знелуженні та в умовах дії більш жорсткої магнезійної агресії. Час прокачування золоних сумішей легко регулюється за допомогою відомих хімічних реагентів, наприклад, нітротриметилфосфонової кислоти (НТФК).

Одним з основних завдань даного дослідження є одержання статистичної моделі міцності золоного тампонажного каменю. Особливий інтерес викликає питання характеру можливого негативного впливу на міцність тампонажного каменю певного співвідношення золоних компонентів – золи висококальцієвої і золи кислої та оцінювання кількісних характеристик цього впливу.

Для розробки статистичної моделі застосо-

ваний ротатабельний центральнокмпозиційний план експерименту, що забезпечує однакову похибку по всьому факторному простору. Функція відгуку – міцність утвореного цементного каменю на стиснення через дві доби від початку тужавіння тампонажного розчину (G , МПа). На підставі апріорних даних варіативними вибрані три основні фактори: вміст золи висококальцієвої (X_1), водосумішове відношення (X_2), умови тужавіння тампонажного розчину (температура при відповідних їй пластових тисках у свердловині) (X_3). Вибрані фактори відповідають вимогам керованості, взаємонезалежності, однозначності, яким повинні задовольняти вхідні фактори при плануванні експерименту. Область факторного простору представлена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Область факторного планування

Фактор	Код фактора	Одиниця виміру	Рівні факторів				
			-1,68179	-1	0	1	1,68179
Зола висококальцієва (ЗВ)	X_1	%	30	40	50	60	70
Водосумішове відношення (В/С)	X_2	%	0,53	0,54	0,55	0,56	0,57
Температура (t)	X_3	°C (K)	50 (323)	75(348)	100 (373)	125 (398)	150 (423)

За допомогою комп'ютерної програми STATGRAPHICS Plus for Windows отримана план-матриця експерименту, реалізована в лабораторних умовах (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Матриця планування експерименту та експериментальні дані

X_1	X_2	X_3	G , Мпа
-1	-1	-1	8,85
1	-1	-1	12,25
-1	1	-1	8,75
1	1	-1	12,15
-1	-1	1	10,80
1	-1	1	13,30
-1	1	1	10,70
1	1	1	13,20
-1,68179	0	0	7,70
1,68179	0	0	14,55
0	-1,68179	0	12,30
0	1,68179	0	12,10
0	0	-1,68179	2,10
0	0	1,68179	12,45
0	0	0	12,20
0	0	0	12,20

Обробка результатів лабораторних досліджень проведена з використанням комп'ютерної системи STATGRAPHICS Plus for Windows. На рисунку 4.1 представлено паретто-графік і графік порівняння

розрахункових та експериментальних даних. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 82,4935\%$, показник узгодженості функції Lack-of-fit

$P = 0,079$, а стандартна помилка оцінки $SE = 1,97292$, що свідчить про можливість використання регресійної моделі для інженерних оцінок впливу факторів.

На рисунку 4.1, б показано взаємозв'язок одержаних і розрахункових даних. Основна частина експериментальних точок знаходиться в околиці прямої, що ще раз побічно підтверджує висновок про коректність моделі.

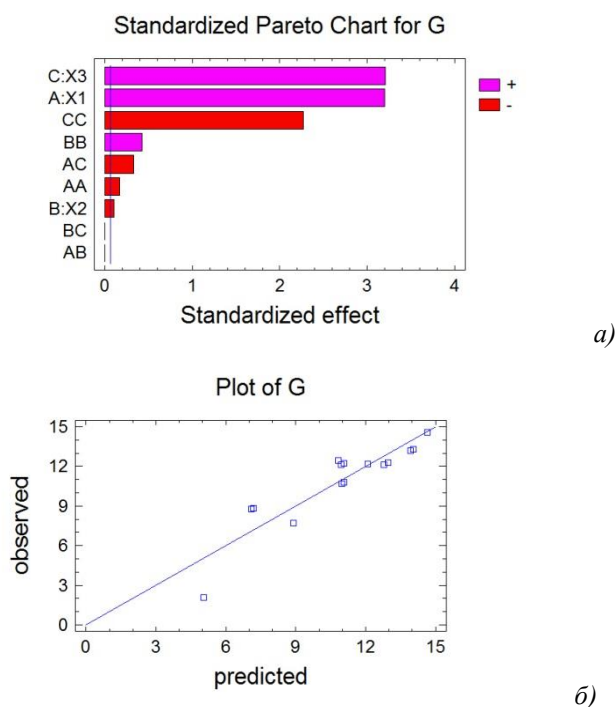


Рисунок. 4.1 – Статистичні оцінки регресійної моделі:

а – парето-графік (вертикальна лінія відповідає 95 % значущості коефіцієнтів); б – графік порівняння експериментальних (observed) і розрахункових (predicted) значень цільової функції.

З парето-графіка (рис. 4.1, а) видно, що при 95 % довірчої ймовірності, статистичну значущість мають коефіцієнти моделі X_3 і X_1 , при цьому коефіцієнт X_2 є статично найменш незначущим. Тобто, аналітично підтверджується, що

водосумішеве відношення суттєво не впливає на міцність тампонажного каменю в заданому діапазоні В/С.

У загальному вигляді отримано наступне рівняння регресії:

$$G = 12,087 + 1,70759 \cdot X_1 - 0,0539186 \cdot X_2 + 1,71391 \cdot X_3 - 0,107216 \cdot X_1^2 + 0,0 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,225 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,272855 \cdot X_2^2 + 0,0 \cdot X_2 \cdot X_3 - 1,4684 \cdot X_3^2 \quad (4.1)$$

З урахуванням значущості коефіцієнтів рівняння регресії при 95 % довірчої ймовірності рівняння (4.1) набуває вигляду:

$$G = 12,087 + 1,70759 \cdot X_1 - 0,0539186 \cdot X_2 + 1,71391 \cdot X_3 - 0,107216 \cdot X_1^2 - 0,225 \cdot X_1 \cdot X_3 + 0,272855 \cdot X_2^2 - 1,4684 \cdot X_3^2 \quad (4.2)$$

На рисунку 4.2 показано тривимірні перетини цільової функції G (X_1 , X_2 , X_3) та відповідні контурні криві.

Аналізуючи паретто-графік (рис. 4.1, а) та рівняння регресії (4.2) констатуємо, що найбільш значимим для визначення цільової функції G (X_1 , X_2 , X_3) є фактори X_1 – вміст в суміші золи висококальцієвої та X_3 – умови тужавіння тампонажного розчину (температура при

відповідних їй пластових тисках у свердловині). За значущістю члени моделі-полінома розміщуються в наступному порядку: X_3 , X_1 , X_3^2 .

Згідно із одержаними гіперповерхнями і контурними кривими рисунка 4.2, збільшення фактора X_3 – температури призводить до збільшення міцності тампонажного каменю, при чому спочатку спостерігається стрімке зростання цільової функції до певної точки. Отримана залежність з фізичної точки зору пояснюється тим, що при зростанні температури величина

пересичення розчинів гідратних новоутворень

збільшується.

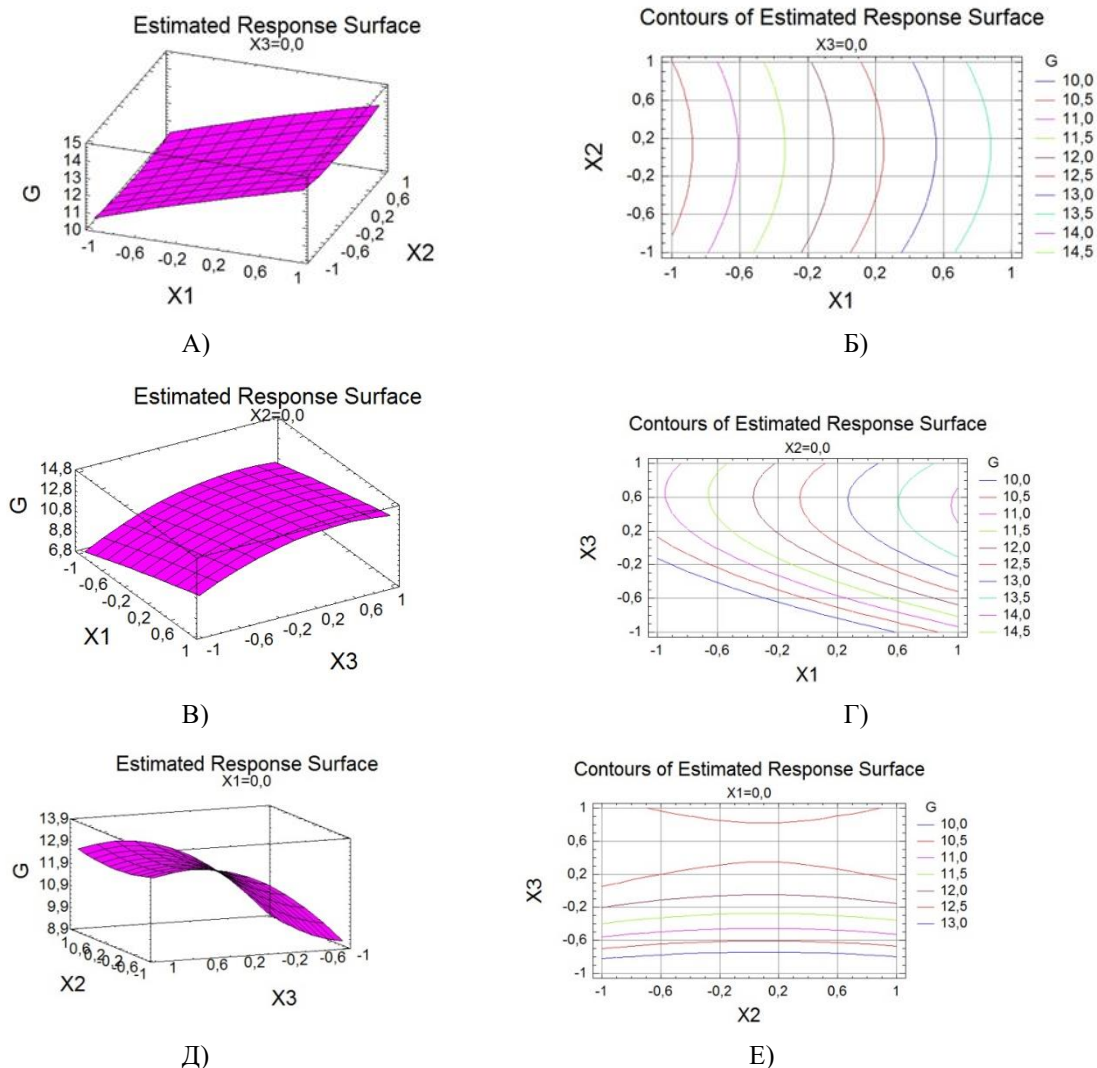


Рисунок 4.2 – Тривимірні перетини та контурні криві цільової функції $G(X_1, X_2, X_3)$:

a – тривимірна поверхня міцності G для факторів X_1, X_2 при $X_3=0$; b – контурні криві цільової функції G для факторів X_1, X_2 при $X_3=0$; c – тривимірна поверхня міцності G для факторів X_1, X_3 при $X_2=0$; d – контурні криві цільової функції G для факторів X_1, X_3 при $X_2=0$; e – тривимірна поверхня міцності G для факторів X_2, X_3 при $X_1=0$; f – контурні криві цільової функції G для факторів X_2, X_3 при $X_1=0$

А критичний радіус зародків твердої фази зменшується. Внаслідок цього, число контактів зрощування мікрокристалів зростає, і вони в результаті втрати надлишкової води та інтенсивного обростання новими гідратними утвореннями зміцнюються [8]. Відповідно зростає міцність кристалічної ґратки. Але в рецептурах золових термостійких тампонажних композицій при максимальному вмісті золи висококальцієвої (60 – 70 %) прямо пропорційна залежність міцності від впливу умов тужавіння цементу спостерігається до певного критичного значення температури. Це зумовлено особливістю гідратації золових сумішей. При високих температурах (100 °C і вищих) гідратні новоутворення таких композицій стають термодинамічно нестійкими.

За гіперповерхнями простежується зростання залежності $G(X_1)$ при практично будь-яких

значеннях фактора X_2 . Це свідчить про значимість фактора вмісту висококальцієвої золи (X_1) і відносну незначимість фактора водосумішевого відношення (X_2). Це підтверджується Паретто-графіком.

Фізично вплив водосумішевого відношення пояснюється тим, що надлишкова вода при змішуванні не бере участь у гідратації портландцементних зерен і залишається у вигляді вільної води, що і призводить до зниження міцності.

Як бачимо з аналізу гіперповерхні $G(X_2, X_3)$, міцність каменю експоненційно залежить від температури (фактор X_3). При цьому, як і у випадку гіперповерхні $G(X_2, X_1)$, фактор X_2 суттєво не впливає на міцність каменю.

Аналіз гіперповерхні $G(X_1, X_3)$ показує ті ж тенденції – по-перше, міцність G прямо пропорційно збільшується залежно від фактора X_1 ,

по-друге, і на цій гіперповерхні чітко простежується експоненційна залежність $G(X_3)$.

Контурні криві цільової функції G для факторів X_1, X_2, X_3 показують, що факторний простір не включає екстремуми поверхонь $G(X_1, X_3)$, $G(X_2, X_3)$, $G(X_1, X_2)$. Тільки у випадку $G(X_1, X_3)$ оптимум простежується в області X_1 більше 1 при $X_3 \approx 0,6$. Саме ця область і виділяється як перспективна для подальших досліджень, які будуть продовжені.

ВИСНОВКИ

Комплекс виконаних нами досліджень дозволив установити, що суміші золи висококальцієвої, яка містить в'язучу основу – вільні оксиди кальцію і золи кислоти, в якій міститься активний кремнезем, можуть бути основою термостійких тампонажних матеріалів для цементування високотемпературних нафтових і газових свердловин.

Досліджено технологічні властивості оптимальних складів золувих сумішей. Камінь із золувих сумішей має високі показники міцності і міцності зчеплення з металом обсадних труб, низьку газопроникність, високу корозійну стійкість при знелуженні.

Одержано статистичну математичну модель міцності термостійкого каменю на основі сумішей золи висококальцієвої і золи кислоти залежно від вмісту компонентів у суміші та умов тужавіння.

З отриманих гіперповерхонь і контурних кривих визначено характер та ступінь впливу кожного з членів полінома на цільову функцію – міцність цементного каменю $G(X_1, X_2, X_3)$. Найбільш значимими є фактори X_1 – вміст в суміші золи висококальцієвої 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_3, X_1, X_2^2 .

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 цінність даної роботи полягає в тому, що проведено підбір оптимальних рецептур нових тампонажних матеріалів, призначених для застосування в складних гірничо-геологічних умовах.

Результати роботи мають практичне застосування при цементуванні нафтових і газових свердловин в складних гірничо-геологічних умовах (при високих пластових температурах) на геологорозвідувальних площах та промислових родовищах вуглеводневої сировини України.

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Данюшевский В.С. Проектирование оптимальных составов тампонажных цементов / В.С. Данюшевский. – Москва: Недра, 1978. – 293

с.

2. Крепление высокотемпературных скважин в коррозионно-активных средах / [В.М. Кравцов, Ю.С. Кузнецов, М.Р. Мавлютов, Ф.А. и др.]. – Москва: Недра, 1987. – 192 с.

3. Шадрин Л.Н. Регулирование свойств тампонажных растворов при цементировании скважин / Л.Н. Шадрин. – Москва: Недра, 1969. – 240 с.

4. Гамзатов С.И. Применение вяжущих веществ в нефтяных и газовых скважинах / С.И. Гамзатов. – М.: Недра, 1985. – 148 с.

5. Мачинский Е.К. Многокомпонентные смеси для цементирования скважин / Е.К. Мачинский // Бурение скважин и разработка нефтяных месторождений: (сб. научн. трудов ГрозНИИ). – 1960. – № 6. – С. 113 – 121.

6. Бандур Р.В. Проблема подбора рецептура тампонажных розчинів для заданих вибійних умов / Р.В. Бандур, О.В. Лужаниця, С.Г. Михайленко [та ін.] // Питання розвитку газової промисловості України: (зб. наук. робіт УкрНДІгаз). – Харків, 2005. – С. 135 – 137.

7. Каримов Н.Х. Вяжущие материалы, изготавливаемые из промышленных отходов, и их применение при креплении скважин / Н.Х. Каримов, Б.Н. Хахаев, В.С. Данюшевский // Бурение: И.О. – Москва: ВНИИОЭНГ. – 1982. – 48 с.

8. Горський В.Ф. Тампонажні матеріали і розчини / В.Ф. Горський. – Чернівці: 2006. – 524 с.

9. Булатов А.И. Цементы для цементирования глубоких скважин / А.И. Булатов. – Москва: Гостехиздат, 1962. – 202 с.

10. Булатов А.И. Цементирование глубоких скважин / А.И. Булатов. – Москва: Недра, 1964. – 298 с.

11. Мачинский Е.К. Цементно-песчаные растворы для тампонажа скважин / Е.К. Мачинский, А.И. Булатов. – Грозный: Чечено-Ингушское кн. изд-во, 1960. – 91 с.

12. Мачинский Е.К. Шлакопесчаные безобжиговые цементы для тампонажа скважин с забойными температурами до 200 °С / Е.К. Мачинский, А.И. Булатов, А.И. Стафикуло // Нефтяное хозяйство. – 1958. – № 4. – С. 7 – 9.

13. Мачинский Е.К. Тампонажные свойства шлаковых смесей при температуре 100 – 130 °С / Е.К. Мачинский, И.С. Финогенов // Нефтепромысловое дело. – 1961. – № 2. – С. 13 – 15.

14. Мачинский Е.К. Исследование тампонажных цементов для глубоких скважин с большими забойными температурами и давлениями / Е.К. Мачинский, И.С. Федулова // Нефтепромысловое дело. – 1961. – № 12. – С. 11 – 14.

15. Криулин В.Н. Использование отвального электротермофосфорного шлака / В.Н. Криулин, Т.А. Федулова // Цемент. – 1987. – № 1. – С. 18.

16. Зельцер П.Я. Цементирование скважин цемента-зольными тампонажными растворами /

П.Я. Зельцер, А.М. Бережной, И.С. Илованский // Серия "Бурение": РНТС. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1971. – Вып. 6. – С. 10 – 12.

17. Behsted John. Oil Well cements / John Behsted // Cement and Ind. – 1983. – № 20. – Р. 16 – 17.

18. Nelson Erik B. Portland cements characterized valued / Erik B. Nelson // Oil and Gas Journal. – 1983. – № 6. – Р. 81.

19. Михайленко С.Г. Оптимизация процессов цементирования скважин / С.Г. Михайленко, А.С. Серяков, В.Н. Орловский [и др.] // Техника и технология геологоразведочных работ, организация производства: О.И. – Москва: ВИЭМС. – 1988. – 26 с.

20. Крых Б.В. Повышение термостойкости тампонажных портландцементов добавками золы-уноса / Б.В. Крых // Термо- и солеустойчивые промывочные жидкости и тампонажные растворы: тезисы докладов Первой Украинской научно-техн. конференции. – Киев: Наукова думка, 1970. – Часть 1. – 168 с.

21. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов / П.И. Боженов. – Ленинград: Стройиздат, 1978. – 367 с.

22. Орловський В.М. Тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні : Монографія / В.М. Орловський. – Полтава, 2015. – 129 с.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Мета – розробленні термостійкого тампонажного матеріалу автоклавного тужавіння з високими експлуатаційними властивостями для цементування високотемпературних свердловин в складних гірничо-геологічних умовах на нафтових і газових родовищах та геологорозвідувальних площах України.

Методика. При проведенні досліджень використано теоретичні й експериментальні методи. Експерименти проведено на лабораторному обладнанні, яке моделює пластові умови. Вимірювання технологічних властивостей тампонажного розчину та утвореного каменю проводилось з використанням стандартного лабораторного обладнання. Зокрема густина тампонажних розчинів визначалась з допомогою пікнометра, водосумішеве відношення розчинів підбиралось за допомогою конуса розтічності КР-1, водовідділення розчинів визначалось за стандартною методикою згідно ДСТУ БВ.2.7-86-99, час загуснення розчинів визначався на консистометрі КЦ-3, для вивчення адгезії використовувався лабораторний прес ПСУ-10 з гідравлічним приводом і спеціальна приставка, визначення границь міцності каменю при вигині проводилось згідно ДСТУ БВ.2.7-86-99 на приладі для випробування зразків-балочок на розтягування при вигині, при стискуванні – на пресі ПСУ-10. Кількість проведених експериментів достатня для одержання результатів з довірчою вірогідністю 0,95.

Результати. Створено і досліджено термостійкий тампонажний матеріал автоклавного тужавіння на основі висококальцієвої і кислото-зол-виносу ТЕС. Одержано статистичну математичну модель міцності термостійкого каменю на основі сумішей золи висококальцієвої і золи кислото 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 оптимальних рецептур нових термостійких тампонажних матеріалів, призначених для застосування в складних гірничо-геологічних умовах.

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 провінцій України.

Ключові слова: цементування свердловин, термостійкий тампонажний цемент, термостійкість цементного каменю, міцність цементного каменю, адгезія.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Цель – разработка термостойкого тампонажного материала автоклавного схватывания с высокими эксплуатационными свойствами для цементирования высокотемпературных скважин в сложных горно-геологических условиях на нефтяных и газовых месторождениях и геологоразведочных площадях Украины.

Методика. При проведении исследований использованы теоретические и экспериментальные методы. Эксперименты проведены на лабораторном оборудовании, моделирующем пластовые условия. Измерение технологических свойств тампонажного раствора и образовавшегося камня производилось с использованием стандартного лабораторного оборудования. В частности, плотность тампонажных растворов определялась с помощью пикнометра, водосмесевое отношение растворов подбиралось с помощью конуса растечности КР-1, водоотделение растворов определялось по стандартной методике согласно ДСТУ БВ.2.7-86-99, время загустения растворов определялось на консистометре КЦ-3. использовался лабораторный пресс ПСУ-10 с гидравлическим приводом и специальная приставка, определение границ прочности камня при изгибе проводилось согласно ДСТУ БВ.2.7-86-99 на приборе для испытания образцов-балочек на растяжение при изгибе, при сжатии – на прессе ПСУ-10. Количество проведенных экспериментов достаточно для получения результатов с доверительной вероятностью 0,95.

Результаты. Созданы и исследованы термостойкий тампонажный материал автоклавного схватывания на основе высококальциевой и кислой зол-выноса ТЭС. Получена статистическая математическая модель прочности термостойкого камня на основе смесей высококальциевой и золы кислой золы в зависимости от содержания компонентов в смеси и условий схватывания. Полученная математическая модель может быть использована для инженерных оценок влияния прочностных факторов цементного камня и полностью подтверждается физико-химическими процессами, происходящими при твердении тампонажного раствора.

Научная новизна. Научная ценность данной работы состоит в том, что произведен подбор оптимальных рецептур новых термостойких тампонажных материалов, предназначенных для применения в сложных горно-геологических условиях.

Практическая значимость. Результаты работы имеют практическое применение в цементировании глубоких скважин на нефтяных и газовых месторождениях и геологоразведочных площадях в сложных горно-геологических условиях нефтегазовых провинций Украины.

Ключевые слова: *цементирование скважин, термостойкий тампонажный цемент, термостойкость цементного камня, прочность цементного камня, адгезия.*

ABOUT AUTHORS

В. М. Орловський канд. техн. наук, доцент Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, e-mail: svaroh13@ukr.net

Є. О. Суліма провідний інженер Український науково-дослідний інститут природних газів – УкрНДІгаз, e-mail: jane_13@mail.ua

К. М. Палєєва асистент Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, e-mail: kat.81p@gmail.com

А. В. Мележик здобувач вищої освіти Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, e-mail: lina.melehik@gmail.com



УДК 622.279.23/4:622.279.031:622.279.58+622.276.1/4

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВИЛУЧЕННЯ ГЕОТЕРМАЛЬНО-ВУГЛЕВОДНЕВОГО ФЛЮІДУ З НАФТОГАЗОКОНДЕНСАТНОГО ПОКЛАДУ

Фик М.І.

д.т.н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

GEOHERMAL WAY OF GREEN ENERGY IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Fyk M.I.

Dr. of t.eng., As. Proffesor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

ABSTRACT

Summary – Geothermal-hydrocarbon combined technology is considered as a priority in the transition to green types of energy in the oil and gas industry. Analytics are proposed for determining the parameter of the geothermal-hydrocarbon fluid recovery factor in an oil and gas field, the proportional dependence of the geothermal-hydrocarbon fluid recovery factor to the oil recovery factor has been established, which indicates the synergistic effect of dual heat and oil production, as well as the inverse-proportional relationship with idealized geometry has been analyzed. from time to time and areal thermal conductivity. The novelty of the proposed activation of synergetics is achieved by taking into account the conditions of the intensification technologies of the tertiary type, but of the thermochemical variety with the circulating circulation of the formation fluid, which is estimated for fluid recovery in energy units. Recommendations have been developed to minimize lost profits in the production of energy resources in oil and gas fields with time and the potential of heat inflow of mantle-thermal energy by artificially increasing the density and heat capacity of the formation fluid in the process of combined activation of geothermal heat recovery and the implementation of modern technologies for intensification of well oil and gas production.

Key words: Geothermal-hydrocarbon combined technology, geothermal-hydrocarbon fluid, energy

ВСТУП

Пізня та завершальна стадія розробки нафтогазових родовищ характеризується, після тривалих попередніх стадій – зрештою, нерентабельністю без продовження експлуатації свердловин за рахунок видобутку та забору геотермальної енергії Землі та цінних пластових вод. У принципі це можна назвати трендовим шляхом часткового або поетапного переходу нафтогазової енергетики в зелену енергетику. У зв'язку з цим виникають численні виклики та прогалини сучасної науки, розвитку техніки та імплементації перехідних технологій. Як завдання у цьому дослідженні обрано визначення та презентація наукової специфіки коефіцієнта вилучення геотермально-вуглеводневого (комплексного, дуально-сумісного)

флюїду з продуктивного пласта нафтогазоконденсатного родовища (НГКМ).

Збільшення коефіцієнта вилучення нафти (КВН) можна досягти різними методами збільшення нафтовіддачі (МЗН). Технології методів загалом поділяють на три основні категорії: теплові, газові та хімічні. Хімічні та теплові МЗН — перспективні та дуже ефективні технології з досить великою сферою застосування [1]. З хімічних відзначимо полімерне заводнення, витіснення нафти водними розчинами поверхнево-активних речовин (ПАР), лужне заводнення та спільне застосування луку, ПАР та полімеру (ASP заводнення — alkaline-surfactant-polymer flooding) [2]. Серед них технологія ASP заводнення відіграє

домінуючу роль (підвищення КВН на 10-25%). Теплові МЗН є домінантними технологіями для в'язких і важких нафт SAGD (Steam-Assisted-Gravity-Drainage) (підвищення КВН на 20-60%) [3]. Точніші цифри можна побачити в публікаціях про успішні впровадження зазначених МЗН на нафтових родовищах Вайт Касл (штат Луїзіана, США), Сент-Джозеф (Малайзія), Мармул (Італія), Леквайр (Оман), Яблунівка (Україна), Даквінг і Ксінджанг (Китай), Західно-Салимське і Ашальчинське (Росія), Ксінджанг (Китай), Колд Лейд Оріон (Канада), Оріноко Белт (Венесуела) та ін. Незважаючи на безліч тематичних публікацій, комплексній оцінці коефіцієнтів вилучення геотермально-вуглеводневих ресурсів приділена недостатня увага. Недостатньо пояснені причини залежності загальної продуктивності свердловин по вуглеводнях та теплу від теплоємності пластового флюїду за наявності оборотної циркуляції води та інших пластових рідин. Крім того, у спеціальній літературі відсутня теоретична база з визначенням ключових параметрів геотермально-вуглеводневого флюїдоотримання, яку доцільніше представляти в енергетичних одиницях.

Модель та методи

При одночасному застосуванні хімічних і теплових методів інтенсифікації свердловинного видобутку нафти обводнених свердловин враховується теплогідрравлічний баланс та особливості руху енергії та матерії, а продукція свердловини містить геотермальну енергію в суміші вуглеводнів з пластовою водою, що дає право розглядати комплексно і цілеспрямовано коефіцієнт вилучення такого пластового флюїду як енергоносія. Назвемо такий параметр коефіцієнтом флюїдовилучення геотермально-вуглеводневого флюїду K_{IT} . Унікальність полягає в тому, що накопичена і тепла енергія, що приходить, залежить від наявної динаміки маси (запасів) пластового флюїду, а видобуток геотермальної енергії в одиницях потужності (теплопродуктивність свердловини W_T) визначається за виразом [4]:

$$W_T = M_q \cdot C_p \cdot dT, \dots (1)$$

де M_q – масова витрата (дебіт за масою) геотермально-вуглеводневого флюїду, C_p – флюїду, C_p – теплоємність геотермального флюїду, dT – корисна утилізація температури при відборі теплової енергії споживачем.

При розрахунковому коефіцієнті вилучення нафти $K_{in} = M_{prod}/M_{st}$ загальний видобуток флюїду визначає і загальну кількість видобутого геотермального ресурсу (утилізованої теплової енергії E_t за період видобутку t)

$$E_t = W_T \cdot t = (M_{prod} \cdot C_{pn} + M_s \cdot C_{pe}) \cdot dT \quad (2)$$

Враховуючи статистично-доведений факт накопиченого видобутку пластової води за період розробки-експлуатації нафтового родовища M_s приблизно-рівний (і часто перевищує в кілька разів) накопичений видобуток нафти M_{prod} , а також меншу теплоємність нафт C_{pn} відносно теплоємностей пластових вод C_{pe} , приймаємо мінімальний коефіцієнт рівний 2-м аксіоматичним у записі (2) накопиченого видобутку теплової енергії E_t :

$$E_t = W_T \cdot t = 2 \cdot M_{prod} \cdot C_p \cdot dT \quad (3)$$

Результати та обговорення

Концептуальна схема отримання геотермальної енергії Землі в ході завершальної стадії нафтогазової експлуатації свердловин наведена на рис. 1.

З рисунка 1 видно, що частина свердловин у перехідний період та поступове обводнення продуктивної площі переводяться в нагнітальний фонд та фонд глибоких свердловин видобутку геотермальних вод. При цьому гідророзрив пластів проводиться за необхідністю як для збільшення КВН, так і припливу геотермальних вод до вибоїв. З рисунка видно, що цикл залишається закритим та безвідходним для екологічності модифікацій хімічних МЗН, оскільки блок 3 ізолює цикл циркуляції пластових та нагнітальних агентів 10-5-9-3-2-6 з боку генерації чистих та «зелених» енергій у блоці 4.

Коефіцієнт геотермально-вуглеводневого вилучення флюїду на нафтогазовому родовищі K_{IT} може бути визначений при первинному допущенні кулястої форми покладу як співвідношення видобутої теплової енергії E_t (одиниця виміру - Джоуль) до потенційно-можливого видобутку геотермальних ресурсів з початку розробки родовища E_{st} (одиниця виміру - Джоуль):

$$K_{IT} = E_t/E_{st} = 2 M_{prod} C_p dT/\lambda_{st} 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot dT_{pl} t \quad (4)$$

При вищевказаних припущеннях квадрат радіуса покладу-сфери R^2 може бути записаний через її об'єм $V=(4/3) \pi \cdot R^3$ виходячи зі стартової маси флюїду M_{st} (початкові запаси)

$$M_{st} = V \rho = (4/3) \pi \cdot R^3 \rho \Rightarrow R^2 = M_{st}/(4/3) \pi \cdot R \rho. \quad (5)$$

Інтегруючи (5) в (4) знаходимо шлях визначення коефіцієнта геотермально-вуглеводневого вилучення флюїду в обґрунтованому інженерному наближенні:

$$K_{IT} = 2 \cdot M_{prod} \cdot C_p \cdot dT \cdot (4/3) \cdot \pi \cdot R \cdot \rho / \lambda_{st} 4 \cdot M_{st} \pi \cdot dT_{pl} t = (2/3) \cdot K_{in} \cdot C_p \cdot R \cdot \rho (dT/dT_{pl}) / \lambda_{st} \cdot t \quad (6)$$

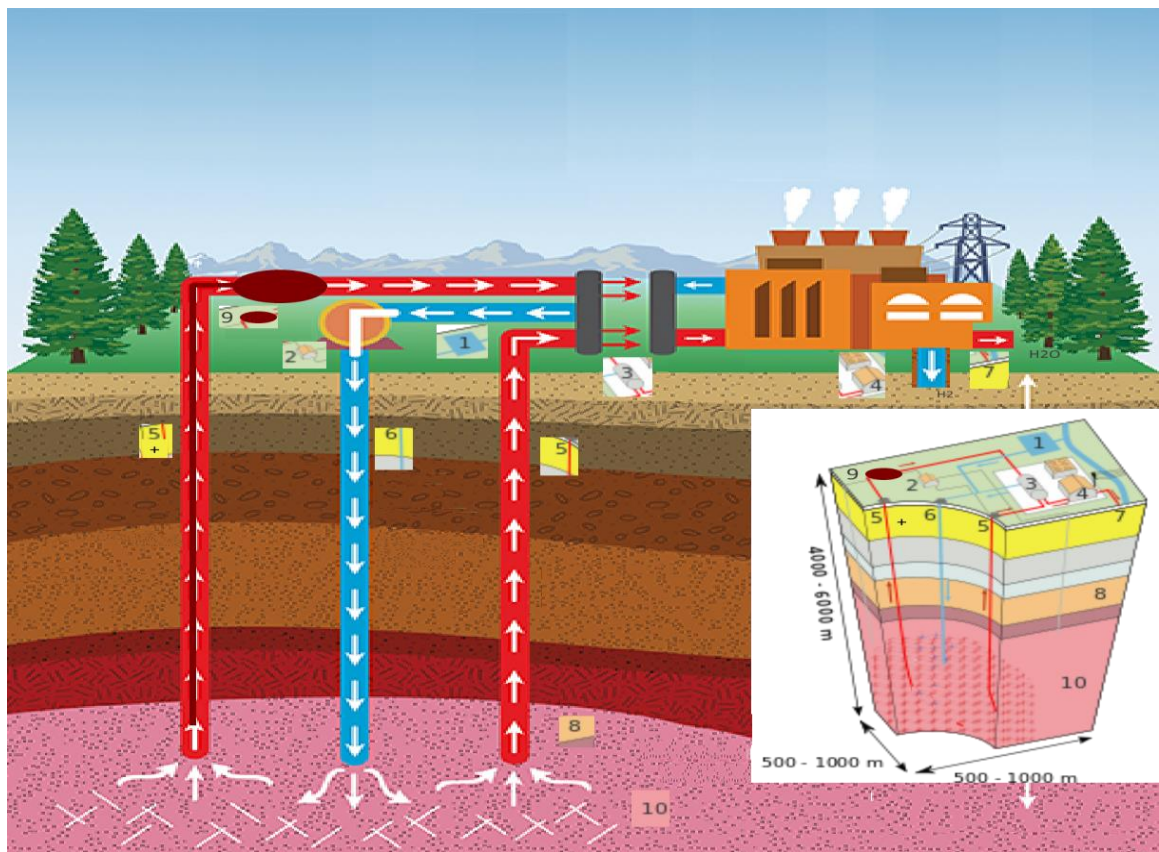


Рисунок. 1. Концептуальна схема вилучення геотермальної енергії Землі в ході перехідних та завершальної стадії нафтогазової експлуатації свердловин: 1 – резервуар живильник нагнітання-відстійник нафти; 2 – насосна станція; 3 – тепловий насос бінарного чи потрійного циклу з легкокиплячими рідинами; 4 – генератори тепла, холоду, водню та електроенергії; 5 – добувна нафтова свердловина; 5 – добувна свердловина пластової води; 6 – нагнітальна свердловина; 7 – пряма подача гарячої води для опалення та водню споживачам; 8 – проникний колектор; 9 – трифазний нафтогазовий сепаратор; 10 – колектор ущільнений після гідророзривів пласта.

Як видно з (6) K_{IT} пропорційний K_{in} , теплоємність C_p та густина флюїду ρ , радіус покладу збільшують K_{IT} , а реалізовану прибортову площадну теплопровідність λ_{st} і загальну можливу тривалість розробки нафтогазового родовища t – зменшують. Можна стверджувати про збільшення втраченої вигоди з часом t і зі збільшенням потенційного теплоприпливу мантийних теплових енергій від нереалізованих або неповною мірою реалізованих дуальних способів видобутку тепла та нафти. Так само стає очевидною перевага стратегії штучного збільшення густини та теплоємності при оборотній циркуляції рідин ASP та SAGD для максимізації K_{IT} . Безперечно, K_{IT} збільшується під час реалізації методів дуального видобутку зі збільшенням dT . У цьому випадку аналітикою (6) реалізується прозорий фізичний принцип компаративного типу для величини тепло-утилізації з градієнтом dT щодо тепло-вилучення з пограничних областей покладу з градієнтом dT_{pl} . Іншими словами – це означає покращення результатів свердловинного видобутку тепла зі збільшенням утилізації тієї геотермальної енергії, яка може бути вилучена в даних геолого-промислових умовах дуального видобутку за всіх

інших однакових умов. Вивірені параметри за розмірами та класичною теорією подібності (6) дозволяють рекомендувати введення параметра коефіцієнта геотермально-вуглеводневого вилучення флюїду з продуктивного пласта на нафтогазовому родовищі в обіг прикладної нафтогазової інженерії. Такий параметр відображає співвідношення енергетичних потоків «видобутого» на певний момент часу до «можливого» (в енергетичних одиницях), де «можливе» встановлюється та визначається відповідно до початкових запасів вуглеводнів та перспектив припливу відновлюваних «зелених» геотермальних ресурсів. Врахування умов вищевказаних різновидів технологій сучасної інтенсифікації свердловинного видобутку третинного типу впливає на сумарне вилучення енергоресурсів при тепло-хімічному впливі та оборотній циркуляції пластової рідини. Актуалізація розвитку та інтеграції «зелених технологій» у нафтогазовій індустрії показує перспективність подальшої роботи дослідників над уточненими рівняннями типу (6) для геологічно-реальних геометрій покладів, а також конкретизованих фізико-хімічних параметрів пластових флюїдів та вуглеводнів нафтогазових родовищ.

ВИСНОВКИ

1. У прикладну науку нафтогазової інженерії, для реалізації тренду переходу до «зеленої» геотермально-вуглеводневої концепції та стратегій «Нової енергії» у Світі, запропоновано введення параметра коефіцієнта геотермально-вуглеводного вилучення флюїду на нафтогазоконденсатному родовищі, що обґрунтовано потребою «зеленого» вилучення енергоресурсів із нафтогазових родовищ.

2. Показано пропорційну залежність коефіцієнта геотермально-вуглеводного вилучення флюїду до коефіцієнта вилучення нафти, що вказує на синергетичний ефект дуального видобутку тепла та нафти. Це зумовлює справедливості рекомендації уникнення втраченої вигоди шляхом реалізації спільного геотермально-вуглеводного флюїдовидобування та збільшення теплопродуктивності свердловин. Це реалізується при використанні технологічної специфіки розробленої схеми з поділом фонду та підключення свердловин для циркуляції геотермального теплоносія, відбору тепла та вилучення залишків вуглеводневої продукції.

3. Установлена обернено-пропорційна залежність коефіцієнта геотермально-вуглеводного вилучення флюїду при гіпотетичній кулястій геометрії від часу та площадної теплопровідності пристінкових областей покладу. При ASP та SAGD запропоновано шлях штучного збільшення густини та теплоємності пластових флюїдів, які показують аналітично-позитивний ефект на запропонований коефіцієнт за наявності оборотної циркуляції та тепло-утилізації.

ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

Як пріоритет в переходах до зелених різновидів енергетики нафтогазовидобувного сектору промисловості розглядається геотермально-вуглеводнева комбінована технологія вилучення флюїду з продуктивного покладу нафтогазоконденсатного родовища (НГКР). Запропонована аналітика визначення коефіцієнта вилучення геотермально-вуглеводного флюїду на нафтогазовому родовищі, встановлена пропорційна залежність коефіцієнта вилучення геотермально-вуглеводного флюїду до коефіцієнта вилучення нафти, що вказує на синергетичний ефект комбінованого та дуального видобутку тепла і нафти, а також проаналізована обернено-пропорційна залежність при ідеалізованій геометрії від часу і теплопровідності. Новизна запропонованої активізації синергетики досягається шляхом врахування умов технологій інтенсифікації третинного типу, але теплохімічного різновиду - при зворотній циркуляції пластової рідини, яка за дебітом оцінюється в енергетичних одиницях. Розроблено рекомендації мінімізації упущеної вигоди при видобутку енергоресурсів на нафтогазових родовищах з часом і потенціалом теплопритоку мантийно-теплових енергій шляхом штучного збільшення густини і теплоємності пластового флюїду в процесі суміщеної активації геотермальної теплоутилізації і реалізації сучасних технологій інтенсифікації свердловини видобутку нафти і газу.

Ключові слова: геотермально-вуглеводнева комбінована технологія, геотермально-вуглеводневий флюїд, енергія

REFERENCES / СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Petroleum Engineer's Guide to Oil Field Chemicals and Fluids (Second Edition), Chapter 16 - Enhanced oil recovery, Editor(s): Johannes Fink, Gulf Professional Publishing, 2015, Pages 477-565, ISBN 9780128037348, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803734-8.00016-3>.

2. Маркова, О. М. Успешное применение технологии ASP заводнения для повышения нефтеотдачи. Отечественный и зарубежный опыт / О. М. Маркова, А. А. Севастьянов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 46 (284). — С. 34-37. — URL: <https://moluch.ru/archive/284/63931/> (дата обращения: 16.09.2021).

3. Гильманов А. Я. Моделирование перспективных направлений применения технологий парогравитационного дренажа / А. Я. Гильманов, А. П. Шевелёв // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Том 4. № 1. С. 39-54. DOI: 10.21684/2411-7978-2018-4-1-39-54.

4. Fyk M. Resource evaluation of geothermal power plant under the conditions of carboniferous deposits usage in the Dnipro–Donetsk depression / M. Fyk, V. Biletskyi, M. Abboud // Ukrainian school of mining engineering. E3S Web of conferences. Volume 60, 00006. 2018. Berdiansk, Ukraine, September 4–8, – 2018. eISSN: 2267–1242.

ABSTRACT (IN RUSSIAN)

Как приоритет в переходах зеленых разновидностей энергетики нефтегазодобывающего сектора промышленности рассматривается геотермально-углеводородная комбинированная технология извлечения флюида из продуктивного положу нефтегазоконденсатного месторождения (НГКМ). Предложенная аналитика определение коэффициента извлечения геотермально-углеводородного флюида на нефтегазовом месторождении установлена пропорциональная зависимость коэффициента извлечения геотермально-углеводородного флюида до коэффициента извлечения нефти, что указывает на синергетический эффект комбинированного и дуального добычи тепла и нефти, а также проанализирована обратно пропорциональная зависимость при идеализированной геометрии от времени и теплопроводности. Новизна предложенной активизации синергетики достигается путем учета условий технологий интенсификации третичного типа, но теплохімічного разновидности – при обратной циркуляции пластовой жидкости, которая за дебитом оценивается в энергетических единицах. Разработаны рекомендации минимизации упущенной выгоды.

Ключевые слова: комбинированная геотермально-углеводородная технология, геотермально-углеводородный флюид, энергия.

ABOUT AUTHORS

Фик М.І., д.т.н., доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Наші автори:

В. Гнеушев, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, Україна.

В. Романова, аспірант, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна.

В. Білецький, доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", Харків, Україна.

М. Сокур, доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна.

М. Фик, доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.

Л. Шпильовий, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ.

К. Шпильовий, інженер, ТОВ «Азов-Мінералтехніка», Донське, Донецька область, Україна.

В. Орловський, кандидат технічних наук, доцент Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

Є. Суліма, провідний інженер Український науково-дослідний інститут природних газів – УкрНДІгаз.

К. Палесєва, асистент Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

А. Мележик, здобувач вищої освіти Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова.

Вимоги до статей

Нижче наведені основні вимоги, що висуваються до статей у журналі «Геотехнології».

До розгляду приймаються статті українською, англійською, польською чи російською мовою у форматі doc.

Обсяг статті (як правило) – від 3000 до 7500 слів.

Після проведення рецензування, у разі позитивного висновку, редактор надасть свої рекомендації які необхідно буде врахувати для доопрацювання статті перед її опублікуванням.

Стаття на рецензію подається в оригінальній формі (без особливих вимог до оформлення) у форматі doc, проте з **обов'язковим дотриманням структури статті**.

Структура статті:

- індекс УДК (у верхньому лівому кутку сторінки);
- ініціали, прізвища всіх авторів (не більше 8 осіб, у т.ч., не більше 4 з однієї організації)
- **Назва / Title** (не більше 15 слів)
- **Реферат / Abstract** (250-300 слів виключно загальноприйнятої термінології) повинен бути структурованим і містити наступні елементи: **Мета; Методика; Результати; Наукова новизна; Практична значимість; Ключові слова** (5-7 слів). Реферат не повинен повторювати назву статті. Всі пункти реферату є обов'язковими.

Основний текст статті повинен містити такі необхідні елементи:

- **Вступ / Introduction** (постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, формулювання мети статті та постановка завдання);
- **Методики / Methods** (структура, послідовність проведення дослідження);
- **Результати та Обговорення / Results and Discussion** (виклад основного матеріалу та отриманих наукових результатів). Результати та Обговорення можна виокремити у два підрозділи;
- **Висновки / Conclusions** (висновки повинні бути представлені у короткій формі, описуючи найважливіші результати роботи, а також погляди автора(-ів) на практичне застосування результатів);
- **Вдячність / Acknowledgements** (Вдячність: наприклад гранту; фонду (найменування, номер, тип проекту) науковцям за консультації. Назви організацій повинні бути написані повністю. Якщо результати статті отримані без підтримки будь-якого з проектів чи фінансування, то це також необхідно відзначити. Також Ви можете висловити вдячність організації, лабораторії, установі і т.д., які в тій чи іншій мірі причетні до публікації Вашої роботи).
- **Список літератури** повинен бути складений відповідно до правил APA (name-date method). Немає жодних обмежень до кількості посилань, проте не менше 15. Однак автори повинні робити посилання на публікації, які знаходяться в базі даних SCOPUS та/або Web of Science (не менше 60% від загального числа посилань). Самопосилання не повинні перевищувати 20 % від загального числа посилань.

У кінці статті подаються додаткові (розширені) дані про авторів).

Прохання підготувати всі рисунки в jpg і в графічному редакторі у форматі будь-якої векторної графіки cdr. або svg. Крім цього doc. формат перетворює формули на рисунки, відповідно всі формули необхідно набирати в редакторі формул Mathtype.

ЗМІСТ

<i>В.О. Гнеушев</i> Розробка торфових родовищ: екологічний аспект	1–5
<i>В.Романова, В.Білецький</i> Моделювання процесів видобування вуглеводневих флюїдів	6-13
<i>М. І. Сокур, В. С. Білецький</i> Дослідження енергоспоживання подробильно-збагачувальних фабрик	14-20
<i>Шпильовий Л. В. Шпильовий К. Л.</i> Сучасні технічні рішення переробки чорнових концентратів рідкіснометалічних руд	21-25
<i>В. М. Орловський, Є. О. Суліма, К. М Палеев, А. В. Мележик</i> Розробка термостійкого тампонажного матеріалу	26-35
<i>Фик М.І.</i> Визначення коефіцієнта вилучення геотермально-вуглеводневого флюїду з нафтогазоконденсатного покладу	36-40
Наші автори	41
Вимоги до статей	42



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 ukcdb@i.ua



ГЕОТЕХНОЛОГІЇ

Науково-технічний журнал

Число 4

Комп'ютерна верстка

Кущ А.І.

Обкладинка

Фик М.І.

Редактор випуску

Білецький В.С.

Рекомендовано до друку кафедрою «Видобування нафти, газу та конденсату»,

Протокол № 3 від 25 жовтня 2021р.

Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Підп.до друку оригінал-макета

Формат 60×84 1/16. Папір офісний.

Друк цифровий.Гарнітура Times. Ум.друк.арк. 6,0.

Обл.вид.арк. 8. Зам 0509-2021. Наклад 100 пр.