

628.11  
C89

Міністерство освіти і науки України

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

*СУДАКОВ АНДРІЙ КОСТЯНТИНОВИЧ*



УДК 622.233:551.49

**НАУКОВІ ОСНОВИ  
ТЕХНОЛОГІЇ ОБЛАДНАННЯ БУРОВИХ СВЕРДЛОВИН  
КРІОГЕННО-ГРАВІЙНИМИ ФІЛЬТРАМИ**

05.15.10 - Буріння свердловин

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Івано-Франківськ-2014

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Державному вищому навчальному закладі "Національний гірничий університет" (м. Дніпропетровськ), Міністерство освіти і науки України.

**Науковий консультант:**

доктор технічних наук, професор

**Кожевников Анатолій Олександрович,**

Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет" (м. Дніпропетровськ), професор кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор

**Чудик Ігор Іванович,**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри буріння нафтових і газових свердловин;

доктор технічних наук, професор

**Калініченко Олег Іванович,**

Державний вищий навчальний заклад "Донецький національний технічний університет", професор кафедри технології і техніки буріння свердловин;

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**Бондаренко Микола Олександрович,**

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля (м. Київ), виконуючий обов'язки завідувача лабораторії.

Захист відбудеться "16" жовтня 2014 р. в 14<sup>30</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий "29" серпня 2014 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



І.М. Ковбасюк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У бурових свердловинах різного призначення на воду, нафту, газ і при підземному вилуговуванні рух флюїдів здійснюють: в прямому (зі свердловини), в зворотному (у свердловину) і реверсивному напрямках (свердловини підземних сховищ газу). На увесь період експлуатації свердловини стінки її в межах продуктивного пласта мають бути стійкими. Це досягається установкою у свердловині фільтру, призначення якого полягає в збереженні стінок свердловин від обвалення і в очищенні флюїдів, що поступають на денну поверхню, від твердих домішок.

Залежно від розміру часток гірської породи продуктивного пласта конструкції фільтрів можуть застосовуватися від найпростіших - трубчастих з перфорацією або каркасно-стержневих до найскладніших - гравійних. Гравійні фільтри застосовують у свердловинах, коли продуктивний пласт представлено пісками, причому, якщо піски середньозернисті, то рекомендується фільтр з одношаровим гравійним обсіпанням, якщо піски дрібнозернисті, то фільтр рекомендується багатшаровий (двох-, тришаровий).

Гравійні фільтри існують двох конструкцій і технологій виготовлення. У першому варіанті гравійний фільтр створюється на денній поверхні і в готовому виді опускається у свердловину. У другому варіанті у свердловину після спуску каркаса фільтрової колони, доставляється рихлий гравійний матеріал. Обидві конструкції і технології їх створення мають свої переваги і недоліки. Істотними недоліками цих технологій є їх складність і дорожняча виконання технологічних операцій.

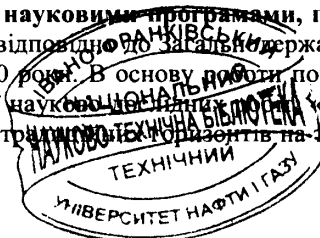
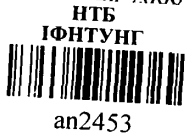
Ця проблема є актуальною при організації господарсько-питного водопостачання як в Україні так і у всьому світі. Ще ніколи проблема питної води не стояла перед людством так гостро, як останніми роками. В ознаменування офіційного визнання значення водних проблем Генеральна Асамблея ООН проголосила період 2005-2015 років міжнародним десятиліттям "Вода для життя".

Проблема питної води у світі набуває все більшої гостроти. Це пов'язано з тим, що практично усі прісні джерела стали в тій або іншій мірі забрудненими продуктами життєдіяльності людини.

Вихід один - буріння гідрогеологічних свердловин. Більше 60% свердловин на воду створюються у водоносних горизонтах, представлених рихлими відкладеннями.

Вирішенню цієї великої і актуальної наукової проблеми, що полягає в науковому обґрунтуванні параметрів ефективної технології створення гравійних фільтрів бурових свердловин, продуктивна частина яких представлена тонкозернистими пісками та має важливе практичне значення, і присвячена дисертаційна робота.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційну роботу виконано відповідно до загальнодержавної програми «Питна вода України на 2006 - 2020 роки». В основу роботи покладено дослідження, виконані в рамках наукової теми «Вивчення особливостей реєстрації горизонтів на території Одеської, Микола-



a. 2453

ївської і Херсонської областей і розробка раціональних технологій і конструкцій гідрогеологічних свердловин для локального водопостачання» (№ держреєстрації 0104U003053); «Наукове обґрунтування параметрів конструкції, технологій виготовлення і обладнання бурових свердловин кріогенно-гравійними фільтрами» (№ держреєстрації 0107U000369).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є розвиток теорії і розробка рекомендацій зі створення ефективної технології обладнання бурових свердловин гравійними фільтрами з попереднім омонолічуванням гравійного матеріалу на денній поверхні в блоки, з наступним розмонолічуванням в привибійній зоні свердловини за рахунок використання ефекту інверсного двофазного переходу агрегатного стану мінералов'язучої речовини на водній основі.

Поставлена мета досягається шляхом вирішення таких завдань:

1. Розроблення і обґрунтування нетрадиційної технології обладнання бурових свердловин гравійними фільтрами в тонкозернистих пісках.

2. Обґрунтування і вибір рецептури мінералов'язучої речовини і кріогенно-гравійного композиту для виготовлення кріогенно-гравійного фільтру.

3. Дослідження впливу рецептури мінералов'язучої речовини на фізико-механічні властивості матеріалу кріогенно-гравійного фільтру.

4. Розроблення і обґрунтування технології виготовлення кріогенно-гравійних елементів фільтру.

5. Розроблення математичної моделі процесів теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі кріогенно-гравійного елемента при обладнанні бурової свердловини кріогенно-гравійним фільтром.

6. Експериментальні стендові дослідження і встановлення впливу параметрів технології транспортування кріогенно-гравійного фільтру по стовбуру свердловини на глибину його спуску.

7. Дослідно-промислова перевірка розробленої технології обладнання бурових свердловин кріогенно-гравійними фільтрами.

8. Розроблення методичних рекомендацій з визначення параметрів технології обладнання бурових свердловин кріогенно-гравійними фільтрами.

*Ідея роботи* - використання ефекту інверсного двофазного переходу агрегатного стану мінералов'язучої речовини на водній основі під періодичною дією мінусових і плюсових температур.

*Об'єкт дослідження* - процеси виготовлення кріогенно-гравійного елемента і транспортування кріогенно-гравійного фільтру по стовбуру бурової свердловини.

*Предмет дослідження* - параметри технологічних процесів виготовлення кріогенно-гравійних елементів і транспортування кріогенно-гравійних фільтрів по стовбуру бурової свердловини.

**Методи досліджень.** Для досліджень речового складу кріогенно-гравійного композиту застосовувалися методи: аналізу і узагальнення науково-технічних досягнень в різних областях народного господарства; математичного, фізичного моделювань, числові методи рішення.

Експериментальні дослідження виконано з використанням положень загальної теорії наукового експерименту і теорії випадкових процесів.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Уперше обґрунтовано застосування для омонолічування рихлого гравійного матеріалу в блокову конструкцію гравійного фільтру бурової свердловини мінералов'язучої речовини на водній основі, що містить органічний полімер – харчовий желатин.

2. Уперше обґрунтовано можливість обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин, в тонкозернистих пісках, кріогенно-гравійними фільтрами за запропонованою технологією.

3. Уперше розроблено математичні моделі теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі кріогенно-гравійного елемента фільтру процесів його заморожування і розтавлення в повітряному і водному середовищах.

4. Уперше встановлено залежність максимальної довжини кріогенно-гравійної секції фільтру від масової концентрації мінералов'язучої речовини і температури оточуючого середовища.

5. Уперше встановлено залежність зміни температурного поля кріогенно-гравійного елемента фільтру від швидкості спуску фільтру і співвідношення площ фільтру і кільцевого зафільтрового простору.

### *Наукові положення, що виносяться на захист:*

1. Висока якість гравійного фільтру з рихлим обсіпанням в бурових свердловинах досягається застосуванням технології, що включає попереднє омонолічування гравійного матеріалу на денній поверхні, з наступним розмонолічуванням при доставці в привибійну зону свердловини з використанням ефекту двофазного інверсного переходу агрегатного стану мінералов'язучої речовини, з рідкого в тверде при омонолічуванні за рахунок дії негативних температур штучного або природного холоду і з твердого в рідке при розмонолічуванні при дії плюсових температур свердловинної рідини;

2. Максимальна довжина інтервалу транспортування кріогенно-гравійного фільтру по стовбуру бурової свердловини в рідині зворотнопропційна довжині кріогенно-гравійної секції фільтру.

### **Практичне значення одержаних результатів** полягає в:

– розробці обґрунтованих рекомендацій з вибору параметрів технологій обладнання гідрогеологічних свердловин кріогенно-гравійними фільтрами;

– розробці вдосконаленої класифікації технологій обладнання бурових свердловин гравійними фільтрами;

– розробках на рівні винаходів (пат. України №№ 18663, 35854, 35852, 36308, 37193, 39691, 87993, 88569, 88726, 89261)-принципово нових технологій обладнання продуктивної частини бурових свердловин гравійними фільтрами, впровадження яких в порівнянні з традиційними технологіями понизило вартість обладнання свердловини на 6,138÷7,911 тис. грн. при її глибині до 100 м;

– розробці класифікації мінералов'язучих речовин гравійних фільтрів бурових свердловин;

– розробці програм і методик дослідження реологічних властивостей кріогенно-гравійного композиту; теплофізичних досліджень процесів теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі експериментального кріогенно-гравійного елемента фільтру за наявності фазових переходів мінера-

лов'язучої речовини, при його заморожуванні і розтепленні в різних середовищах; моделювання в стендових умовах процесу транспортування криогенно-гравійного фільтру по стовбуру свердловини;

– розробці алгоритму і програмного забезпечення для моделювання процесів теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі криогенно-гравійного елемента фільтру за наявності фазових переходів при заморожуванні і розтепленні його в різних середовищах;

– використанні результатів досліджень в навчальному процесі при підготовці фахівців з буріння свердловин.

*Реалізація результатів досліджень.* Розроблені методики, технології і технічні засоби знайшли практичне застосування при дослідно–промисловому впровадженні технології обладнання гідрогеологічних свердловин криогенно–гравійними фільтрами в комерційних підприємствах: БК «Азовнерудгеологія» – в населених пунктах Балково Токмацького району Запорізької області і Миколаївка Васильківського району Дніпропетровської області; ТОВ Промислово–геологічної групи «Дніпрогідробуд» – в населених пунктах Жданівка і Личково Магдалинівського району, Мусівка Криворізького району Дніпропетровської області.

Методичні рекомендації з вибору параметрів технології обладнання гідрогеологічних свердловин криогенно–гравійними фільтрами прийняті КП «Південургелогія» до використання у виробничих умовах.

Результати досліджень використані в навчальному процесі при вивченні дисципліни «Буріння свердловин на воду» студентами спеціальності «Буріння свердловин» і слухачами курсів підвищення кваліфікації в Державному ВНЗ «Національний гірничий університет».

**Особистий внесок здобувача** полягає у визначенні наукової проблеми, ідеї й мети роботи, формулюванні задач досліджень, наукових положень та їх новизни, виборі методів дослідження, розробці експериментальних установок і стендів, проведенні експериментальних, стендових досліджень і обчислювальних експериментів для вирішення модельних задач. Розроблено критерії і здійснено вибір мінералов'язучої речовини криогенно-гравійного композиту фільтру.

Впровадження результатів дисертаційної роботи в практику буріння і обладнання гідрогеологічних свердловин відбувалося при безпосередній участі здобувача.

У надрукованих у співавторстві наукових працях автором: прийнято участь в зборі, обробці і аналізі технічної інформації, щодо технологій обладнання гравійними фільтрами бурових свердловин, написанні монографій [1, 2, 3]; розроблено математичні моделі і алгоритм числового рішення процесів теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі криогенно-гравійного елемента фільтру при його заморожуванні і розтепленні в процесі зборки на денній поверхні і транспортуванні фільтру по стовбуру свердловини [4, 7, 14, 21, 22, 32, 43, 44]; обґрунтовано і розроблено технології виготовлення і обладнання бурових свердловин гравійними фільтрами [8, 15, 17, 24-28, 33-37, 45]; проведено обробку і аналіз результатів лабораторних і стендових досліджень



[9, 13, 18, 19, 29-31, 38-41]; організовано, проведено, оброблено та проаналізовано результати дослідно-промислового впровадження технології обладнання бурових свердловин кріогенно-гравійними фільтрами [42]; розроблено класифікації способів створення гравійних фільтрів [16].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення, наукові і практичні результати дисертаційної роботи розглядалися: на науково-технічних радах Державної геологічної служби України (Київ, 2008 р.) і КП «Південукргеології» (Дніпропетровськ, 2008, 2009, 2013 р.р.); на щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Тиждень гірника» (Москва, 2007, 2008 р.р.); на щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2004–2013 р.р.), на VIII – XVI Міжнародних конференціях «Породоруйнівний і металообробний інструмент-техніка і технологія його виготовлення і застосування» (АР Крим, Морське, 2005–2013 р.р.), на Міжнародній науковій конференції «Прикладні проблеми аерогідромеханіки і тепломасопереносу» (Дніпропетровськ, 2008, 2012 р.р.), на щорічній Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації і трансфер технологій: від ідеї до прибутку» (Дніпропетровськ, 2013, 2014 р.р.), на VII Міжнародній науково-практичній конференції «Донбас–2020: перспективи розвитку очима молодих вчених» (Донецьк, 2014 р.).

**Публікації.** Основні наукові положення та результати дисертації опубліковані в 57 наукових працях, з них: 3 - монографії (1 - видана за кордоном); 30 - у спеціалізованих журналах (4 з яких входять в наукометричну базу Scopus, 6 - у спеціалізованих закордонних виданнях, 6 - без співавторів); 10 - патентів; 11 - доповідей і тез доповідей.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків і містить 415 сторінок машинописного тексту, у тому числі 130 рисунків (з них 69 на окремих аркушах), 32 таблиці, список використаної літератури з 221 найменування на 24 сторінках і 10 додатків на 103 сторінках.

Автор висловлює слова ширшої вдячності науковому консультанту доктору технічних наук, професору Кожевникову А.О., науковому співробітнику Лексикову О.А., іншим співробітникам кафедри техніки розвідки родовищ корисних копалин Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» та кандидату технічних наук Дреусу А.Ю. доценту кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара за наукові консультації та допомогу при проведенні досліджень.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету, основні завдання, ідею роботи, об'єкт, предмет, і методи досліджень, показано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено загальну характеристику роботи, відомості про особистий внесок автора і апробацію результатів роботи.

У першому розділі досліджено сучасний стан проблеми фільтробудування у бурових свердловинах. Дано оцінку технологіям їх спорудження.

Виконано аналіз геолого-технічних чинників, що характеризують необхідність обладнання бурових свердловин гравійними фільтрами.

Показано, що основні дослідження по визначенню області застосування гравійних фільтрів бурових свердловин, розрахунки і рекомендації по вибору їх параметрів, технології і технічних засобів створення гравійних фільтрів виконані Н.А. Карамбіровим, М.І. Кулічихініним, В.М. Гаврілко, В.В. Дубровським, В.С. Алексієвим, М.Г. Оноприєнко, Г.П. Квашніним, А.І. Дерев'яних, Д.М. Башкатовим, С.К. Абрамовим та ін.

Великий вклад в розробку технологій і техніки буріння, технологій обладнання фільтрами бурових свердловин внесли: Г.Е. Айрапетян, В.С. Алексієв, П.А. Анатольєвський, Б.В. Арестов, А.Д. Башкатов, В.М. Біляков, Р.Ф. Баджурян, О.Ф. Бикадоров, З.М. Вортман, Г.А. Волоховський, І.Я. Вальдман, П.С. Ваганов, В.В. Верстов, І.Ф. Володько, В.Т. Гребенников, Т.І. Гавіч, С.А. Грикевич, А.Д. Гуринович, А.С. Дерман, Е.Н. Дрягалін, С.Л. Драхліс, К.Б. Дмитрієв, М.Я. Єлісєєв, М.М. Керченський, А.В. Калинников, В.М. Касаткин, Г.П. Квашнін, А.О. Кожевников, А.М. Коломисць, Г.М. Краснощоков, В.А. Керимов, О.К. Кисельов, С.М. Кулієв, В.П. Логінов, М.В. Марков, Л.В. Макаров, А.В. Малоян, Ю.М. Носовський, В.С. Оводов, П.Е. Ожерельєв, Ю.А. Олоновський, М.Г. Оноприєнко, А.В. Панков, В.А. Попков, Ю.В. Пятикоп, Б.М. Ребрик, В.К. Роговой, В.В. Сафонов, Ю.І. Солов'їйов, О.К. Сомнов, Р.А. Станкевич, С.І. Стражгородський, Я.С. Суреньянц, В.П. Ткаченко, А.Т. Тєсля, М.І. Фазлулін, В.І. Фоменко, С.В. Шаравін, В.М. Шестаков, А.М. Яковлєв.

При свердловинному видобутку корисних копалин (вода, нафта, газ, уран та ін.) і створенні підземних сховищ газу використовують два основні види гравійних фільтрів: опускні, які зібрані на поверхні землі з наступною установкою їх у свердловинах в готовому виді, і створювані у свердловині за допомогою гравію, який засипається або закачується у свердловину по міжколонному простору.

При бурінні свердловин малих і середніх глибин успішно застосовуються гравійні фільтри з рихлим обсіпанням, яке створюється шляхом засипки гравію між труб.

При бурінні глибоких свердловин з малим кінцевим діаметром, а також при розкритті напірних водоносних горизонтів, які самовиливаються на поверхню землі, створення таких гравійних фільтрів стає ускладненим, а в деяких випадках і неможливим.



Крім того, технології їх створення мають ряд істотних недоліків :

- виробництво рихлих обсіпань вимагає необхідних технічних навичок і відповідної кваліфікації бурового персоналу, які часто порушують вимоги нормативних документів;
- значні витрати часу на транспортування гравійного матеріалу з денної поверхні в зону водоносного горизонту;
- якісне формування гравійного обсіпання вимагає складного поверхневого і вибійного устаткування і інструменту, що збільшує вартість робіт;
- розшарування гравійного матеріалу за розміром як по висоті, так і по діаметру створюваного гравійного обсіпання;
- зависання гравійного матеріалу на шляху транспортування з утворенням пробок, ліквідація яких вимагає додаткових витрат часу і засобів;
- утворення зяючих порожнин в гравійному обсіпанні в зоні водоносного горизонту, що призводять до піскування свердловини.

До опускаючих фільтрів відносять корзинчасті, кожушані і блокові фільтри, застосування яких також має ряд істотних недоліків. Корзинчасті і кожушані фільтри мають підвищений гідравлічний опір. В процесі експлуатації через електрохімічну реакцію фільтри схильні до швидкого заростання. При спуску вони деформуються, що призводить до утворення нерівномірного за товщиною гравійного шару, а іноді і до формування відкритих каналів і порожнеч.

У фільтрів блокового типу гравійне обсіпання зв'язане різними в'язучими речовинами. Такі блоки збирають на опорні перфоровані каркаси і опускають у свердловину в готовому виді.

На сьогодні гравійні фільтри блокової конструкції не відповідають вимогам, що пред'являються до них. Блоковим фільтрам небажані ударні навантаження, що викликають руйнування структури блоків. При виготовленні гравійних блоків в'язучі речовини повинні застосовуватися в таких кількостях, при яких відбувається з'єднання зерен гравію при збереженні необхідної ефективної пористості. На практиці блокові фільтри мають меншу проникність і великі гідравлічні опори в порівнянні з рихлим обсіпанням, яке складається із зерен того ж механічного складу. Введення в'язучих речовин веде до зниження ефективної пористості і зменшення розміру самих пір, що утворюються в тілі блоку. Це відбувається за рахунок або повного перекриття цілого ряду фільтраційних каналів клеєм або їх звуження. Крім того, в блокових фільтрах як в'язуче використовуються матеріали, що не відповідають вимогам санітарних норм і правил для свердловин питного водопостачання.

Для вирішення цієї проблеми необхідно вести пошук нових технологій створення гравійних фільтрів, заснованих на інших фізичних процесах і в'язучих матеріалах. До нових технологічних процесів створення гравійних фільтрів можуть бути віднесені методи, засновані на використанні ефекту двофазного інверсного переходу агрегатного стану мінералів'язучої речовини.

Тому в розділі розглянуті основи теоретичних досліджень заморожування і розтавлення крупнодисперсного водонасиченого середовища, описані законо-

мірності перенесення тепла в пористому водонасиченому тілі за наявності фазового переходу досліджуваної речовини.

У другому розділі розроблено і обґрунтовано нетрадиційну технологію обладнання бурових свердловин криогенно-гравійними фільтрами, обґрунтовано рецептуру мінералов'язучої речовини і криогенно-гравійного композиту для виготовлення криогенно-гравійного фільтру.

Розглянуто передумови обладнання бурових свердловин криогенно-гравійними фільтрами (КГФ), які можна розділити на геологічні і технологічні.

При аналізі геологічних передумов встановлено, що при підборі розміру гравію обсіпання користуються рекомендаціями для умов експлуатації нафтових і гідрогеологічних свердловин, з яких рекомендований діаметр гравію обсіпання знаходиться в широких межах, і може відрізнятися в рази.

Виходячи з існуючих рекомендацій для обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин, представленої дрібнозернистим піском, слід застосовувати трубчасті або стержневі фільтри з одношаровим, двох- або тришаровим гравійно-піщаним обсіпанням. Також допускається застосування блокових фільтрів.

З метою розширення сфери застосування гравійних фільтрів, а отже залучення для питного водопостачання більшого числа водоносних горизонтів, представлених тонкозернистими пісками, пропонується застосовувати КГФ, які мають діаметр часток обсіпання водоприймальної частини свердловин  $D_{50}$ , який дорівнює 0,5...0,75 мм.

Проведено районування підземних вод України з урахуванням глибин залягання і температурного чинника, отриманих Б.Л. Личковим, В.І. Лучицьким, К.І. Маковим, О.К. Ланге, Н.І. Толстіхіним, С.А. Рубаном і іншими дослідниками.

У ході районування встановлено, що температура вод пластів при глибинах свердловин до 250 м незалежно від пори року не перевищує  $+20^{\circ}\text{C}$ . З причини цього розробка параметрів технології обладнання бурових свердловин і конструкції КГФ велася для холодних свердловинних вод.

Технічними передумовами застосування КГФ є:

- використання штучного холоду. При цьому температура середовища, в якому відбувається заморожування КГФ, може змінюватися в діапазоні від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-20^{\circ}\text{C}$ ;

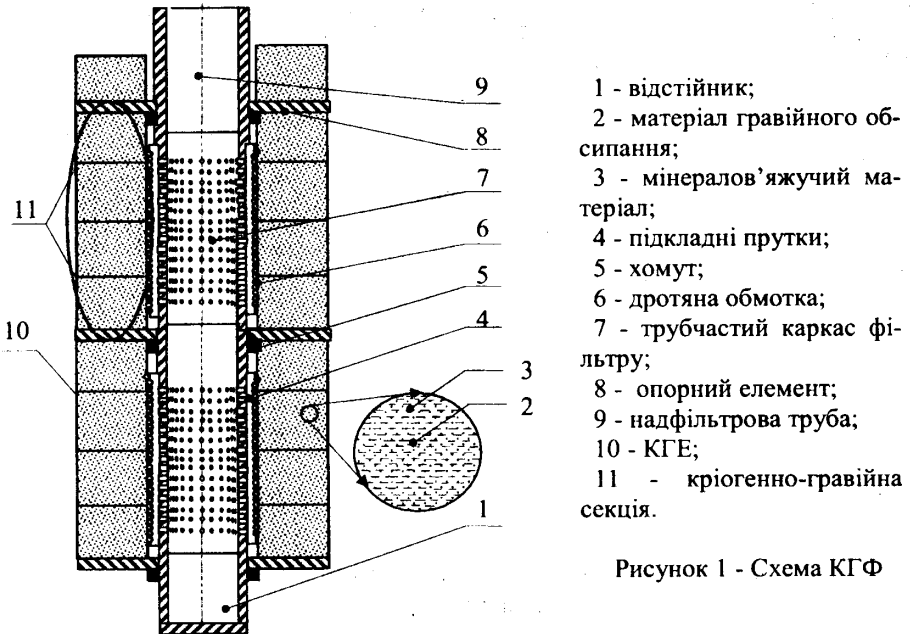
- використання гравійно-в'язучої суміші, що дозволяє використовувати переваги блокових фільтрів при їх транспортуванні, і рихлих обсіпань при видобуванні корисної копалини. При ситуації, що склалася, потрібне застосування екологічно чистих, а отже органічного походження, мінералов'язучих речовин на водній основі, які б уповільнювали процес розтеплення;

- температурний режим середовищ, який може змінюватися від  $-20^{\circ}\text{C}$  при виготовленні і до  $+30^{\circ}\text{C}$  і вище при зборці і обладнанні КГФ бурових свердловин. У цих умовах обґрунтування вибору мінералов'язучої речовини і його масової концентрації є першочерговим і найбільш важливим завданням;

- конструктивні особливості фільтрів. Створюваний на денній поверхні при візуальному контролі КГФ повинен мати блокову конструкцію (рис. 1) і

мінімальний проміжок між внутрішнім діаметром криогенно-гравійного елемента (КГЕ) фільтру і зовнішнім діаметром робочої частини фільтрової колони.

Тому в розділі обґрунтовано параметри КГЕ, КГФ, до яких відносяться їх довжини і радіальні розміри, масові і об'ємні характеристики. Відповідно до чого, маса КГЕ фільтру не повинна перевищувати 50 кг. Зовнішній діаметр блокового КГФ  $D_{КГФ}$  має бути максимально наближений до фактичного діаметру водоприймальної частини бурової свердловини.



- 1 - відстійник;
- 2 - матеріал гравійного обсіпання;
- 3 - мінералов'язучий матеріал;
- 4 - підкладні прутки;
- 5 - хомут;
- 6 - дротяна обмотка;
- 7 - трубчастий каркас фільтру;
- 8 - опорний елемент;
- 9 - надфільтрова труба;
- 10 - КГЕ;
- 11 - криогенно-гравійна секція.

Рисунок 1 - Схема КГФ

Використання найбільш відмітних ознак при аналізі технологій створення гравійних фільтрів і обладнання ними свердловин дало можливість представити їх у вигляді вдосконаленої класифікації (рис. 2). У цій класифікації разом з практикованими способами створення гравійного обсіпання у водоприймальній частині свердловин включені також способи, застосування яких принципово можливе після їх відповідного доопрацювання. Структурно-генетичний аналіз, застосований при розгляді цих способів, дав можливість встановити зв'язок між ними і узагальнити їх за основними напрямками створення гравійних фільтрів.

Усе вищесказане привело до розробки принципово нової нетрадиційної технології обладнання бурових свердловин КГФ.

Розроблена технологія призначена для складних геолого-технічних умов обладнання і експлуатації бурових свердловин. Сферою застосування пропонуваної технології є обладнання бурових свердловин різного цільового призна-

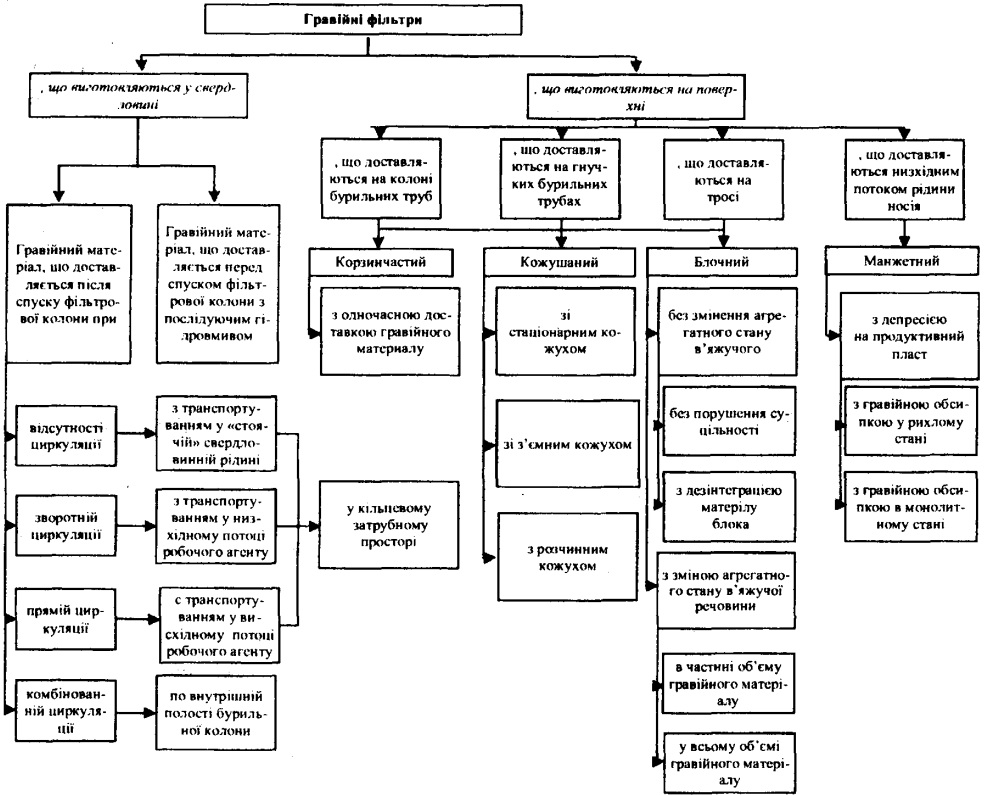


Рисунок 2 - Вдосконалена класифікація способів створення гравійних фільтрів

чення КГФ в інтервалі продуктивних горизонтів, представлених тонкозернистими пісками з глибиною їх залягання до 200 м.

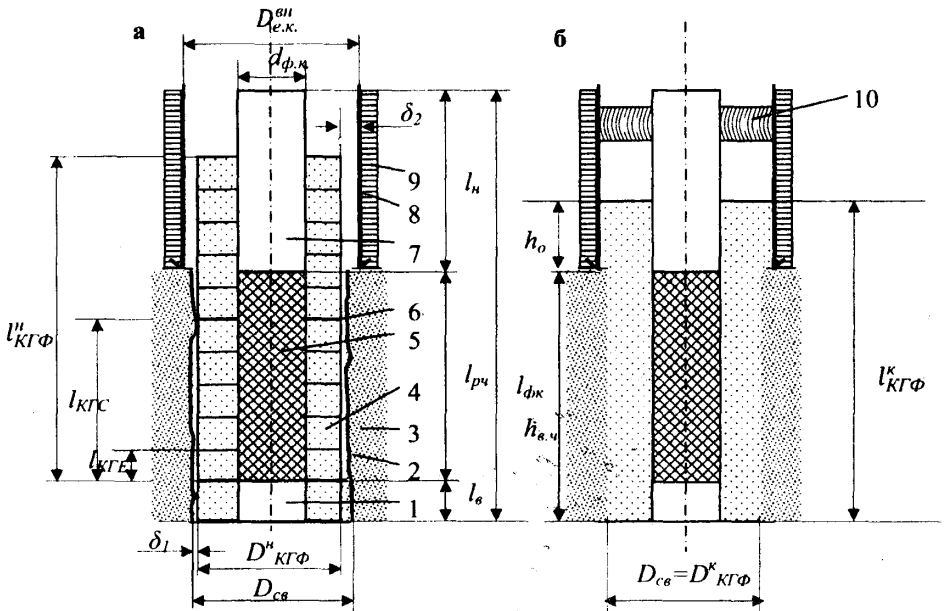
Для реалізації розробленої технології необхідно виконати наступні технологічні операції: виготовлення на денній поверхні КГЕ фільтру блокової конструкції; зборка робочої частини КГФ, що складається з криогенно-гравійних секцій (КГС), зібраних з КГЕ; транспортування КГФ по стовбуру свердловини до продуктивного горизонту; посадка КГФ у водоприймальну частину свердловини.

У таблиці 1 приведено послідовність виконання технологічних операцій, а також можливі варіанти їх здійснення.

Після зборки в транспортному положенні КГФ (рис. 3, а), що складається з КГС, розділених опорними елементами 6, жорстко сполучених з каркасом фільтрової колони 5, транспортується по стовбуру свердловини до водоприймальної частини 3.

Таблиця 1 - Технологічні операції при обладнанні бурових свердловин КГФ

№ п/п	Технологічні операції	Можливі способи здійснення операцій
1	Виготовлення КГЕ	у стаціонарних умовах підприємства в процесі транспортування на бурову на буровій
2	Збірка КГФ	у стаціонарних умовах підприємства на буровій
3	Транспортування КГФ по стовбуру свердловини	на колоні бурильних труб на гнучких бурильних трубах на тросі
4	Посадка КГФ	у пілот-свердловину малого діаметру з одночасним доведенням водоприймальної частини до проектного діаметру у водоприймальну частину свердловини з проектним діаметром з одночасним розрізом водоприймальної частини свердловини



а - КГФ в початковому стані; б - КГФ в робочому стані;

1 - відстійник; 2 - стінки водоприймальної частини свердловини; 3 - порода водоприймальної частини свердловини; 4 - КГЕ; 5 - робоча частина фільтру; 6 - опорний елемент; 7 - надфільтрова труба; 8 - експлуатаційна колона; 9 - цемент; 10 - сальник.

Рисунок 3 - Схема обладнання КГФ водоприймальної частини свердловини

Розглянуто технологію транспортування КГФ по стовбуру свердловини. Основними її параметрами є час, швидкість і максимальна глибина транспортування КГФ.

Час транспортування КГФ на колоні бурильних труб по стовбуру свердловини (рис. 4) умовно можна розбити на:  $t_{cn}^{cm}$  - час транспортування в повітряному середовищі по стовбуру свердловини до статичного рівня  $h_{cm}$ ;  $t_{cn}^{0,cs}$  - час транспортування КГФ в середовищі свердловинної рідини на залишок довжини свічки;  $t_{cn}^n$  - час нарощування бурильної колони;  $t_{cn}^{cs}$  - час спуску однієї свічки у водному середовищі,  $l_{cs}$  - довжина свічки.

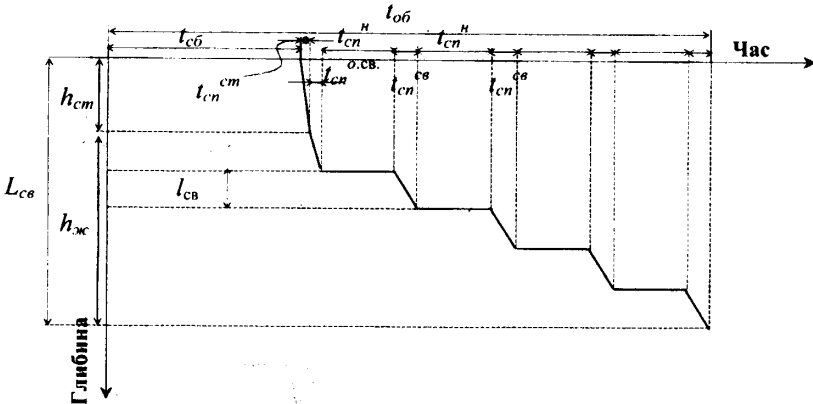


Рисунок 4 - Схема витрат часу на обладнання свердловини КГФ

Під дією плюсових температур водоносного горизонту відбувається закінчення переходу КГФ з монолітного в рихлий стан з виникненням фільтрації вод пластів крізь гравійний матеріал фільтру. При цьому мінералов'язучий матеріал набуває властивості реологій вод пластів.

Упродовж часу  $t_{об}$ , необхідного для здійснення усіх технологічних операцій, блоки КГФ повинні мати достатню механічну міцність і, виходячи з рис. 4

$$t_{об} = \sum t_{cn}^n + \sum t_{cn}^{cs} + t_{cb} + t_{cn}^{cm} + t_{cn}^{0,cs}, \quad (1)$$

де  $\sum t_{cn}^n$  - сумарний час нарощування бурильної колони;

$\sum t_{cn}^{cs}$  - сумарний час спуску бурильної колони в середовищі свердловинної рідини.

У свою чергу

$$\sum t_{cn}^n = t_{cn}^n \cdot n_n, \quad \sum t_{cn}^{cs} = t_{cn}^{cs} \cdot n_{cn}, \quad (2)$$

де  $n_n$  - число операцій з нарощування колони бурильних труб;  $n_{cn}$  - кількість свічок в колоні.

Для успішного виконання робіт з обладнання водоносного горизонту необхідно, щоб час руйнування КГФ  $t_{КГФ}$  перевищував час обладнання фільтром водопримальної частини свердловини  $t_{об}$ , тобто повинна виконуватися умова

$$t_{КГФ} > t_{об} \quad (3)$$

У свою чергу  $t_{КГФ}$  залежить від рецептури КГФ, довжини КГС і умов теплообміну. Підбір рецептури повинен здійснюватися з урахуванням конкретних геолого-гідрогеологічних умов буріння свердловин і має бути не менше

$$t_{КГФ} = k \cdot t_{об} \quad (4)$$

де  $k$  - коефіцієнт запасу часу, пов'язаний з усуненням наслідків можливих ускладнень, що виникли при обладнанні КГФ водопримальної частини бурової свердловини.

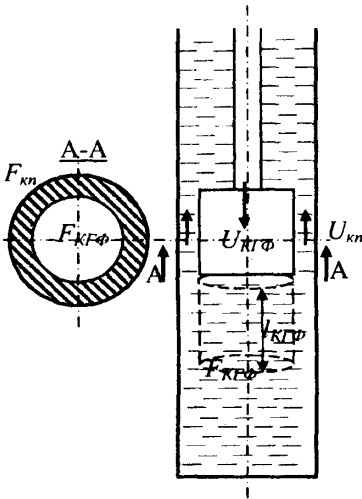


Рисунок 5 - Схема для визначення швидкості транспортування КГФ по стовбуру свердловини

*Швидкість транспортування КГФ.* При транспортуванні КГФ стовбур свердловини заповнений рідиною (рис. 5). КГФ спускається на колоні труб з контрольованою швидкістю  $U_{КГФ}$ . Отже, рідина, що витісняється фільтром, повинна підніматися вгору по кільцевому зафільтрованому простору з середньою швидкістю обтікання  $U_{обт}$  КГФ

$$U_{обт} = U_{кп} = U_{КГФ} \frac{F_{КГФ}}{F_{кп}^{\phi}}, \quad (5)$$

де  $F_{кп}^{\phi}$  - площа перерізу кільцевого зафільтрованого простору.

*Максимальна глибина транспортування КГФ* залежить і від статичного рівня рідини у свердловині  $h_{ст}$ . Отже максимально можлива глибина транспортування КГФ визначиться, як

$$L_{max} = h_{ст} + h_{жс} \quad (6)$$

де  $h_{жс}$  - довжина транспортування КГФ по стовбуру свердловини у водному середовищі.

Особливу увагу приділено вибору мінералов'язучої речовини. З цією метою: зроблено аналіз вживаних в буровій практиці мінералов'язучих і структуроутворюючих матеріалів; сформульовано вимоги, яким повинні відповідати мінералов'язучі речовини блокових гравійних фільтрів; розроблено класифікацію в'язучих матеріалів. На підставі усебічного аналізу і проведених дослі-



джень показано, що найповніше технологічним, економічним і екологічним вимогам відповідає харчовий желатин марки П-11.

**Третій розділ** присвячений експериментальним дослідженням технології виготовлення криогенно-гравійних елементів фільтру, в ході яких встановлено вплив рецептури мінералов'язучої речовини на фізико-механічні властивості матеріалу КГФ, а також обґрунтовано технологію виготовлення КГЕ фільтру.

Дослідження проводилися в два етапи.

*На першому етапі* досліджували мінералов'язуче і криогенно-гравійний композит (КГК) фільтру. В результаті дослідження визначено:

- реологічні властивості водного розчину желатину, як в'язучої речовини (рис. 6). Встановлено, що використання у якості в'язучої речовини водних розчинів желатину можливе. Показано, що процес змішування компонентів КГК фільтру необхідно здійснювати при температурі водних розчинів желатину не нижче  $33^{\circ}\text{C}$ ;

- фізико-механічні властивості КГК, встановлено динаміку зміни міцностних характеристик залежно від середовища його перебування, щільності, вологості зразків і концентрації в'язучого. Показано, що найбільшу міцність мають зразки КГК з 100% вологістю. При цьому із збільшенням масової концентрації желатину в зразках КГК при їх розтепленні у водному середовищі відбувається підвищення міцностних характеристик зразків КГК в 1,5-2,0 рази. Підвищення температури води до  $17^{\circ}\text{C}$  призводить до їх зниження на 20% в початковий період і на порядок після 30 хв. витримки.

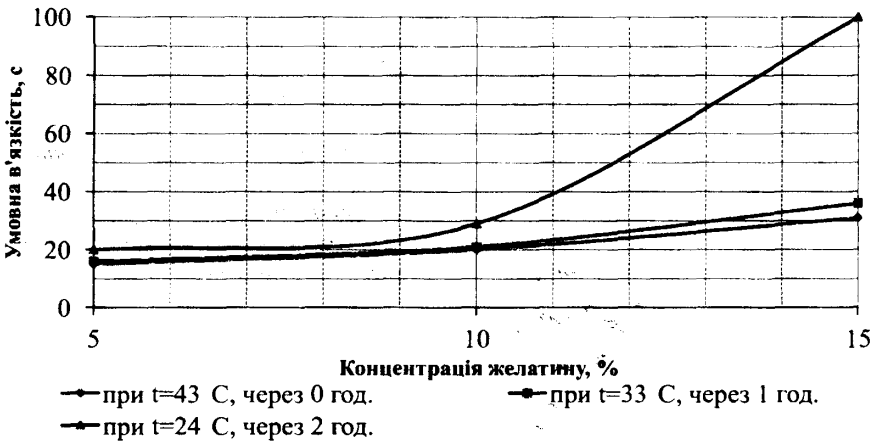


Рисунок 6 - Залежність умовної в'язкості водного розчину желатина від концентрації та часу після його виготовлення

*На другому етапі* досліджували технологію виготовлення КГЕ фільтру бурових свердловин. При цьому:

- визначено фізико-механічні властивості експериментальних зразків КГЕ фільтру в часі і середовищах. Показано, що максимальна довжина КГС фільтру

не залежить від його діаметру і при температурі свердловинної рідини  $+17^{\circ}\text{C}$  повинна складати: не більше 3 м при масовій концентрації желатину у водному розчині 3%; не більше 4 м при масовій концентрації 5%; не більше 5 м при масовій концентрації 10%; не більше 7,2 м при масовій концентрації желатину 15%; не більше 11 м при масовій концентрації желатину у водному розчині 30%;

- при довжині робочої частини фільтру більш за довжину КГС обґрунтовано необхідність введення до складу фільтрової колони розвантажувальних, опорних елементів (рис. 1), що встановлюються між КГС;

- в лабораторних умовах, визначено зміну температурних полів в експериментальному зразку КГЕ фільтру, в результаті яких показано, що:

а) для заморожування КГЕ фільтру з товщиною стінки 35 мм досить витратити 10-12 годин;

б) концентрація в'язучого в композиті на технологічні процеси заморожування при виготовленні КГЕ і розтавлення істотно не впливає;

в) "життєздатність" КГЕ фільтру істотно залежить від середовища розтавлення і його температури;

г) в повітряному середовищі фазовий перехід в'язучого при температурі доквілля  $+20^{\circ}\text{C}$  відбувається після закінчення 1,5 годин;

д) в нерухомому водному середовищі з температурою  $+5^{\circ}\text{C}$  фазовий перехід в'язучого фільтру КГЕ відбувається після закінчення 60 хв. (рис. 7).

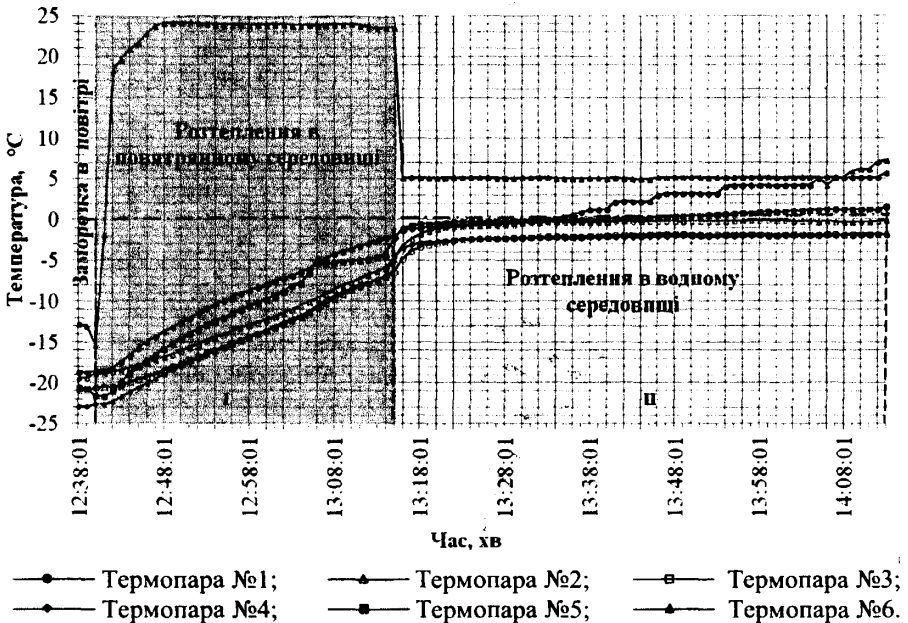


Рисунок 7 - Зміна температури в експериментальному циліндрично-порожнистому зразку КГЕ фільтру з 5% масовою концентрацією в'язучого при його розтавленні в повітряному і водному середовищі при  $t_s = +5^{\circ}\text{C}$

У четвертому розділі приведено результати теоретичних досліджень теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі КГЕ фільтру при його заморожуванні і розтапленні в процесі збирання на денній поверхні і транспортуванні КГФ по стовбуру свердловини.

Як інструмент дослідження вибрані методи математичного моделювання з проведенням обчислювального експерименту. Фізична модель гравійного фільтру є циліндричним зразком, який складається з гравію - мінеральна складова і води - дисперсійне середовище. Дисперсійне середовище, виходячи з технології виготовлення КГЕ фільтру, в його початковий період знаходиться в рідкому стані, а при пониженні температури композиту КГЕ в цілому нижче за температуру фазового переходу в твердому. Таким чином, дисперсійне середовище знає фазового переходу і сформульоване завдання зводиться до рішення задачі Стефана.

На рис. 8 показано розрахункову модель зразка КГЕ фільтру. На представленій схемі показані контрольні точки №№1-5, по відношенню до яких, нижче показані числові результати розрахунку.

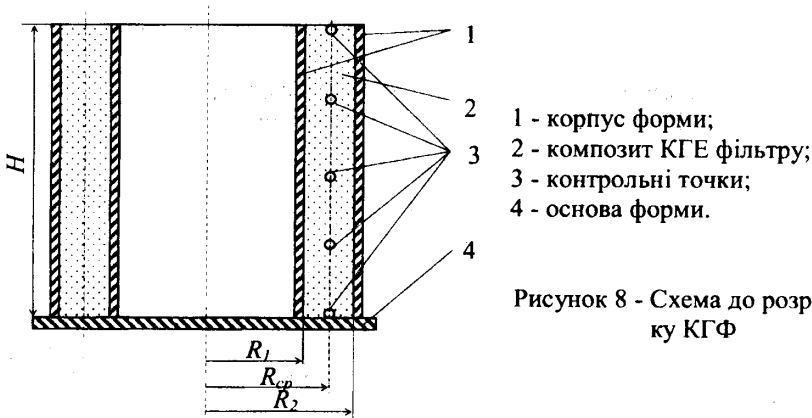


Рисунок 8 - Схема до розрахунку КГФ

Для вирішення завдання заморожування пористого крупнодисперсного середовища КГЕ фільтру використовуємо диференціальне рівняння теплопереносу в дисперсному водонасиченому середовищі з використанням методу ефективної теплоємності

$$c_{ef}(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right), \quad (7)$$

$$\tau > 0, R_1 < r < R_2, 0 < z < H,$$

де  $R_1$  і  $R_2$  - внутрішній і зовнішній радіуси КГЕ фільтру;

$H$  - висота КГЕ фільтру.

Початкові і граничні умови запишемо у вигляді:

$$T|_{\tau=0} = T_0,$$

$$\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial s} \Big|_n = \bar{\alpha} (T|_n - T_\infty), \quad (8)$$

де  $T_\infty$  - температура в морозильній камері;  $n$  - зовнішня нормаль до поверхні;  $\bar{\alpha}$  - середній коефіцієнт тепловіддачі, який залежить від режиму теплообміну і форми зразка КГЕ фільтру.

Функція льодистості  $i(T)$  визначається на підставі експериментальних даних про фазові переходи в крупнодисперсних середовищах, і може бути апроксимована вираженням у вигляді

$$i(T) = i_k \frac{1 - e^{-m(T-T_H)}}{1 - e^{-m(T_K-T_H)}}, \quad (9)$$

де  $i_k$  - значення льодистості при температурі  $T_k$ , яке залежить від кількості міцно зв'язаної вологи;  $T_n$ ,  $T_k$  - температура початку і кінця фазового переходу відповідно;  $\alpha$  - коефіцієнт, який характеризує міру зв'язаності води з гірською породою;  $m$  - коефіцієнт, залежний від дисперсності і структурного складу пористого матеріалу.

Емпіричним шляхом встановлено, що чим сильніше зв'язана вода в порах, тим менше  $\alpha$ , а при замерзанні вільної води  $m \rightarrow \infty$ .

У (7) використовується поняття ефективної теплоємності, яка є аддитивною величиною і визначається

$$c_{ef}(T) = (1 - \Pi) \cdot c_{sk} + \Pi \cdot i(T) \cdot U_0 \cdot c_l + \Pi \cdot (1 - i(T)) \cdot U_0 \cdot c_r + \frac{\rho_l}{\rho} \cdot \Pi \cdot l \frac{di}{dT}, \quad (10)$$

де  $\Pi$  - пористість;  $c_{sk}, c_l, c_r$  - теплоємності гірської породи, льоду і води, відповідно;  $\rho_l$  - щільність льоду.

Коефіцієнт теплопровідності дисперсійного середовища КГФ визначимо, як

$$\lambda = \lambda_1 + (\lambda_2 - \lambda_1) (1 - i(T)), \quad (11)$$

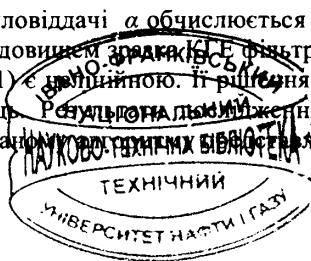
де  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  - коефіцієнти теплопровідності мерзлої і талої фаз визначаються як

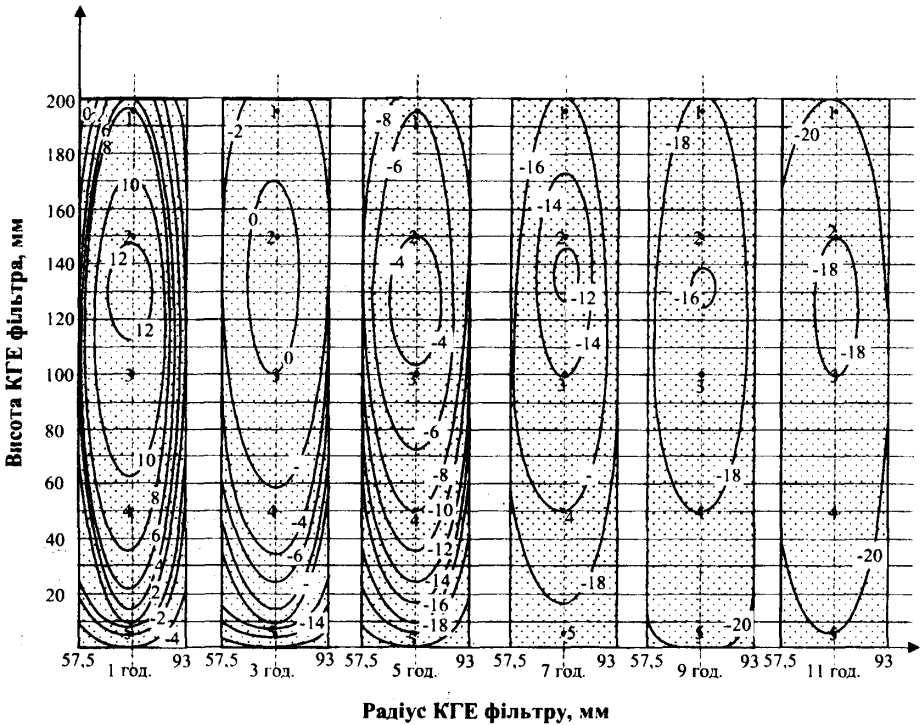
$$\lambda_1 = 1,7(\rho \cdot 10^{-3} + 0,1U_0 - 1,1) - 0,1U_0,$$

$$\lambda_2 = 1,5(\rho \cdot 10^{-3} + 0,1U_0 - 1,1) - 0,1U_0.$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  обчислюється залежно від режиму теплообміну з оточуючим середовищем зразка КГЕ фільтру.

Задача (7) - (11) є розв'язаною. Її рішення було отримане числовим методом кінцевих різниць. Результати льодистості та ефективної теплоємності КГЕ фільтру (7) - (8) по вищеприказаному алгоритму визначені на рис. 9.





• - контрольні точки

Рисунок 9 - Температурні поля в °С в КГФ фільтру з 5% масовою концентрацією в процесі заморожування в морозильній камері

Для етапу заморожування КГФ початкова температура зразка  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ , а температура в морозильній камері дорівнює мінус  $20^\circ\text{C}$ . Як видно з рис. 9, фазовий перехід вода-лід на поверхні КГФ фільтру починається приблизно через 1 годину і закінчується в центральній його частині через 3 години після початку заморожування. Через 10-12 годин температура КГФ фільтру вирівнюється і набуває значення  $-18^\circ\text{C} \dots -20^\circ\text{C}$ .

Під час зборки КГФ КГФ фільтру підпадає під вплив зовнішнього середовища, тобто відбувається його розтавлення в повітряному середовищі. Для визначення допустимого часу знаходження фільтру на денній поверхні, аналогічно процесу виготовлення фільтру, використано диференціальне рівняння теплопереносу (7) з використанням методу ефективної теплоємності з початковими і граничними умовами (8).

Середній коефіцієнт тепловіддачі  $\bar{\alpha}_r$  розраховувався для вертикального порожнистого циліндра, який знаходиться в умовах вільного конвективного перенесення



значенні коефіцієнта тепловіддачі  $\bar{\alpha}$ . Під час транспортування КГФ на колоні труб по стовбуру свердловини враховувалося, що у момент нарощування свічки КГФ знаходиться в стані спокою, а при спуску - під гідродинамічною дією свердловинної рідини.

Під час етапу нарощування бурильної колони для визначення коефіцієнта тепловіддачі використовуємо залежність  $\bar{\alpha}_g$  (12).

При спуску КГФ використовувалось вираження визначення  $\bar{\alpha}_2$  для вертикального порожнистого циліндра, який знаходиться в умовах вимушеної конвекції. Тоді  $N\bar{u} = 0,24 \cdot Re^{0,43} \cdot Pr^{0,33}$ , де  $Re$  - число Рейнольдса а коефіцієнт тепловіддачі

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{N\bar{u} \cdot \lambda_2}{d_2}. \quad (13)$$

У загальному випадку коефіцієнт тепловіддачі в граничних умовах  $\bar{\alpha} = f(\tau)$ , з урахуванням (12, 13) використовується середній за часом

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{t_{об} - t_{об0}} \int_0^{t_{об}} \bar{\alpha}_i(\tau_i) d\tau, \quad (14)$$

де  $\bar{\alpha}_i$  і  $\tau_i$  - коефіцієнт тепловіддачі і час циклу, відповідно при нарощуванні  $\bar{\alpha}_g$  і спуску  $\bar{\alpha}_2$  КГФ по стовбуру свердловини;  $t_{об}$  - час транспортування КГФ по стовбуру свердловини.

Результати числового рішення задачі (7) - (8) приведені на рис. 11.

Розбіжність між експериментальними і розрахунковими даними в середньому по усіх термopарах складає 5%, максимальне відхилення між даними склало 20%. Отримана розбіжність є цілком задовільною і свідчить про можливість застосування математичної моделі для дослідження теплопереноса в КГЕ.

У п'ятому розділі розглянуто результати експериментальних стендових досліджень параметрів процесу технології транспортування КГФ по стовбуру бурової свердловини на глибину його спуску.

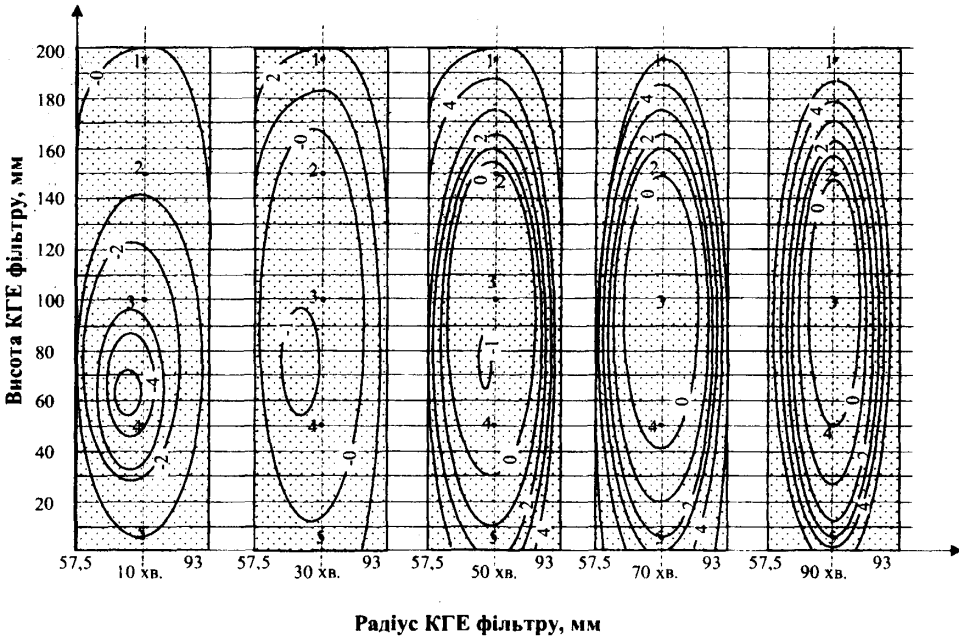
При проведенні стендових досліджень технології транспортування КГЕ фільтру по стовбуру бурової свердловини моделювалися найскладніші умови спуску КГФ, що характеризуються:

- низькою швидкістю транспортування КГФ по стовбуру свердловини;
- використанням укорочених бурильних труб, з проведенням СПО "на висення".

Стенові дослідження здійснювали в моделі свердловини, виконаній з прозорих труб (внутрішній діаметр 200 мм) для візуалізації ходу експерименту. Моделювання транспортування КГФ по стовбуру свердловини проводилося таким чином:

- спуск КГФ в нерухомій рідині свердловини моделювався обтіканням нерухомого фільтру, встановленого в моделі свердловини, водою, що подається насосом від низу до верху;
- відсутність руху КГФ в реальній свердловині при нарощуванні бурильних труб моделювалася паузою в подачі води насосом на стенді;





• - контрольні точки

Рисунок 11 - Температурне поле в КГФ фільтру з 5% масовою концентрацією в процесі його транспортування по стовбуру свердловини у водному середовищі при  $T_{\infty} = +5^{\circ}\text{C}$

- швидкість спуску КГФ у свердловині моделювалася швидкістю руху води, що подається насосом, тобто подачею насоса;
- час спуску КГФ на довжину свічки моделювався часом подачі води насосом;
- час нарощування бурильних труб моделювався часом паузи в подачі насоса.

Стендові дослідження проводилися при подачі насоса 88, 180 і 360 л/хв.

Каркас фільтру сталевий сітчастий із зовнішнім діаметром 114 мм по сітці, діаметр труби 108 мм. Зовнішній діаметр КГФ складав 186 мм, внутрішній - 115 мм. Довжина КГФ в досліді була 200 мм, довжина КГС моделювалася навантаженням КГФ масою додаткових сталевих вантажів, що забезпечувало еквівалентну довжину КГС один, два і три метри.

Стендові дослідження проводилися при температурі води  $+5$  і  $+17^{\circ}\text{C}$ .

При дослідженнях були дві серії дослідів : 1) черевик відстійника фільтру було відкрито; 2) черевик відстійника фільтру був закритий.

Результати стендових досліджень експериментальних зразків КГФ фільтру приведені в табл. 2.

Таблиця 2 - Результати стендових досліджень технології транспортування КГФ

Насос		Час, с		Швидкість спуску КГФ, $U_{КГФ}$ , м/с	Масова концентрація желатину, $C_{ж}$ , %	Маса додаткового вантажу, кг	Еквівалентна довжина КГС, м	Середня глибина транспортування КГЕ по стовбуру свердловини, м			
тип насосу	подача, л/хв.	паузи подачі насоса (час нарощування інструменту), $t_{пауз}$	подачі насоса (час спуску КГФ), $t_{спуск}$					з відкритим черевиком при $t_e = +17^{\circ}\text{C}$	із закритим черевиком при $t_e = +17^{\circ}\text{C}$	з відкритим черевиком при $t_e = +5^{\circ}\text{C}$	із закритим черевиком при $t_e = +5^{\circ}\text{C}$
НБ-5	88	120	40	0,05	2	24	1	10,8	10,8	21,6	17,3
						54	2	8,6	4,3	15,1	15,1
						84	3	4,3	4,3	8,6	10,8
					3,5	24	1	19,4	19,4	17,3	19,4
						54	2	13,0	15,1	15,1	13,0
						84	3	8,6	8,6	13,0	13,0
					5	24	1	17,3	30,2	60,5	64,8
						54	2	8,6	21,6	36,7	56,2
						84	3	6,5	10,8	17,3	19,4
					10	24	1	86,4	103,7	110,2	127,4
						54	2	15,1	23,8	56,2	86,4
						84	3	10,8	13,0	19,4	28,1
НБ-5	180	120	20	0,11	2	24	1	8,8	11,0	13,2	15,4
						54	2	4,4	4,4	11,0	15,4
						84	3	4,4	4,4	8,8	11,0
					3,5	24	1	15,4	17,6	22,0	28,6
						54	2	11,0	11,0	17,6	22,0
						84	3	8,8	8,8	11,0	24,2
					5	24	1	15,4	33,0	59,4	77,0
						54	2	8,8	15,4	33,0	44,0
						84	3	6,6	11,0	17,6	26,4
					10	24	1	121,0	154,0	160,6	167,2
						54	2	81,4	110,0	94,6	125,4
						84	3	11,0	13,2	24,2	33,0
НБ-5 + НБ-32	360	120	10	0,22	2	24	1	6,6	6,6	15,4	17,6
						54	2	6,6	4,4	11,0	13,2
						84	3	4,4	4,4	8,8	8,8
					3,5	24	1	22,0	24,2	35,2	37,4
						54	2	13,2	13,2	30,8	28,6
						84	3	11,0	8,8	15,4	15,4
					5	24	1	19,8	17,6	72,6	92,4
						54	2	13,2	15,4	41,8	55,0
						84	3	8,8	11,0	24,2	33,0
					10	24	1	138,6	176,0	200,2	231,0
						54	2	22,0	33,0	118,8	149,6
						84	3	13,2	13,2	28,6	37,4

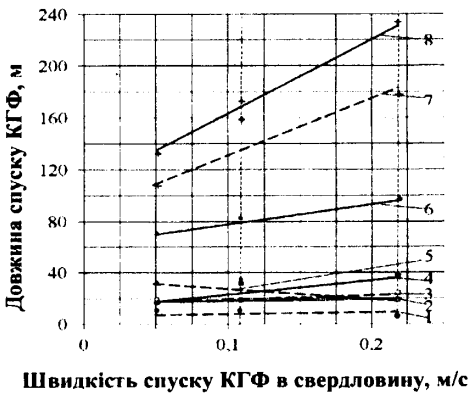
Як критерій оцінки досягнення максимальної глибини транспортування КГФ по стовбуру свердловини був прийнятий момент руйнування КГЕ з утворенням зяючих порожнин, ця глибина визначалася з урахуванням кількості циклів подачі і паузи в роботі насоса.

В результаті проведення стендових досліджень технології транспортування КГФ у водоприймальну частину бурової свердловини встановлено, що:

1) при контакті двокомпонентного експериментального зразка КГЕ фільтру з промивальною рідиною відбувається його швидке руйнування. Максимальна довжина його спуску не перевищує 3 м;

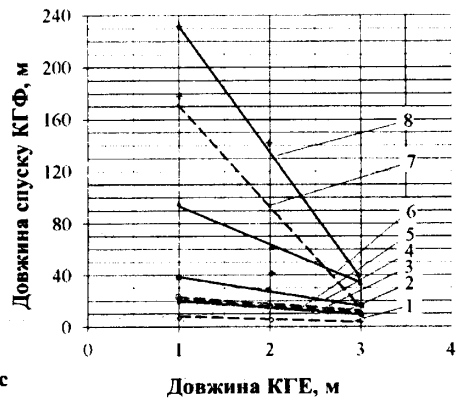
2) застосування у вигляді в'язучої рідини водного розчину органічного полімеру, яким є харчовий желатин марки П-11, можливе для виготовлення КГЕ фільтру. А це означає, що технологія обладнання бурових свердловин КГФ, що розробляється і досліджується, може бути застосована для створення фільтрів в найскладніших геолого-гідрогеологічних умовах, коли порода водонесного горизонту представлена тонкозернистими пісками;

3) довжина спуску залежить від умов теплообміну; концентрації в'язучого; маси КГС; швидкості спуску КГФ по стовбуру свердловини; температури свердловинної рідини; стану черевика фільтрової колони (рис. 12-14):



- 1 - масова концентрація желатину 2% при  $t_{\text{в}} = +17^{\circ}\text{C}$ ;
- 2 - масова концентрація желатину 2% при  $t_{\text{в}} = +5^{\circ}\text{C}$ ;
- 3 - масова концентрація желатину 3,5% при  $t_{\text{в}} = +17^{\circ}\text{C}$ ;
- 4 - масова концентрація желатину 3,5% при  $t_{\text{в}} = +5^{\circ}\text{C}$ ;

Рисунок 12 - Залежність максимальної довжини спуску від швидкості транспортування метричних КГС фільтру



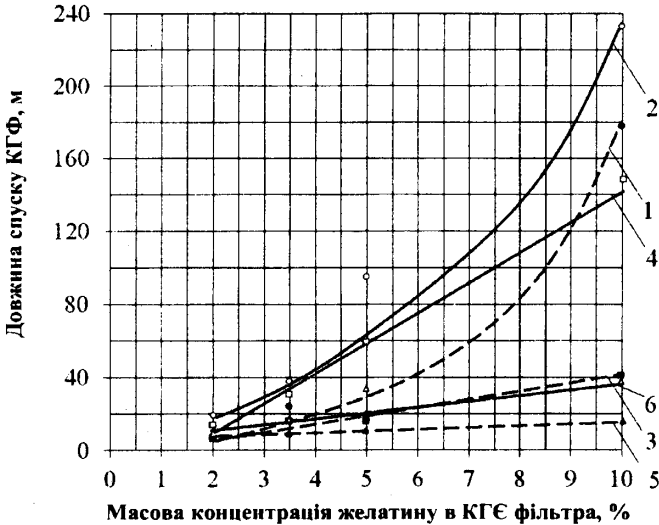
- 5 - масова концентрація желатину 5% при  $t_{\text{в}} = +17^{\circ}\text{C}$ ;
- 6 - масова концентрація желатину 5% при  $t_{\text{в}} = +5^{\circ}\text{C}$ ;
- 7 - масова концентрація желатину 10% при  $t_{\text{в}} = +17^{\circ}\text{C}$ ;
- 8 - масова концентрація желатину 10% при  $t_{\text{в}} = +5^{\circ}\text{C}$ .

Рисунок 13 - Залежність максимальної довжини спуску КГФ із закритим черевиком від довжини КГС при  $U_{\text{КГФ}} = 0,22$  м/с

- довжина спуску прямо пропорційно залежить від швидкості спуску КГФ по стовбуру свердловини;

- збільшення швидкості спуску КГФ по стовбуру свердловини КГЕ з масовою концентрацією желатину 2-5% в більшості випадків не призводить до збільшення довжини обладнання бурової свердловини. Збільшення довжини характерне для КГЕ з масовою концентрацією желатину більше 5%;

- на максимальну довжину спуску КГФ істотний вплив чинить температура свердловинної рідини. Так, при збереженні параметрів транспортування КГФ по стовбуру свердловини можливо збільшити її максимальну довжину обладнання в середньому в 2-3 рази;



1 - 1 м КГС при  $t_{\sigma} = +17^{\circ}\text{C}$ ;

3 - 2 м КГС при  $t_{\sigma} = +17^{\circ}\text{C}$ ;

5 - 3 м КГС при  $t_{\sigma} = +17^{\circ}\text{C}$ ;

2 - 1 м КГС при  $t_{\sigma} = +17^{\circ}\text{C}$ ;

4 - 2 м КГС при  $t_{\sigma} = +17^{\circ}\text{C}$ ;

6 - 3 м КГС при  $t_{\sigma} = +17^{\circ}\text{C}$

Рисунок 14 - Залежність максимальної довжини спуску КГФ із закритим черевиком від концентрації мінералов'язучої речовини в КГЕ фільтру при  $U_{\text{КГФ}} = 0,22$  м/с

4) рекомендована максимальна довжина обладнання водоприймальної частини бурової свердловини КГФ, що транспортується на колоні із закритим башмаком в холодних свердловинних водах, при швидкості його транспортування по стовбуру свердловини - 0,22 м/с наведено в табл. 3;

**Таблиця 3 - Довжини транспортування КГФ залежно від довжини КГС при різній масовій концентрації желатину**

Масова концентрація желатину в КГЕ, %	Довжина КГС, м		
	1 м	2 м	3 м
2	до 20	до 15	до 10
3,5	20...35	15...30	10...25
5	35...90	30...55	25...30
10	90...230	55...150	30...40

5) істотним чинником для збільшення довжини обладнання КГФ бурових свердловин є збільшення довжини свічки бурильних труб. За рахунок збільшення довжини свічки в 5 разів (табл. 4), при збереженні незмінним часу нарощування бурильних труб, дозволить збільшити довжину спуску в 3 рази.

**Таблиця 4 - Результати стендових досліджень технології транспортування 2-х метрових КГС при  $t_c = +17^{\circ}\text{C}$  та довжині свічки 10 м**

Насос		Час, с			$U_{\text{КГФ}}, \text{ м/с}$	Масова концентрація желатину, $C_{\text{жс}}, \%$	Середнє значення	
Тип насосу	$Q, \text{ л/хв}$	$t_{\text{перли}}$	$t_{\text{подачі}}$	циклу, $t_{\text{ц}}$			кількості циклів	довжини спуску, м
НБ-5	88	120	200	320	0,05	3,5	4	40,0
						5	5	50,0
НБ-5	180	120	90	210	0,11	3,5	3	30,0
						5	5	50,0

Так при:

- масовій концентрації 3,5% довжина спуску збільшилася на 27 м, з 13 м до 40 м при подачі насоса 88 л/хв і на 19 м, з 11 м до 30 м при 180 л/хв;

- масовій концентрації 5% довжина спуску збільшилася на 41,2 м, з 8,8 м до 50 м, при подачі насоса 88 л/хв і 180 л/хв.

**Шостий розділ** присвячений розгляду результатів дослідно-промислового впровадження технології обладнання бурових свердловин КГФ.

Виробничі випробування технології обладнання гідрогеологічних свердловин КГФ здійснювалися в період з грудня 2011 р. по квітень 2013 р., за участю персоналу і стандартного бурового устаткування комерційних підприємств БК "Азовнерудгеологія" - в населених пунктах Балково Токмакського району Запорізької області і Миколаївка Васильківського району Дніпропетровської

області, а також ТОВ Промислово-геологічної групи "Дніпрогідробуд" - в населених пунктах Жданівка і Личково Магдалинівського району, а також Мусіївка Криворізького району Дніпропетровської області. За результатами дослідно-промислового впровадження встановлено, що:

1. Розроблену технологію виготовлення кріогенно-гравійних елементів фільтру можливо застосовувати в умовах бурової;
2. Розроблена технологія транспортування кріогенно-гравійного фільтру по стовбуру свердловини і застосоване стандартне технологічне устаткування і інструмент не ускладнює процес обладнання водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини гравійним фільтром, а спрощує його.
3. Технологія виготовлення кріогенно-гравійних елементів фільтру дозволяє поліпшити процес виготовлення гравійною фільтру за рахунок формування обсипання на денній поверхні.
4. Випробувана технологія обладнання водоприймальної частини однієї гідрогеологічної свердловини блоком кріогенно-гравійним фільтром дозволяє скоротити невиробничі витрати часу в 2÷2,5 рази або на 1,75÷2,25 верст. зм.
5. Економічний ефект від застосування технології обладнання водоприймальної частини однієї гідрогеологічної свердловини блоком кріогенно-гравійним фільтром склав 6÷8 тис. грн.
6. Розроблена технології виготовлення кріогенно-гравійного фільтру і транспортування кріогенно-гравійного фільтру по стовбуру свердловини можуть застосовуватися при спорудженні гідрогеологічних свердловин.

## **ВИСНОВКИ**

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій дано вирішення великої і актуальної наукової проблеми, що полягає в науковому обґрунтуванні параметрів ефективної технології створення гравійних фільтрів бурових свердловин, водоприймальна частина яких представлена тонкозернистими пісками, впровадження яких забезпечує значний внесок у розвиток науково-технічного прогресу і підвищення якості гравійних фільтрів, і призводить до економії матеріальних ресурсів, скорочення термінів спорудження і вартості бурових свердловин.

Основні наукові і практичні результати, висновки і рекомендації щодо виконаних досліджень, полягають в наступному:

1. Обґрунтовано той факт, що при обладнанні продуктивних горизонтів бурових свердловин гравійними фільтрами: в багатьох країнах світу використовуються однотипні конструкції гравійних фільтрів, які мають ряд істотних недоліків, що обмежують сферу їх застосування; на сьогодні немає надійної технології обладнання продуктивних горизонтів бурових свердловин гравійними фільтрами; низка питань, пов'язаних з обладнанням гравійними фільтрами продуктивних горизонтів, представлених тонкозернистими і пилюватими пісками залишаються і до цього дня не вирішеними.

Для вирішення цієї проблеми потрібне використання на практиці нетрадиційних підходів, заснованих на використанні інших законів.

2. Розроблено і обґрунтовано рецептуру криогенно-гравійного композиту гравійного фільтру блокової конструкції, мінералов'язучим компонентом якого є органічний полімер на водній основі. Як органічний полімер запропоновано використання харчового желатину марки П-11. Експериментальними дослідженнями встановлено:

- властивості реологій водного розчину харчового желатину марки П-11. Показано можливість його застосування як в'язучої речовини криогенно-гравійного елементу фільтру. Встановлено температурний рубіж його змішування з гравієм фільтру, нижня межа якого складає  $33^{\circ}\text{C}$ ;

- закономірність зміни фізико-механічних властивостей криогенно-гравійного композиту фільтру від масової концентрації мінералов'язучої речовини, умов теплообміну, щільності, вологості зразків. Показано, що: найбільшу міцність мають зразки криогенно-гравійного композиту з 100% вологістю. При цьому із збільшенням масової концентрації желатину в зразках криогенно-гравійного композиту при їх розтепленні у водному середовищі відбувається підвищення міцностних характеристик зразків криогенно-гравійного композиту в 1,5÷2,0 рази, а підвищення температури води до  $17^{\circ}\text{C}$  призводить до їх зниження на 20% в початковий період і на порядок після 30 хв. витримки.

3. Уперше у світовій практиці фільтробудування - розроблено, теоретично обґрунтовано і доведено працездатність в стендових і виробничих умовах, захищено патентами України криогенну технологію обладнання продуктивних горизонтів бурових свердловин.

Обґрунтовано сферу застосування розробленої технології. Технологія призначена для довгострокового обладнання бурових свердловин різного цільового призначення криогенно-гравійними фільтрами завглибшки до 200 м, в продуктивних горизонтах, які представлені тонкозернистими пісками.

4. Теоретично і експериментально показано можливість виготовлення криогенно-гравійних елементів фільтрів.

Причому у виробничих умовах у весняно-зимово-осінній періоді процес омонолічування криогенно-гравійних елементів може здійснюватися як за рахунок штучного холоду морозильної камери, так і за рахунок використання природного холоду. Теоретично і експериментально доведено, що за 10...12 годин температура експериментальних зразків криогенно-гравійних елементів фільтру із зовнішнім діаметром 186 мм, товщиною стінки 30 мм і висотою елементу 200...500 мм, набула температури морозильної камери.

5. Розроблено математичні моделі зміни температурних полів в криогенно-гравійному елементі фільтру у вигляді диференціальних рівнянь, що описують процеси тепломасопереносу при виконанні технологічних операцій з виготовлення і обладнання бурових свердловин криогенно-гравійними фільтрами.

Розроблено програму для обчислення на ЕОМ параметрів температурних полів в криогенно-гравійному елементі залежно від умов теплообміну.

В результаті аналітичних досліджень процесів теплопереносу в пористому крупнодисперсному середовищі криогенно-гравійного елементу фільтру



встановлено залежності: тривалість часу заморожування КГЕ фільтру від температури середовища; тривалість часу фазового переходу КГЕ від температури нагріву контактної його поверхні в процесі зборки КГФ в повітряному середовищі; тривалість часу фазового переходу КГЕ фільтру у водному середовищі від температури нагріву контактної поверхні в процесі його транспортування по стовбуру бурової свердловини.

6. Результати виконаного в дисертаційній роботі комплексу теоретичних і експериментальних досліджень знайшли практичне застосування при проведенні дослідно-промислового впровадження технології обладнання гідрогеологічних свердловин криогенно-гравійними фільтрами, проведених в умовах комерційних підприємств БК "Азовнерудгеологія" і ТОВ Промислово-геологічної групи "Дніпрогідробуд", яке показало, що:

- розроблена технологія виготовлення криогенно-гравійних елементів фільтру дозволяє її застосовувати в умовах бурової;
- розроблена технологія транспортування криогенно-гравійного фільтру по стовбуру свердловини і застосоване стандартне технологічне устаткування і інструмент не ускладнює процес обладнання водоприймальної частини гідрогеологічної свердловини гравійним фільтром, а спрощує його;

- випробувана технологія дозволяє скоротити невиробничі витрати часу при обладнанні водоприймальної частини однієї гідрогеологічної свердловини, завглибшки від 50 м до 100 м, блоковим криогенно-гравійним фільтром в 2÷2,5 рази або на 1,75÷2,25 верс. зм., а економічний ефект склав 6÷8 тис. грн.

7. Розроблені методичні рекомендації з вибору параметрів технології обладнання гідрогеологічних свердловин криогенно-гравійними фільтрами прийняті КП "Південукргеологією" до використання у виробничих умовах.

## **ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ**

Основні наукові результати опубліковано в 57 наукових працях, основні з яких:

1. Кожевников А.А. Эффективные технологии бурения и оборудования скважин на воду /А.А. Кожевников, В.Н. Соловьев, В.В. Куликов, А.К. Судаков, И.Д. Бронников. – М.: РГГРУ им. С.Орджоникидзе. 2013. – 352 с.
2. Кожевников А.А. Гравийные фильтры буровых скважин / А.А. Кожевников, А.К.Судаков. – Д.: НГУ, 2011. – 186 с.
3. Кожевников А.А. Конструкции и изготовление гравийных фильтров, эксплуатации и ремонт буровых скважин / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, Ю.Г. Диденко. – Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2012. – 346 с.
4. Кожевников А.А. Исследование теплопереноса в криогенно–гравийном фильтре при его транспортировке по стовбуру скважины / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.Ю. Дреус, Е.Е. Лисенко // Науковий вісник НГУ. – 2013. – Вип. 6. – С. 49–54. (наукометрическая база Scopus).

5. Судаков А.К. Результаты производственных испытаний технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенно–гравийным фильтром на участке Балково Токмакского района Запорожской области / А.К. Судаков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №4. – С. 76 – 79. (научомеритрическая база Scopus).

6. Судаков А.К. Результаты исследования физико–механических свойств криогенно–гравийного композита / А.К. Судаков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №5 (284). С. 71 – 74. (научомеритрическая база Scopus).

7. Кожевников А.А. Исследование теплопереноса в пористой крупнодисперсной среде криогенно–гравийного элемента фильтра при его растеплении в воздушной среде / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.Ю. Дреус, Е.Е. Лисенко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №6 (285). – С. 102 – 105. (научомеритрическая база Scopus).

8. Кожевников А.А. Новая технология создания гравийных фильтров буровых скважин / А.А.Кожевников, А.К. Судаков, С.М. Сушко, А.Д. Бегун // *Горный журнал Казахстана*. – Алматы: 2011. – №10. – С. 4 – 8.

9. Кожевников А.А. Новое направление создания гравийных фильтров гидрогеологических скважин / А.А. Кожевников, А.К. Судаков // *Природные ресурсы*. – Минск: 2013. – №2. – С. 93 – 99.

10. Судаков А.К. Результаты определения температурных полей в экспериментальных образцах криогенно–гравийных элементах фильтров буровых скважин в воздушной среде / А.К. Судаков // *Горная промышленность*. – М.: 2013. – №3 (109). – С. 62 – 63.

11. Судаков А.К. Результаты разработки технологии оборудования буровых скважин криогенно–гравийными фильтрами / А.К. Судаков // *Горная промышленность*. – М.: 2013. – №4 (110). – С. 111 – 112.

12. Судаков А.К. Результаты производственных испытаний технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенно–гравийным фильтром на участке Николаевка Васильковского района Днепропетровской области / А.К. Судаков // *Разведка и охрана недр*. – М.: 2013. – №6. – С. 50 – 54.

13. Бегун А.Д. Результаты исследований технологических параметров изготовления и оборудования буровых скважин криогенно–гравийными фильтрами / А.Д. Бегун, Н.С. Асанов, А.А. Кожевников, А.К. Судаков // *Горный журнал Казахстана*. – Алматы: 2013. – №10. – С. 34 – 41.

14. Дреус А.Ю. Математическое моделирование тепловых процессов в гравийных фильтрах гидрогеологических скважин / А.Ю. Дреус, А.А. Кожевников, Е.Е. Лысенко, А.К. Судаков // *Доповіді Національної академії наук України*. – 2011. – № 9. – С. 98 – 102.

15. Кожевников А.А. К вопросу об оборудовании водоприемной части буровых скважин криогенно–гравийными фильтрами / А.А.Кожевников, А.К. Судаков // *Науковий вісник НГУ*. – 2009. – № 7. – С. 13 – 16.

16. Кожевников А.А. Классификация способов создания гравийных фильтров / А.А. Кожевников, А.К. Судаков // *Науковий вісник НГУ*. – 2010. №9–10 (119–120). – С. 70 – 74.

17. Кожевников А.О. Гравійний фільтр зі знімним захисним кожухом для обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин / А.О. Кожевников, С.В. Гошовський, А.К. Судаков, А.А. Кононенко, О.А. Гриняк // Наукові праці ДонНТУ – 2006. Вип. 105. – С. 42 – 45.
18. Кожевников А.А. Использование инфракрасных технологий при исследовании теплофизических процессов при бурении и эксплуатации скважин / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.Ю. Дреус // Наукові праці ДонНТУ. – 2010. – Вип. 11(161). – С. 183 – 188.
19. Кожевников А.А. Влияние физических полей на свойства ледови композитов / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.А. Пашенко, А.Ф. Камышацкий, А.А. Лексиков, М.А. Колесников // Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – Вип. 13 (178). – С. 36 – 39.
20. Кожевников А.О. Технологія виготовлення блочного кріогенно-гравійного фільтра бурових свердловин / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.Ф. Камышацкий, О.А. Лексиков, Д.А. Судакова / Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – Вип. 14 (181). – С. 83 – 86.
21. Кожевников А.А. Определение временных параметров процесса замораживания кріогенно-гравійного фільтра / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, Е.Е. Лисенко, А.Ю. Дреус // Наукові праці ДонНТУ. – 2012. Вип. 16(206). – С. 20 – 23.
22. Дреус А.Ю. Розрахунок параметрів розтеплення кріогенно-гравійного елемента фільтру бурових свердловин/ А.Ю. Дреус, А.К. Судаков, Е.Е. Лисенко // Наукові праці ДонНТУ. – 2012. – Вип. 17(2). – С. 3 – 11.
23. Судаков А.К. Производственные испытания технологии оборудования гидрогеологической скважины кріогенно – гравійным фільтром на участке Ждановка Магдалиновского района / А.К. Судаков // Наукові праці ДонНТУ. – 2013. – Вип. 19(2). – С. 31-37
24. Кожевников А.О. Технологічні і технічні особливості застосування опускного двошарового гравійного фільтру зі знімним захисним кожухом. / А.О. Кожевников, С.В. Гошовський, А.К. Судаков, О.А. Гриняк. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2005. – Вип. 8. – С. 49 – 51.
25. Кожевников А.А. О выборе компоновки фильтровой колонны / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, С.В. Гошовский, А.А. Гриняк, А.А. Кононенко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2006. – Вип. 9. – С. 49 – 51.
26. Кожевников А.А. Анализ технологических и технических особенностей применения опускных двухслойных гравійных фильтров со съемным защитным кожухом. / А.А. Кожевников, С.В. Гошовский, А.К. Судаков, А.А. Пашенко, А.А. Гриняк, М.А. Колесников // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2007. Вип. 10. – С. 47 – 50.
27. Кожевников А.А. Гравійные фильтры с использованием эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния вязущего вещества /

А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.А. Гриняк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2008. – Вып. 11. – С. 84 – 88.

28. Кожевников А.А. Технология оборудования криогенно–гравийными фильтрами водоприемной части буровой скважины / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, С.В. Гошовский // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2009. – Вып. 12. – С. 62 – 66.

29. Кожевников А.О. Результати дослідження реологічних властивостей криогенно–гравійного елементу фільтру / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.Ф. Камишацький, О.А. Лексиков, М.О. Колесников // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2010. – Вып. 13. – С. 198 – 202.

30. Кожевников А.О. Результати стендових досліджень технології доставки експериментального зразка криогенно–гравійного фільтра на моделі бурової свердловини / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, І.І. Мартненко, О.Ф. Камишацький, О.А. Лексиков, Д.А. Судакова // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2011. – Вып. 14. – С. 109 – 113.

31. Кожевников А.О. Результати стендових досліджень технології доставки експериментального зразка криогенно–гравійного фільтра. / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.Ф. Камишацький, О.А. Лексиков, Д.А. Судакова, М.О. Науменко, Є.В. Скрипка // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2012. – Вып. 15. – С. 209 – 214.

32. Кожевников А.А. Исследование процесса теплопереноса в пористой крупнодисперсной среде криогенно–гравийного элемента фильтра в процессе его замораживания / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.Ю. Дреус, Е.Е. Лисенко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: сб. науч. труд. – 2013. – Вып. 16. – С. 155 – 160.

33. Пат. 18663 Україна, МПК E21B 43/08. Гравійний фільтр / А.О.Кожевников, А.К. Судаков.; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – №u200605598; заявл. 22.05.2006; друк. 15.11.2006, Бюл. №11.

34. Пат. 36308 Україна, МПК E21B 43/02. Гравійний фільтр / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Пашенко, О.Ф. Камишацький, В.І. Тітов, О.А. Лексиков, В.П. Донцов.; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – №u200804797; заявл. 14.04.2008; друк. 27.10.08, Бюл. №20.

35. Пат. 87993. Україна, МПК E21B 43/00. Гравійний фільтр / А.О. Кожевников, А.К. Судаков.; заявник і патентовласник Національний гірничий університет. – №a200605532; заявл. 22.05.2006; друк. 10.09.2009, Бюл. №17.

36. Гошовский С.В. Анализ технологий оборудования водоприемной части гидрогеологических скважин опускными гравийными фильтрами со съёмным защитным кожухом / С.В. Гошовский, А.А. Кожевников, А.К. Судаков,

- О.А. Гриняк // Неделя горняка - 2007: материалы междунар. конф., 22 - 26 янв. 2007 г., г. Москва. - М.: Горная книга. 2008. - Вып. 11. - С. 287 - 290.
37. Кожевников А.О. Технологія обладнання водоприймальної частини гідрогеологічних свердловин опускними гравійними фільтрами / А.О. Кожевников, С.В. Гошовський, А.К. Судаков, О.А. Гриняк // Форум гірників - 2006: матеріали міжнар. конф., 11-13 жовт. 2006 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Нац. гірн. ун-т, 2006. - С. 263 - 266
38. Кожевников А.О. Дослідження впливу фізичних полів на властивості льодових та льодово-гравійних зразків/ А.О.Кожевников, А.К. Судаков, О.А.Пашенко, О.Ф.Камишацький, О.А.Лексиков // Форум гірників - 2009: матеріали міжнар. конф., 30 верес. - 03 жовт. 2009 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Нац. гірн. ун-т, 2009. С. 229 - 232
39. Кожевников А.А. Результати визначення температурних полів циліндричних елементів криогенно - гравійних фільтрів при їх заморожуванні / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.Ф. Камышацкий, А.А. Лексиков // Форум гірників - 2010: матеріали міжнар. конф., 21-23 жовт. 2010 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Нац. гірн. ун-т, 2010. С. 122 - 125.
40. Кожевников А.О. Стендові дослідження технології доставки експериментального зразка криогенно-гравійного фільтра по стовбуру бурової свердловини/ А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.Ф. Камышацкий, О.А. Лексиков, Д.А. Судакова // Форум гірників - 2011: матеріали міжнар. конф., 12 - 15 жовт. 2011 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Нац. гірн. ун-т, 2011. С. 120 - 125.
41. Кожевников А.О. Результати визначення температурних полів суцільних циліндричних елементів криогенно-гравійних фільтрів бурових свердловин / А.О. Кожевников, А.К. Судаков, О.А. Лексиков, О.М. Бондар, Д.А. Судакова // Форум гірників - 2012: матеріали міжнар. конф., 03 - 06 жовт. 2012 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Нац. гірн. ун-т, 2012. - С. 242 - 246.
42. Кожевников А.А. Результаты производственных испытаний технологии оборудования гидрогеологической скважины криогенно - гравийным фильтром на участке Лычково Днепропетровской области / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, О.Н. Мостинец // Форум гірників - 2013: матеріали міжнар. конф., 02 - 05 жовт. 2013 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Нац. гірн. ун-т, 2013. - Т. 4. - С. 92 - 98.
43. Дреус А.Ю. Математична модель процесів тепло та волого переносу у гравійних фільтрах під час їх заморожування/ А.Ю. Дреус, О.Г. Мелашич, А.О. Кожевников, А.К. Судаков // Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу: матеріали міжнар. наук. конф., 13-15 лист. 2008 р., м. Дніпропетровськ - Д., ДНУ, 2008. - С. 107 - 109.
44. Судаков А.К. Математическое моделирование тепло- и массообмена в криогенно-гравийном фильтре при его промерзании-протаивании / А.К. Судаков, Е.Е. Лисенко // Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу: матеріали IV міжнар. наук. конф., 1-3 листопада 2012 р., м. Дніпропетровськ. - Д.: Дніпропетр. нац. ун-т, 2012. - С. 175 - 176.
45. Кожевников А.А. Инновационные технологии водоснабжения питьевой водой населения города Днепропетровск / А.А. Кожевников,

А.К. Судаков // Інноваційна економіка, інтелектуальна власність та трансфер технологій: матеріали V міжнар. наук.-практ. конф., 16 – 18 квіт. 2014 р., м. Днепропетровск – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2014. – С. 248–251.

## АНОТАЦІЯ

**Судаков А.К.** Наукові основи технології обладнання бурових свердловин кріогенно-гравійними фільтрами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.10 – Буріння свердловин. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2014.

У дисертаційній роботі вирішено актуальну наукову проблему обґрунтування технологій виготовлення кріогенно-гравійного елементу фільтру і обладнання водоприймальної частини бурової свердловини кріогенно-гравійним фільтром. Обґрунтовано рецептури мінералов'язучої речовини і кріогенно-гравійного композиту, встановлено закономірність впливу фізичних полів на зміну властивостей мінералов'язучої речовини, кріогенно-гравійного композиту і елементу фільтру. Встановлено закономірності впливу технологічних операцій з обладнання водоприймальної частини бурової свердловини на зміну фізико-механічних, теплофізичних і технологічних властивостей експериментального кріогенно-гравійного елементу фільтру. Теоретично обґрунтовано і експериментально, в стендових і виробничих умовах, відпрацьовано параметри технології доставки до водоприймальної частини бурової свердловини кріогенно-гравійного фільтру.

**Ключові слова:** водопостачання, бурова свердловина, гравійний фільтр, водоприймальна частина свердловини, кріогенна технологія, кріогенно-гравійний композит, мінералов'язуча речовина, органічний полімер, желатин.

## АННОТАЦИЯ

**Судаков А.К.** Научные основы технологии оборудования буровых скважин кріогенно-гравійними фильтрами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.10 – Бурение скважин. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2014.

Диссертация посвящена решению важной практической проблемы разработки эффективной технологии создания гравийных фильтров в тонкозернистых песках.

Анализ приведенных данных показал, что улучшением качества гравийных обсыпок занималось много ученых. На сегодняшний день не существует надежной технологии создания гравийного фильтра с качественной гравийной

обсыпкой. Технологии их создания имеют ряд существенных недостатков. Одним из серьезных недостатков является образование зияющих пустот в гравийной обсыпке, которое влечет неизбежное пескование скважины и может привести к выходу из строя оборудования и ее ликвидации.

В этой связи, разработана технология оборудовании буровых скважин криогенно-гравийными фильтрами, для реализации которой необходимо выполнить следующие технологические операции: изготовить на дневной поверхности криогенно-гравийные элементы КГС фильтра блочной конструкции, провести сборку рабочей части КГФ, осуществить спуск КГФ к продуктивному горизонту и провести его посадку в водоприемную часть скважины. Разработанная технология защищена патентами Украины.

Разработана блочная конструкция криогенно-гравийного фильтра, имеющая мировую новизну (Пат. UA №№18663, 36308, 87993). Предложено применение в качестве вяжущего вещества блочных гравийных фильтров органического полимера на водной основе. Органическим полимером выступает пищевой желатин марки П-11.

Разработаны классификации технологий оборудования продуктивных горизонтов буровых скважин и вяжущих веществ блочных гравийных фильтров.

Определены реологические свойства водного раствора желатина, как вяжущего вещества. Установлено, что использование в качестве вяжущего вещества водных растворов желатина возможно. Показано, что процесс смешения компонентов КГК фильтра необходимо производить при температуре водных растворов желатина не ниже 33<sup>0</sup>С, т.к. при понижении его температуры происходят необратимые процессы гелеобразования.

В результате исследования физико-механических свойств КГК установлена динамика изменения прочностных характеристик в зависимости от среды его пребывания, плотности, влажности образцов и концентрации вяжущего. Показано, что наибольшую прочность имеют образцы КГК с 100% влажностью. При этом с увеличением массовой концентрации желатина в образцах КГК при их растеплении в водной среде происходит повышение прочностных характеристик образцов КГК в 1,5÷2,0 раза. А повышение температуры воды до 17<sup>0</sup>С приводит к их снижению на 20% в начальный период и на порядок после 30 мин выдержки.

Определены физико-механические свойства экспериментальных образцов КГЕ фильтра во времени и средах. Установлены максимальные длины КГС фильтра от массовой концентрации и температуры прмывочной жидкости.

В результате лабораторных исследований температурных полей в экспериментальном образце КГЕ фильтра установлено время заморозки КГЕ фильтра при его изготовлении и максимально допустимое время его транспортировки по стволу скважин при ее оборудовании КГФ.

Составлены математические модели изменения температурных полей в КГЕ фильтра в виде дифференциальных уравнений, описывающие процессы тепломассопереноса при выполнении технологических операций по изготовлению и транспортировке КГФ по стволу скважины. Разработана программа для



вычисления на ЭВМ параметров температурных полей в КГЕ в зависимости от сред его нахождения.

В результате аналитических исследований процессов теплопереноса в пористой крупнодисперсной среде криогенно–гравийного элемента фильтра установлены зависимости: изменения температуры КГЕ в процессе его заморозки; изменения температуры КГЕ в процессе сборки КГФ в воздушной среде; изменения температуры КГЕ в процессе его транспортирования по стволу буровой скважины.

В результате проведения стендовых исследований технологии транспортировки КГФ в водоприемную часть буровой скважины установлено, характер растепления экспериментальных образцов КГЕ фильтра, максимальная глубина оборудования водоприемной части буровой скважины КГФ зависят от массовой концентрации минераловязущего вещества.

Все это дало возможность оборудовать на территории Днепропетровской и Запорожской областей пять гидрогеологических скважин глубиной от 50 до 100 м. В результате: испытанная технология оборудования водоприемной части гидрогеологической скважины криогенно–гравийными фильтрами позволяет сократить непроизводственные затраты времени в 2÷2,5 раз; экономический эффект от применения технологии оборудования водоприемной части одной гидрогеологической скважины криогенно–гравийным фильтром составил 6÷8 тыс. грн (в ценах 2011-2012 гг).

Разработаны и внедрены в производство методические рекомендации по определению параметров технологии оборудования буровых скважин криогенно–гравийными фильтрами.

**Ключевые слова:** водоснабжение, буровая скважина, гравийный фильтр, водоприемная часть скважины, криогенная технология, криогенно–гравийный композит, минераловязущее вещество, органический полимер, желатин.

## The Summary

**Sudakov A.K.** Scientific bases of technology of equipment of wells cryogenically-gravel filters. – Manuscript.

Dissertation for awarding the academic degree of the doctor of technical science under specialty 05.15.10 – Drilling of wells.- Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2014.

In dissertation work the scientific issue of the day of ground of technologies of making of cryogenically-gravel filter and equipment of water receiving part of well is decided by a cryogenically-gravel filter. Reasonable compounding of mineral binder and cryogenically-gravel composition, conformity to law of influence of the physical fields is set on the change of properties of mineral binder, cryogenically-gravel composition and filter member. Conformities to law of influence of technological operations are set on the equipment of water receiving part of well on the change of

physicomechanical, thermophysical and technological properties of experimental cryogenically-gravel filter member. In theory it is reasonable experimentally, in stand and productive terms, the parameters of technology of delivery to water receiving part of well of cryogenically-gravel filter are exhaust.

**Keywords:** water-supply, drillhole, well, graveler, water receiving part, cryogenically technology, cryogenically-gravel composition, mineral binder, organic polymer, gelatin.