

- materials of the geological and economic assessment of titanium ore reserves of the Paromiv placer ilmenite deposit.] [in Ukrainian].
6. Protokol zasidannia Robochoyi hrupy Derzhavnoi sluzhby heolohii ta nadr Ukrainy z rozhliadu protokoliv Derzhavnoi komisii Ukrainy po zapasam korysnykh kopalyn vid 30.01.2020 № 161. [Minutes of the meeting of the Working Group of the State Service of Geology and Subsoil of Ukraine on consideration of the minutes of the State Commission of Ukraine on Mineral Reserves dated January 30, 2020 N 161.] [in Ukrainian].
 7. Vdovichenko, A.I. (2017). Perspektivy ispolzovaniya kompleksa s gidrotransportom kerna KGK-100 pri osvoyenii mestorozhdeniy yantarya. [Prospects for the use of the complex with hydraulic core transport KGK-100 in the development of amber deposits]. Proceedings from Innovative Development of the Mining Industry'17: II Mezhdunarodnaia nauchno-tehnicheskaya internet-konferentsiya – 2nd International Scientific and Technical Internet Conference. (pp. 108–109). Retrieved from: <http://www.knu.edu.ua/konferencii/mizhnarodna-naukovo-tehnichna-internet-konferenciya>. [in Russian].

УДК 622.248.33

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-40-53

А.К. Судаков^{1,2}, А.Ю. Дреус³, доктори технічних наук,
Д.А. Судакова¹, канд. техн. наук, **М.І. Кононов¹**

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: sudakovu@ukr.net

²Національний університет «Львівська політехніка» вул. Степана Бандери, 12,
79013, м. Львів, Україна, e-mail: zvdy.dept@lpnu.ua

³Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, пр. Гагаріна, 72,
49005, м. Дніпро, Україна, e-mail: dreus.a@dnu.dp.ua

СПОСОБИ ФОРМУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ, ОСНОВАНІ НА ЯВИЩІ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ТАМПОНАЖНОГО МАТЕРІАЛУ

На сьогоднішній день термопластичні матеріали не знаходять широкого застосування в якості тампонажних матеріалів через вади технологій, нестабільність фізико-механічних властивостей і, певною мірою, канцерогенність їх компонентів. Метою роботи є удосконалення технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин шляхом аналізу і узагальнення існуючих технологій ліквідації зон поглинання промивальної рідини в бурових свердловинах, з використанням тампонажних термопластичних матеріалів. Поставлені завдання вирішувалися комплексним методом дослідження, що включає аналіз і узагальнення літературних і патентних джерел, проведення аналітичних і експериментальних досліджень. Проведено обґрунтування можливості використання термопластичних матеріалів для ізоляції свердловин. Показано перспективи подальшого використання таких матеріалів.

Наукове значення роботи полягає в розвитку теорії та практики застосування тампонажних термопластичних матеріалів, тампонажний камінь яких утворюється за рахунок використання ефекту інверсного двофазного переходу агрегатного стану в'язкої речовини на полімерній основі.

Результати роботи створюють основу для розробки більш прогресивних технологій ліквідації зон поглинання свердловинної рідини; розробки нових матеріалів з використанням явища фазового переходу тампонажного матеріалу; виробництва нових тампонажних термопластичних матеріалів; розробки технологічного регламенту ізоляції поглинаючих горизонтів. Зокрема, результати аналізу і узагальнення способів формування ізоляційної оболонки, основаних на явищі фазового переходу тампонажного матеріалу, знайдуть практичне застосування у навчальному процесі при підготовці фахівців з буріння свердловин.

Ключові слова: буріння свердловин, поглинаючий горизонт, ізоляція, тампонажні матеріали.

Вступ

Процес буріння свердловин пов'язаний з геологічними ускладненнями. Найбільш частими видами ускладнень, що порушують технологію бурових робіт, є поглинання бурових розчинів. При цьому, щорічні витрати часу в загальному балансі на буріння зросли до 23 %, а фінансових коштів до 10 %. Підтвердженням вищесказаного можуть слугувати відомості, наведені (рис. 1) Ліпатовим А.В. – по Кулішевському родовищу, Рафієнко І.І. – по Білгородському залізородному родовищу, Тітковим Н.І. – по Донбасантрацитівському управлінню, Мехтієвим Е.Х. – по нафтових родовищах Азербайджану та ін. (табл. 1). Причому, не піддаються суворому обліку загальні витрати на ліквідацію поглинання промивальної рідини, в тому числі і повторного [1, 2].

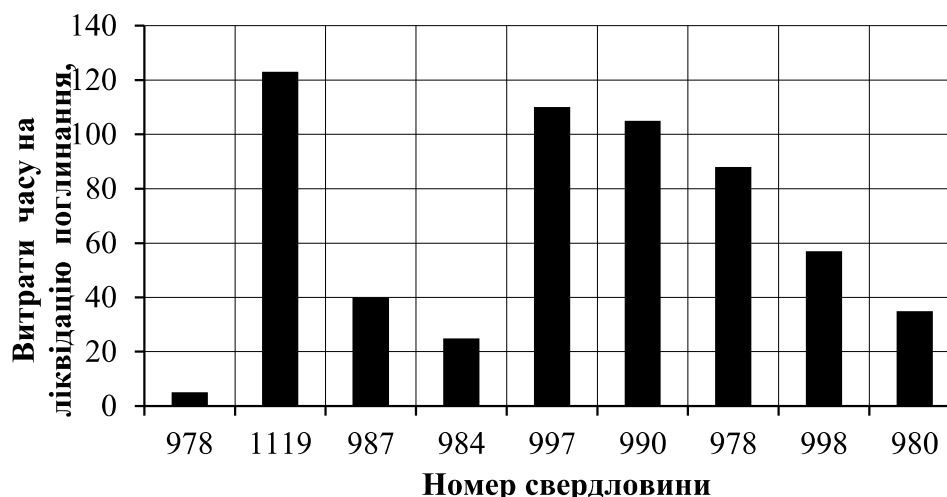


Рис. 1. Діаграма витрат часу на боротьбу з поглинаннями на Кулішевському родовищі (за Ліпатовим А.В.)

Аналіз останніх десятиліть показує, що ефективність традиційних методів боротьби з поглинаннями в середньому не перевищує 50 %.

Таблиця 1. Результати робіт з ліквідації поглинань промивальної рідини на Білгородському залізородному родовищі (за даними Рафієнко І.І.)

№ свердловини	Інтервал поглинання, м		Поглинаюча порода	Результат роботи
	від	до		
7	482,6	553,7	Вапняк	Не ліквідовано
43	488,3	509,2	Вапняк	Ліквідовано, використано 2,5 т цементу
75	482,4	549,0	Вапняк	Не ліквідовано, використано 28 т цементу
79	495,0	524,0	Вапняк	Ліквідовано обсадними трубами
173	486,5	519,1	Вапняк	Не ліквідовано, використано 19,4 т цементу
207	70,0	101,1	Мергель	Не ліквідовано, використано 10,7 т цементу
264	53,3	101,1	Крейда	Ліквідовано обсадними трубами

Автори [2], досліджуючи процес поглинання промивальних розчинів, сходяться на думці, що основними факторами виникнення поглинань у бурових свердловинах є:

1. Геологічні причини – розкриття проникного горизонту.

2. Технологічні причини – порушення гідравлічної рівноваги в системі свердловина-пласт, яке визначається такими чинниками:

- підвищенням щільності розчину в процесі буріння диспергованим у ньому шламом, кіркою, що руйнується, й уламками розбуреної породи, занадто великими, щоб бути винесеними на денну поверхню;
- збільшенням гідравлічних опорів при перебігу висхідного потоку на ділянці стовбура, який є звуженим внаслідок інтенсивного утворення кірки і сальників на стінках або інструменті;
- гідравлічними ударами, які обумовлені різким включенням бурового насоса з надмірним підвищенням продавочних тисків при відновленні циркуляції промивної рідини в свердловині;
- високими швидкостями спуску і підйому бурового снаряда в свердловині;
- зростанням продавочних тисків внаслідок підвищення в'язкості розчину і статичної напруги зсуву, а також через тіксотропне загустіння, зазвичай підсилене температурним фактором.

Аналіз технологій ліквідації поглинань промивальної рідини. На даний час існує велике різноманіття технологій і матеріалів для ліквідації поглинання промивальної рідини. Це пояснюється різноманітністю геолого-технічних умов їх застосування. Цим і обумовлені основні методи боротьби з поглинаннями промивальної рідини, а саме:

- регулювання властивостей промивальної рідини;
- усунення перепаду тиску в системі «свердловина – пласт»;
- перекриття інтервалів поглинання промивальної рідини колоною обсадних труб;
- тампонування каналів відходу промивальної рідини тампонажними матеріалами.

На кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» накопичено значний досвід розробки і впровадження у виробництво технологій попередження і ліквідації поглинаючих горизонтів. Упродовж низки років роботи виконували Бражененко А.М. [3], Пащенко О.В. [4], Мартиненко І.І. [5], Судаков А.К. [6].

Тому винятково важливе значення має питання аналізу та узагальнення способів формування ізоляційної оболонки, заснованих на явищі фазового переходу тампонажного матеріалу, та розробки на цій основі інноваційної технології ізоляції поглинаючих горизонтів з використанням більш ефективних тампонажних матеріалів.

Мета роботи – удосконалення технології ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин шляхом аналізу і узагальнення існуючих технологій ліквідації зон поглинання промивальної рідини в бурових свердловинах, з використанням тампонажних термопластичних матеріалів.

Результати та їх обговорення

Передумови розробки нетрадиційних технологій тампонування поглинаючих горизонтів [1, 7]. Для ліквідації поглинання промивальної рідини використовують два кардинальних підходи:

1. Перекриття проникних і нестійких горизонтів обсадними колонами як з виходом на денну поверхню, так і «впотай»;

2. Заповнення проникних горизонтів тампонажними розчинами.

Ізоляція зон поглинань промивальної рідини обсадними трубами є одним із найпоширеніших методів, що застосовуються в практиці буріння для ліквідації більшості видів ускладнень.

У перекриття обсадними колонами, незважаючи на високу якість проведення робіт, є істотні недоліки, які стримують застосування даних технологій при бурінні свердловин. Це пов'язано з тим, що технології обладнання обсадними колонами бурових свердловин дороги, матеріало- та трудомісткі, в більшості випадків вимагають закріплення затрубного простору тампонажними розчинами; при цьому застосування цих технологій не гарантує ізоляцію свердловини від проникних горизонтів.

Тому найбільш часто застосовують технології, основані на заповненні тампонажними розчинами поглинаючих горизонтів. Найбільшого поширення набули розчини, що базуються на утворенні тампонажного каменю або гелю за рахунок явища гідратації або полімеризації.

Формування тампонажного каменю, що основане на явищі гідратації. При ліквідації поглинання промивальної рідини знайшли застосування цементи та суміші на їх основі (БСС, сухі композити, гелцементи та ін.), а також гіпс, алебастр. Останні мають обмежене застосування. Перевага розчинів, тампонажний камінь яких отримують за рахунок явища гідратації, – це незначна їх вартість, технологічність виготовлення і застосування, можливість у широкому діапазоні змінювати властивості, доступність компонентів тампонажного розчину. Основними недоліками цих матеріалів є те, що вони багатокомпонентні, готуються на водній основі і, отже, мають велику чутливість до розведення водою.

В останні десятиліття в Україні, Казахстані та ін. країнах активно ведуться роботи з модернізації, вдосконалення цементних тампонажних розчинів. Свідченням цього є велика кількість виконаних науково-дослідних робіт. Але вони не вирішують головної проблеми – збіднювання тампонажного розчину пластовими водами.

Процес твердіння тампонажного розчину в поглинаючому горизонті відбувається в агресивних умовах. В результаті розчини легко перемішуються з промивальною рідиною і пластовими флюїдами, особливо за наявності міжпластових перетікань. Відбувається збіднювання, седиментація тампонажних розчинів, що веде до підвищення часу схоплювання, розтікання на значні відстані від свердловини і, як наслідок, перевитрат тампонажних матеріалів та необхідності повторення операцій з тампонування [1, 2, 7, 8].

Формування тампонажного каменю, що основане на явищі полімеризації. Основа більшості застосовуваних синтетичних матеріалів – карбамідні смоли і латекси. Для затвердіння смол застосовують органічні та мінеральні кислоти (щавлеву, соляну й ін.), а латекси добре поєднуються з цементними розчинами і гіпсоцементними сумішами.

Переваги та недоліки синтетичних матеріалів, а також технології транспортування по стовбуру свердловини, задавлювання і процеси при твердінні в поглинаючому горизонті аналогічні розчинам і способам формування тампонажного каменю, основаного на явищі гідратації [7].

На наш погляд, розглянуті технології вичерпали свою можливість подальшого вдосконалення, тому єдиний шлях – це розробка і застосування для формування ізоляційних завіс технологій, основаних на матеріалах, що мають неводну основу й інші процеси формування тампонажного каменю. До таких технологій можна віднести технології утворення тампонажного каменю, що базуються на явищі фазового переходу.

Як альтернатива тампонажним розчинам на водній основі, що легко збіднюються пластовими водами, для ізоляції поглинаючих горизонтів були запропоновані термопластичні матеріали (ТПМ) з температурою плавлення 50 – 250 °С, розплав яких може легко проникати в канали поглинання промивальної рідини і тверднути там [1, 7].

До теперішнього часу у тампонажі гірських порід із ТПМ широке застосування знайшли лише нафтові бітуми [9]. При цьому бітум розігрівали на поверхні і в два етапи по колонах труб закачували в тріщинуватий горизонт. Цей спосіб не знайшов застосування, оскільки бітум дуже швидко застигає до непрокачаного стану; витрачається значна кількість часу на спуско-підйомні операції.

У розвідувальному бурінні спроби застосування бітуму були зроблені в 60-х роках ХХ століття Рафієнком І.І. [10]. Він розробив два способи тампонування поглинаючих горизонтів сумішами на бітумній основі. У першому випадку розігрітий бітум доставляли в спеціальному теплоізоляційному контейнері на колоні бурильних труб (рис. 2). Цей спосіб отримав застосування при невеликій глибині розташування зони поглинання (до 100 м). Недолік цього способу – це обмеженість об'єму контейнера, а також охолодження бітуму при тривалому спуску його в свердловину на трубах, внаслідок чого його неможливо видавити з контейнера за допомогою насоса; крім того, витрачається багато часу на спуск і підйом такого контейнера.

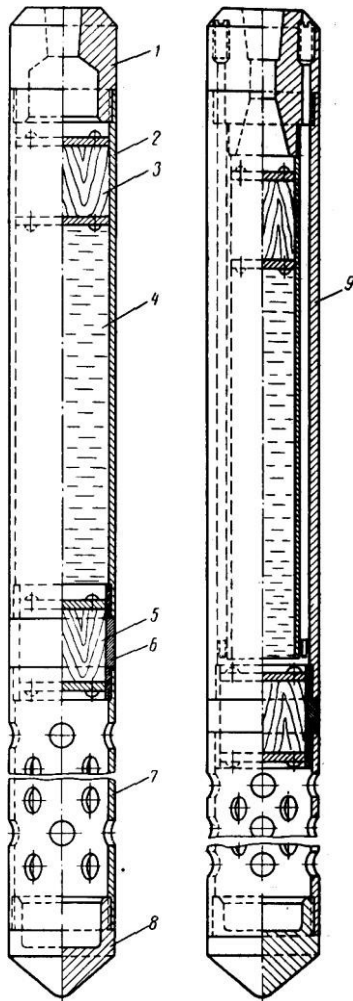


Рис. 2. Снаряди для доставки розплаву ТПМ у зону поглинання на трубах: 1 – перехідник; 2 – контейнер; 3 – верхня пробка; 4 – розплав ТПМ; 5 – нижня пробка; 6 – ніпель; 7 – розпилювач; 8 – напрямний конус; 9 – зовнішня труба

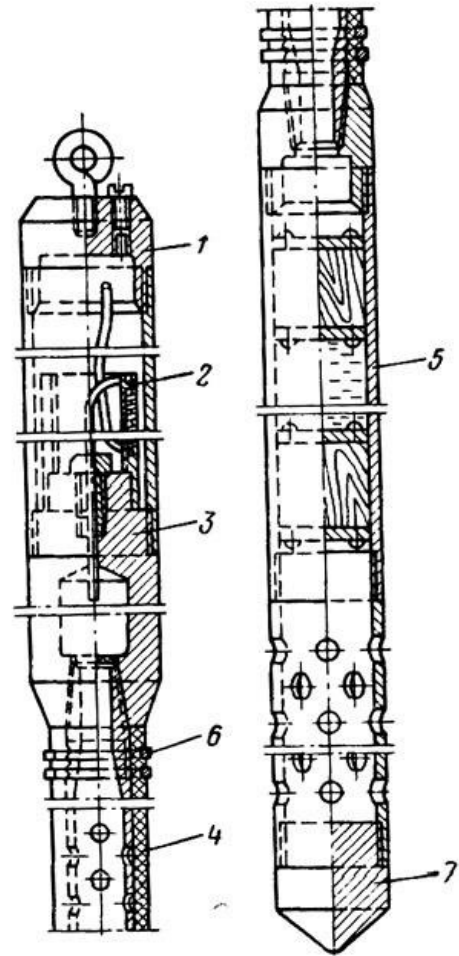


Рис. 3. Снаряд для тампонування поглинаючих горизонтів із застосуванням ефекту вибуху: 1 – спеціальний перехідник; 2 – камера горіння вогнепровідного шнура; 3 – вибухова камера; 4 – пакер; 5 – контейнер; 6 – розпилювач; 7 – напрямний конус

Найбільш оригінальним є спосіб доставки розплавленого бітуму в снаряді (рис. 3), що опускається на трасі, з вмонтованою вибуховою камерою. Але недоліком способу є підвищені вимоги до техніки безпеки і пожежної безпеки, пов'язані з застосуванням вибухових речовин, розігрівом у котлах термопластичної суміші та заповненням нею контейнерів безпосередньо на буровій; також, не виключена можливість спрацьовування снаряда в непередбаченому

інтервалі. Низька якість проведених робіт пов'язана з незначним проникненням тампонажного розчину в канали поглинання промивальної рідини.

Застосування нетвердіючих сумішей (НС), розроблених Мартиненко І.І. у 80–х роках у ПГО «Північукргеологія» на основі бітумів, які доставляли до поглинаючого горизонту в пакетах з подальшим їх розбурюванням спеціальним снарядом, так само не дало очікуваного ефекту [5, 9]. Через незначну глибину проникнення НС у тріщини і релаксації при виконанні наступних технологічних операцій у свердловині відбувається руйнування ізоляційної оболонки, що несе за собою відновлення поглинання промивальної рідини. Тому ці способи тампонування поглинаючих горизонтів не знайшли широкого застосування.

Крім бітуму, як тампонажні термопластичні матеріали використовуються різні полімери і мономери, що належать до групи термопластів. Термопласти характеризуються тим, що можуть плавитися при нагріванні та знову затвердівати при охолодженні. Цей процес може повторюватися багато разів, якщо нагрів не перевищує тієї межі, при якій полімер розкладається. В якості таких ТПМ можуть бути використані стирол, поліметакрилат, етилакрилат та ін. [1].

З метою усунення недоліків, властивих сумішам на бітумної основі, в Національному гірничому університеті під керівництвом Бражененка А.М. [6], і паралельно в Санкт-Петербурзькому державному гірничому інституті під керівництвом Литвиненка В.С. [11], були виконані роботи з розробки принципово нових нетрадиційних технологій тампонування поглинаючих горизонтів.

Відмінною особливістю запропонованих технологій є те, що ТПМ з низькою температурою плавлення доставляють у зону ускладнення в твердому гранульованому вигляді, де його нагрівають до рідкого стану вибійним тепловим джерелом з подальшим його задавлюванням у поровий простір поглинаючого або нестійкого горизонту.

У першому випадку [12– 14] запропоноване застосування сірки як ТПМ. Перевагою такої технології було використання інертного, незбіднюваного тампонажного матеріалу на основі сірки, що має високі фізико–механічні властивості, особливо в ранні терміни твердіння (охолодження). До недоліків можна віднести: високу вартість сірки, яка у 6 разів перевершує вартість тонни цементу (станом на 2020 р); відсутність надійних свердловинних засобів нагріву тампонажного матеріалу і задавлювання (транспортування) в поглинаючий горизонт розплаву ТПМ; значні часові витрати при плавленні ТПМ у свердловинних умовах; в даному випадку крихкість матеріалу ТПМ і використання як пластифікаторів токсичних матеріалів – нафталіну.

У другому [11] – органічні в'язучі на основі синтетичних термопластів, які дозволяють отримати міцне і недороге безтрубне кріплення. Поліетилен і поліпропілен не мають екологічних протипоказань при кріпленні та проведенні ізоляційних робіт у свердловині. Гранульовані композиційні склади з органічною матрицею і мінеральними наповнювачами відповідають умовам екологічно чистого безтрубного кріплення й ізоляції ускладнених інтервалів свердловин. Недоліки технологій: відсутність технічної інформації про розроблену технологію; значні часові витрати при плавленні ТПМ у свердловинних умовах, обумовлені великими тепловими втратами; запропоновані тампонажні матеріали багатокомпонентні, що тягне за собою попередню підготовку сумішей і, як наслідок, їх подорожчання.

На кафедрі нафтогазової інженерії та буріння НТУ «Дніпровська політехніка» запропонована нова ефективна технологія [15, 16] ліквідації поглинання промивальної рідини. Технологія передбачає криогенне (низькотемпературне) заморожування і тампонування гірської породи, що оточує свердловину (рис. 4).

Основною відмінністю запропонованої технології від відомих є те, що процес ізоляції проникного горизонту тампонажними сумішами здійснюється під захистом криогенного екрана, створеного в проникному горизонті за низькотемпературною технологією.

Енергоємність та ефективність технологічного процесу багато в чому визначається теплофізичними процесами при формуванні криогенного екрана [15].

Перевага запропонованої технології полягає в можливості створення малооб'ємної ізоляційної завіси за рахунок явища гідратації. До недоліків слід віднести підвищені вимоги техніки безпеки, пов'язані з застосуванням рідкого азоту. Із застосуванням даного способу ліквідації промивальної рідини ускладнюється технологія ізоляції. Це пов'язано з виконанням технологічних операцій з транспортування азоту, часткового розтеплення замерзлого горизонту, порціонної подачі тампонажного матеріалу. Контролювати процес заморожування і розтеплення при цій технології практично неможливо. Крім того, запропонована технологія невідпрацьована в свердловинних умовах – необхідне проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт.

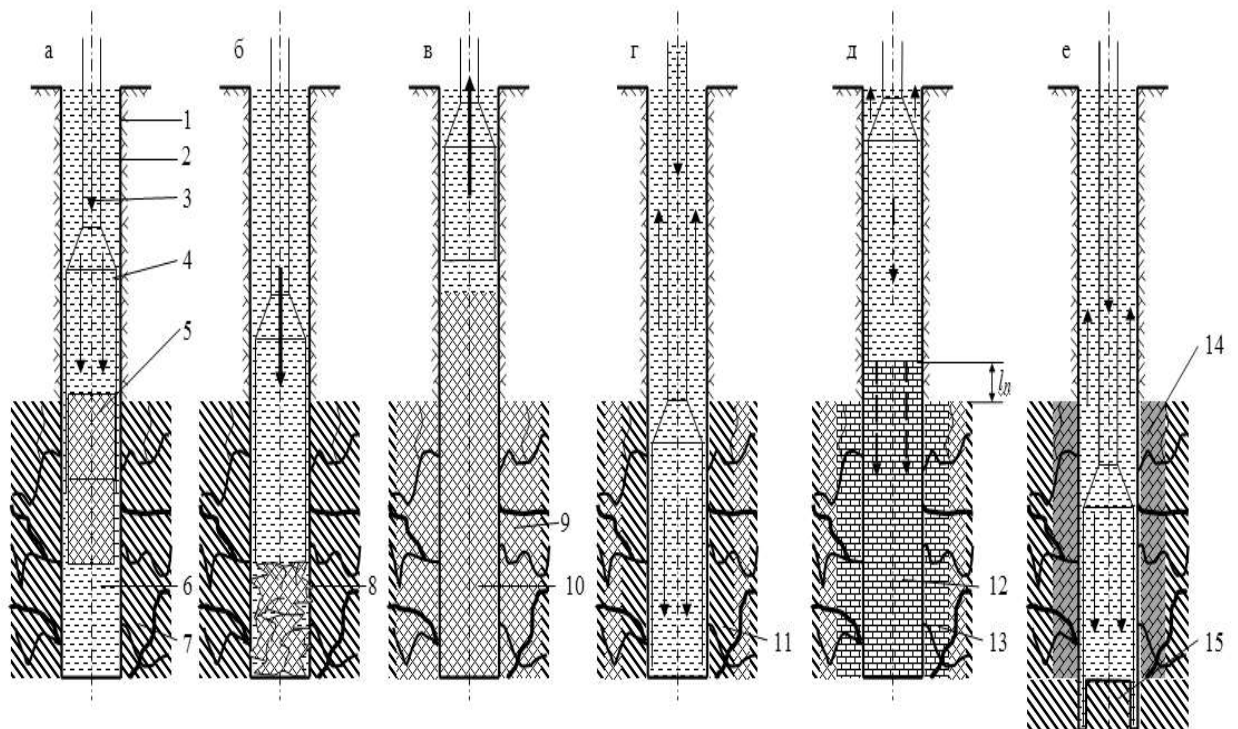


Рис. 4. Технологія ізоляції поглинаючих горизонтів: а – доставка в свердловину контейнерів з холодоагентом; б – руйнування контейнерів; в – формування криогенного екрана в зоні поглинання промивальної рідини; г – розбурювання льодово-піщаного композиту в свердловині з подальшим частковим розтепленням прониклого горизонту; д – задавлювання тампонажної суміші; е – буріння свердловини (1 – стінки свердловини; 2 – бурильна колона; 3 – промивальна рідина; 4 – колонкові труби; 5 – контейнери з холодоагентом; 6 – свердловина; 7 – поглинаючий горизонт; 8 – зруйновані контейнери; 9 – заморожений горизонт; 10 – заморожений стовбур свердловини; 11 – частково розтеплений горизонт; 12 – тампонажний розчин в стовбурі свердловини; 13 – тампонажний розчин в розтепленій зоні поглинаючого горизонту; 14 – тампонажний камінь; 15 – керн)

Надзвичайно цікавими з теоретичної та практичної точки зору є спеціальні способи ізоляції, що базуються на плавленні вміщуючих порід. Сутність цих методів ізоляції полягає в тому, що шляхом теплової дії на породи, які складають стінки свердловини, здійснюють їх розплавлення пенетратором. У подальшому при охолодженні розплавленої маси утворюється монолітна ізоляційна оболонка високої міцності.

Процес буріння плавленням визначається переважно теплофізичними властивостями гірської породи. Відмінними рисами цієї технології є висока концентрація на вибої свердловини теплової енергії й ефективна передача її породам з метою: забезпечення заданої швидкості плавлення; витиснення розплаву із зони вибою; формування на стінках свердловини монолітного і міцного осклілого шару [17].

Буріння свердловин методом плавлення дозволяє вирішувати завдання підтримки стійкості та закріплення стінок свердловини безпосередньо в процесі буріння шляхом створення за рахунок застигаючого розплаву міцного водонепроникного склоподібного шару. Водночас цей метод дозволяє спростити конструкцію свердловини, різко знизити витрату обсадних труб і тампонажних матеріалів, витрати часу і коштів на трудомісткі та дорогі роботи з кріплення свердловини обсадними колонами. Відсутність у свердловинах колон обсадних труб дозволяє підвищити результативність методів каротажу і свердловинної геофізики.

До недоліків даної технології відноситься те, що для її здійснення необхідні додаткові витрати, оскільки теплове джерело доставляється до вибою на колоні бурильних труб. Корпус робочої поверхні виконано з дорогого, дефіцитного матеріалу. Для досягнення ефекту плавлення гірської породи необхідні високі температури нагріву навколишнього середовища.

Але, при відповідному доопрацюванні, можливе застосування цих способів для ізоляції зон ускладнень у свердловинах.

З метою усунення недоліків, властивих технологіям застосування ТПКМ, авторами [18–24] розроблено нову технологію ізоляції поглинаючих горизонтів, засновану на застосуванні поліетилентерефталату (ТПКМ).

Відмінною особливістю розроблюваної технології є те, що ТПКМ, основою якого є побутові відходи, доставляється в зону ускладнення в брикетованому, твердому вигляді та плавиться під дією позитивних температур тертя, які створюються термомеханічним породоруйнівним інструментом, з одночасним витисненням розплаву композиту в поглинаючий горизонт, охолодженням і формуванням непроникної, малооб'ємної ізоляційної оболонки. При цьому є можливість, після зношення термофрикційної накладки, подальшого продовження процесу буріння тим же інструментом, без виконання СПО. Таким чином, для реалізації технології ізоляції поглинаючих горизонтів з використанням ТПКМ (рис. 5) необхідно:

- 1) визначити характеристики поглинаючого горизонту;
- 2) доставити на бурову відповідного діаметра і довжини ТПКМ;
- 3) транспортувати ТПКМ до поглинаючого горизонту (рис. 5, а);
- 4) доставити в зону ускладнення термомеханічний інструмент (рис. 5, б);
- 5) здійснити плавлення ТПКМ з одночасним витисненням розплаву в канали поглинання промивальної рідини (рис. 5, в, г).

При ізоляції поглинання:

- технологічні операції, що здійснюються в свердловинних умовах, виконуються без доливання промивальної рідини;
- попередження порушення цілісності стовбура свердловини в зоні ускладнення забезпечується перебуванням в інтервалі ТПКМ;
- ТПКМ циліндричної форми має зовнішній діаметр, близький до діаметра буріння по поглинаючому горизонту, і дорівнює $D_{ТПКМ} = d_{ni} - (1 \div 15)$ мм, де d_{ni} – діаметр породоруйнівного інструменту;
- термомеханічне плавлення ТПКМ виконується до тих пір, поки не буде розплавлений весь композит під торцем термомеханічного інструменту (рис. 5, д);
- термомеханічне плавлення ТПКМ забезпечується тертям з одночасним зношуванням термомеханічної насадки об абразивний композит;
- подальше буріння здійснюється після повного абразивного зносу термомеханічної насадки без заміни породоруйнівного інструменту.

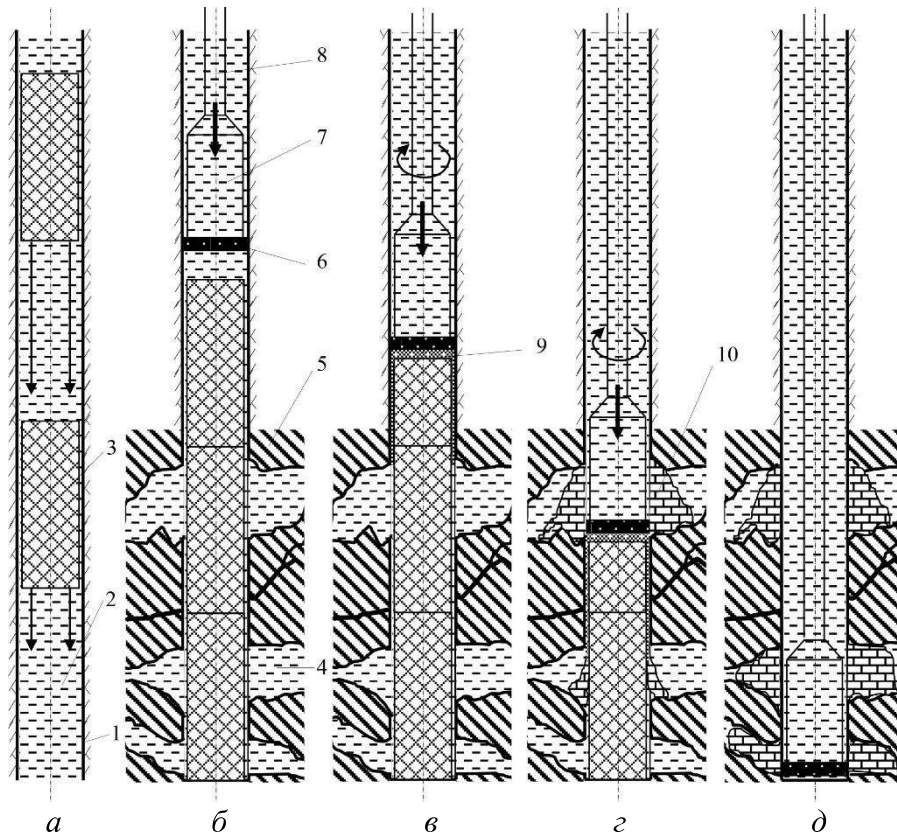


Рис. 5. Термомеханічний спосіб тампонування свердловин [25]: а – транспортування термопластичного матеріалу по стовбуру свердловини; б – транспортування інструменту по стовбуру свердловини; в – початок ліквідації ускладнення; г – плавлення термопластичного матеріалу з витисненням розплаву в канали поглинання промивальної рідини; д – закінчення операції – досягнення вибою (1 – стінки свердловини; 2 – свердловинна рідина; 3 – ТПКМ; 4 – канали поглинання промивальної рідини; 5 – тріщинуватий горизонт; 6 – термомеханічний інструмент; 7 – колонкова труба; 8 – колона бурільних труб; 9 – розплав ТПКМ; 10 – тампонажний камінь)

Контроль результатів ізоляції поглинаючого горизонту проводиться із застосуванням гідродинамічних методів. У разі позитивного результату триває буріння свердловини. При негативному результаті операції з тампонування поглинаючого горизонту повторюють.

До технічних переваг технології можна віднести:

- можливість керування технологічним процесом плавлення ТПКМ у зоні ускладнення;
- можливість ліквідації зависання (заклинювання) ТПКМ при транспортуванні по стовбуру свердловини;
- відсутність операції з видалення зі стовбура свердловини технологічного інструменту і, за рахунок цього, скорочення часових витрат.

Висновки

1. Отримала подальший розвиток теорія, що при бурінні в умовах тріщинуватих гірських порід застосування тампонажних сумішей на водній основі з використанням різних мінералов'язучих і синтетичних речовин досягло своєї межі досконалості. В останні десятиліття роботи з поліпшення властивостей тампонажних матеріалів зводилися до вирішення місцевих завдань, а не усунення головного недоліку – чутливості до розведення

водою. В результаті розведення свердловинною рідиною та флюїдом тампонажних сумішей на водній основі відбуваються їх седиментація, значні втрати тампонажних матеріалів і часу на усунення поглинання промивальної рідини і, загалом, здорожчання вартості свердловин більш ніж на 20%. Скоротити ці втрати можливо, якщо для створення ізоляційної оболонки канали поглинання заповнювати розплавом термопластичного матеріалу, який не розчиняється пластовими водами.

2. Обґрунтовано, що застосовувані на сьогоднішній день термопластичні матеріали через недосконалість технологій не знайшли широкого використання як тампонажні матеріали при ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин. Тому технологіям використання ТПМ та ТПКМ потрібне відповідне доопрацювання.

A. Sudakov^{1,2}, A. Dreus³, D. Sudakova¹, M. Kononov¹

¹*National technical university "Dnipro Polytechnic", Ukraine*

²*Lviv Polytechnic National University, Ukraine*

³*Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine*

THE APPROACHES TO FORMATION OF INSULATION SHELL USING THE PHASE TRANSITION OF PLUGGING MATERIAL

Nowadays, thermoplastic materials are not widely used as plugging materials due to technology flaws, unstable physical and mechanical properties and, to some extent, carcinogenicity of their components. The purpose of the work is improving of the technology of isolation of the drilling well horizons by analyzing and generalizing the existing technologies of elimination of the absorption fluid, using thermoplastic plugging materials. To solve the study tasks the complex approach, including the analysis and generalization of literary and patent sources as well as analytical and experimental research, was used. A theoretical substantiation of the possibility of using thermoplastic materials for well isolation has been carried out. The prospects for further use of such materials are shown.

Novelty is the development of the theory and practice of using plugging thermoplastic materials, with a plugging stone created due to the effect of the inverse two-phase transition of the polymer-based binder.

The results of the work create the basis for the development of more advanced technologies to eliminate well fluid absorption zones; development of new materials using the phenomenon of phase transition of plugging material; production of new plugging thermoplastic materials; development of technological regulations for the isolation of absorbing horizons. Also, the results of the work can be used for preparing specialists in drilling wells.

Key words: *drilling wells, horizon, isolation, melting, plugging materials.*

Література

1. Судаков А.К., Дзюбик А.Р., Кузін Ю.Л., Назар І.Б., Судакова Д.А. Ізоляція поглинаючих горизонтів бурових свердловин термопластичними матеріалами. – Дрогобич: Просвіт, 2019. – 182 с.
2. Липатов А.В., Ибятуллин И.М. Анализ фактически пробуренных скважин и подбор оптимального бурового раствора для вскрытия нестабильных обложений // Межотраслевой институт «Наука и образование». –2014. –Вып. 6. – С. 104–107.
3. Разработка и внедрение методов исследований и изоляции зон поглощений промывочных жидкостей в условиях Боржинковского участка. Отчет о НИР ДГИ № ГР 81042562. – Днепропетровск, 1983. – 128 с.
4. Пащенко А.В. Разработка рациональной технологии тампонирувания разведочных скважин в условиях Донбасса: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. наук: спец. 05.15.14 «Технология и техника геологоразведочных работ». – Днепропетровск, 1986. – 17 с.

5. Мартыненко И. И. Исследования, разработка и внедрение технологии ликвидации геологических осложнений тампонирующими смесями на битумной основе: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. наук: спец. 05.15.14 «Технология и техника геологоразведочных работ». – Днепропетровск, 1990. – 16 с.
6. Судаков А. К. Технология изоляции зон поглощения буровых скважин с применением термопластичных материалов: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10. – Днепропетровск, 2000. – 204 с.
7. Бражененко А.М., Гошовский С.В., Кожевников А.А., Мартыненко И.И., Судаков А.К. Тампонаж горных пород при бурении геологоразведочных скважин легкоплавкими материалами. – К.: УкрГГРИ, 2007. – 130 с.
8. Басарыгин Ю.М., Булатов А.И., Дадыка В.И. Материалы и реагенты для ремонтно-изоляционных работ в нефтяных и газовых скважинах. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 350 с.
9. Инструкция. Приготовление тампонирующей смеси НС-1 и изоляция поглощающих горизонтов: РД 41 УССР 29–86: Утв. Мин. Гео. УССР 07.05.86: Срок введения с 01.08.86. К.: Министерство геологии УССР, 1986. – 13 с.
10. Рафиенко И.И. Эффективные методы ликвидации поглощений промывочной жидкости при бурении. – М.: Недра, 1967. – 158 с.
11. Танинский П.Ю. Выбор легкоплавких связующих материалов для экологически чистого беструбного крепления скважин: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. наук: спец. 05.15.14 «Технология и техника геологоразведочных работ». – Санкт-Петербург, 2000. – 20 с.
12. Brazenienko A., Dudla N., Sudakow A., Zieba A. Nowa technologia izolacji horyzontow chlonnych. Praca zoztala zrealizowana w ramach badan statutowych // Zakladzie Wiertnictwa AGH. – 1997. – № 1.
13. Sudakov A., Khomenko O., Isakova M., Sudakova D. Concept of numerical experiment of isolation of absorptive horizons by thermoplastic materials // Scientific Bulletin of NMU. – 2016. – Vol. 5(155). P. 12–16.
14. Судаков А.К., Дреус А.Ю., Хоменко О.Е., Судакова Д.А. Теоретические основы технологии изоляции поглощающих горизонтов термопластичными материалами // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – Вып. 20. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – 20. С. 52–58.
15. Sudakov A., Dreus A., Khomenko O., Sudakova D. Analitic study of heat transfer in absorbing horizon of boreholes in the formation of protection cryogenic plugging material // Scientific Bulletin of NMU. – 2017. N 3(159). – P. 38–42.
16. Судаков А.К., Кузин Ю.Л., Судакова Д.А. Криогенная технология изоляции поглощающих горизонтов // Вісті Донецького гірничого інституту. –2016. – Вип. 1(24). – С. 3–6.
17. Литвиненко В.С., Кудряшов Б.Б., Чистяков В.К. Бурение скважин в условиях изменения агрегатного состояния горных пород. М.: Недра, 1991. – 284 с.
18. Судакова Д.А. Нетрадиционная технология борьбы с поглощением буровых растворов в скважинах // Вісті Донецького гірничого інституту. –2017. – № 1(40). – С. 227–233.
19. Кузин Ю.Л., Судакова Д.А. О возможности применения бытовых отходов для изоляции поглощающих горизонтов буровых скважин. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – Вып. 19. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2016. – С. 92–96.

20. Isakova M., Sudakova D. Thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. The 11th International Forum for Students and Young Researchers, (Dnipropetrovsk, april 2016). – Dnipropetrovsk: NGU, 2016. – P. 62.
21. Sudakov A., Dreus A., Sudakova D., Khamininch O. The study of melting process of the new plugging material at thermomechanical isolation technology of permeable horizons of mine opening // E3S Web of Conferences. – 2018. – Vol. 60. – P. 1–10: doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000027>.
22. Судакова Д.А. Механические свойства тампонажного термопластичного материала на основе полиэтилентерефталата. // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2017. – № 2. – С. 107–116.
23. Судакова Д.А. Результаты стендовых исследований термомеханической технологии изоляции поглощающих горизонтов тампонажными термопластичными композиционными материалами. // Збірка наукових праць Національного гірничого університету. – 2018. – № 54. – С. 285–296.
24. Кузін Ю. Л., Судакова Д.А. Термомеханічний спосіб тампонування проникних горизонтів бурових свердловин. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. Сб. науч. тр. – Вып. 20. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2017. – С. 98–102.
25. Судакова Д.А. Обгрунтування параметрів ізоляції поглинаючих горизонтів бурових свердловин: автореф. дис. на здобув. наук. ступ. канд. техн. наук: спец 05.15.10 «Буріння свердловин» – Івано-Франківськ, 2018 – 20 с.

Надійшла 08.08.22

References

1. Sudakov, A.K., Dziubyk, A.R., Kuzin, Yu.L., et al. (2019). *Izoliatsiia pohlynaiuchykh horyzontiv burovyykh sverdlovyn termoplastychnymy materialamy [Insulation of absorbing horizons of boreholes with thermoplastic materials]*. Drohoych: Prosvit. [in Ukrainian].
2. Lipatov, A. V., & Ibyatullin, I. M. (2014). Analiz fakticheski proburenykh skvazhin i podbor optimalnogo burovogo rastvora dlia vskrytiia nestabilnykh oblozhenii [Analysis of actually drilled wells and selection of the optimal drilling fluid for the opening of unstable deposits]. *Mezhotraslevoj institut «Nauka i obrazovanie» – Inter-industry Institute «Science and Education»*, 6, 104–107 [in Russian].
3. Razrabotka i vnedrenie metodov issledovaniia i izoliatsii zon pogloshchenia promyvochnykh zhidkosti v usloviyakh Borzhinkovskogo uchastka [Development and implementation of methods for researching and isolating the absorption zones of flushing fluids in the conditions of the Borzhinkovsky site] (Report on the research work of the DGI No. GR 81042562). (1983). DGI. [in Russian].
4. Pashchenko, A.V. (1986). Razrabotka ratsionalnoi tekhnologii tamponirovaniia razvedochnykh skvazhin v usloviakh Donbassa [Development of a rational technology for plugging exploratory wells in the conditions of Donbass]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Dnepropetrovsk [in Russian].
5. Martynenko, I. I. (1990). Issledovaniia, razrabotka i vnedrenie tekhnologii likvidatsii heolohicheskikh oslozhenii tamponiruiushchimi smesiami na bitumnoi osnove [Research, development and implementation of technology for the elimination of geological complications by plugging mixtures on a bitumen basis]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Dnepropetrovsk [in Russian].
6. Sudakov, A. K. (2000). Tekhnologhiia izoliatsii zon pohloshcheniia burovyykh skvazhin s primeneniem termoplastichnykh materialov [Technology for isolating loss zones in

- boreholes using thermoplastic materials]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Dnepropetrovsk [in Russian].
7. Brazhenenko, A. M., Goshovskii, S. V., Kozhevnikov, A. A., et al. (2007). *Tamponazh hornykh porod pri burenii heolohorazvedochnykh skvazhin legkoplavkimi materialami* [Cementing of rocks when drilling exploration wells with fusible materials]. Kiev: UkrGGRI [in Russian].
 8. Basarygin, Yu.M., Bulatov, A. I., & Dadyka, V. I. (2004). *Materialy i reagenty dlia remontno–izolyatsionnykh rabot v nefnianykh i hazovykh skvazhinakh* [Materials and reagents for repair and insulation works in oil and gas wells]. Moskva: Nedra–Biznestsentr [in Russian].
 9. *Instruktsiia. Prihotovlenie tamponiruiushchei smesi NS–1 i izolyatsiia pohloshchaiushchikh horizontov* [Instruction. Preparation of plugging mixture NS-1 and isolation of absorbing horizons]. (RD 41 USSR 29–86). (1986). Ministerstvo heolohii USSR.
 10. Rafienko, I.I. (1967). *Effektivnye metody likvidatsii pohloshchenii promyvochnoi zhidkosti pri burenii* [Efficient Methods to Eliminate Fluid Losses While Drilling]. Moskva: Nedra [in Russian].
 11. Taninskii P.Yu. (2000). *Vybor lehkoplavkikh sviazuyushchikh materialov dlia ekologicheskii chistoho bestrubnogo krepleniia skvazhin* [The choice of fusible binders for environmentally friendly pipeless well casing] *Extended abstract of candidate's thesis*. Sankt-Peterburh [in Russian].
 12. Brazenienko, A., Dudla, N., Sudakow, A., & Zieba A. (1997). *Nowa tecnologia izolacji horyzontow chlonnych. Praca zoctala zrealizowana w ramach badan statutowych* [New technology of insulating absorbent horizons. The work was carried out as part of statutory research]. *Zakladzie Wiertnictwa AGH – The AGH UST Drilling Plant, 1* [in Polish].
 13. Sudakov, A., Khomenko, O., Isakova, M., & Sudakova, D. (2016). Concept of numerical experiment of isolation of absorptive horizons by thermoplastic materials. *Scientific Bulletin of NMU, 5(155)*, 12–16.
 14. Sudakov, A. K., Dreus, A. Yu., Homenko, O. E., & Sudakova, D. A. (2017). *Teoreticheskie osnovy tekhnologii izolyatsii pohloshchaiushchikh gorizontov termoplastichnymi materialami* [Theoretical foundations of the technology of isolation of absorbing horizons with thermoplastic materials]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiiia ego izgotovleniia i primeniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications, 20*, 52–58 [in Russian].
 15. Sudakov, A., Dreus, A., Khomenko, O., & Sudakova, D. (2017). Analytic study of heat transfer in absorbing horizon of boreholes in the formation of protection cryogenic plugging material. *Scientific Bulletin of NMU, 3(159)*, 38–42.
 16. Sudakov, A. K., Kuzin, Yu. L., & Sudakova, D. A. (2016). *Kriohennaia tekhnologiiia izoliatsii pohloshchaiushchikh gorizontov* [Cryogenic technology of isolation of absorbing horizons]. *Visti Donetskoho hirnychoho institutu – Proceedings of the Donetsk Mining Institute, 1(24)*, 3–6. [in Russian].
 17. Litvinenko, V. S., Kudryashov, B. B., & Chistiakov, V. K. (1991). *Burenii skvazhin v usloviiah izmeneniia agregatnogo sostoyaniya gornykh porod* [Drilling of wells in conditions of changes in the state of aggregation of rocks]. Moskva: Nedra [in Russian].
 18. Sudakova, D. A. (2017). *Netraditsionnaia tekhnologiiia borby s pohloshcheniem burovykh rastvorov v skvazhinakh* [Unconventional lost circulation technology in wells]. *Visti Donetskoho hirnychoho institutu – Proceedings of the Donetsk Mining Institute, 1(40)*, 227–233 [in Russian].

19. Kuzin, Yu. L., & Sudakova, D. A. (2016). O vozmozhnosti primeneniia bytovykh otkhodov dlia izolyatsii pohloshchayushchikh gorizontov burovykh skvazhin [On the possibility of using household waste to isolate absorbing horizons of boreholes]. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 19, 92–96. [in Russian].
20. Isakova, M. & Sudakova, D. (2016). Thermoplastic materials on the basis of polyethyleneterephthalate. Proceedings from *11nd International Forum for Students and Young Researchers (april 2016)*. (p. 62). Dnepropetrovsk: NGU.
21. Sudakov, A., Dreus, A., Sudakova, D., & Khamininch O. (2018). The study of melting process of the new plugging material at thermomechanical isolation technology of permeable horizons of mine opening. Proceedings from *E3S Web of Conferences*. (vol. 60, pp. 1–10): doi: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000027>.
22. Sudakova, D. A. (2017). Mekhanicheskie svoistva tamponazhnoho termoplastichnoho materiala na osnove polietilentereftalata [Mechanical properties of grouting thermoplastic material based on polyethylene terephthalate]. *Visti Donetskoho hirnychoho institutu – Proceedings of the Donetsk Mining Institute*, 2, 107–116 [in Russian].
23. Sudakova, D. A. (2018). Rezultaty stendovykh issledovaniy termomekhanicheskoi tekhnologii izolyatsii pohloshchayushchikh gorizontov tamponazhnimi termoplastichnymi kompozitsionnymi materialami [The results of bench studies of thermomechanical technology for isolating absorbing horizons with backfill thermoplastic composite materials]. *Zbirka naukovikh prats Natsionalnoho hirnychoho universitetu – Collection of scientific works of the National Mining University*, 54, 285–296 [in Russian].
24. Kuzin, Yu. L., & Sudakova, D. A. (2017). Termomekhanichni sposib tamponuvannia pronyknykh horyzontiv burovykh sverdlovyh. *Porodorazrushaiushchii i metalloobrabatyvaiushchii instrument – tekhnika i tekhnologiia ego izgotovleniia i primeneniia – Rock Destruction and Metal-Working Tools – Techniques and Technology of the Tool Production and Applications*, 20, 98–102 [in Ukrainian].
25. Sudakova, D.A. (2018). Obhruntuvannia parametriv izoliatsii pohlynaiuchykh horyzontiv burovykh sverdlovyh [Justification of the isolation parameters of absorbing horizons of boreholes]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Ivano-Frankivsk [in Ukrainian].

УДК 622.243.95

DOI: 10.33839/2708-731X-25-1-53-65

А.О. Ігнатов, канд. техн. наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: A_3000@i.ua*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РЕАЛІЗАЦІЇ ГІДРОМЕХАНІЧНОГО СПОСОБУ БУРІННЯ

Розглянуто сучасні напрямки проведення дослідницьких та конструкторських робіт в області широкого впровадження в бурову справу елементів фізичних способів руйнування гірського масиву. Відносно особливостей структурно-технічного виконання окремих вузлів розглянутих пристроїв, висвітлено основні технологічні чинники їх раціонального функціонування в різних свердловинних умовах. Детальними дослідженнями переконливо доведено існування тісного зв'язку між фактором наявності для осьового навантаження на породоруйнівний інструмент динамічної складової та можливою інтенсифікацією руйнівних процесів. Конкретними прикладами показано провідну роль