

0222.245.422

0-66 Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Орловський Віталій Миколайович

УДК 622.245.42

**РОЗРОБКА ТАМПОНАЖНИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО РОЗШИРЮЮТЬСЯ  
ПРИ ТВЕРДІННІ, ДЛЯ ЦЕМЕНТУВАННЯ СВЕРДЛОВИН НА  
ПЛОЩАХ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ**

05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ

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



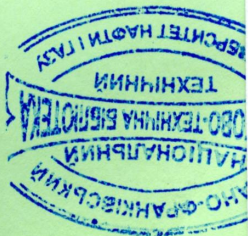
Івано-Франківськ - 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу, Міністерство освіти і науки України; лабораторні дослідження тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, проведені в Полтавському відділенні Українського державного геологорозвідувального інституту, Міністерство охорони природного навколишнього середовища України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Коцкулич Ярослав Степанович**,  
Івано-Франківський національний технічний

Офіційні опоненти



Захист відбудеться "16" вересня 2008 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.02 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий "23" липня 2008 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

Ковбасюк І.М.



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** З ростом глибин нафтових і газових свердловин підвищуються пластові температури і тиски, внаслідок чого ускладнюються роботи з розмежування пластів у свердловинах.

Аналіз промислового статистичного матеріалу по заколонних газонафтоводопроявах (ГНВП) на родовищах Дніпровсько-Донецької западини (ДДз) в процесі закінчування і експлуатації свердловин та літературних джерел свідчить, що тампонажні матеріали, які сьогодні використовуються для розмежування пластів, не завжди відповідають пластовим умовам глибоких свердловин і не забезпечують надійну герметичність цементного кільця. Так, за останні двадцять років майже у 30 % свердловин, пробурених на нафтогазових родовищах України, спостерігаються міжпластові перетоки.

Для ліквідації заколонних ГНВП і перетоків витрачаються значні матеріальні затрати. Крім того відновлювальні роботи не завжди ефективні і потребують великих затрат часу.

Питанням вирішення проблеми удосконалення технології розмежування пластів у складних гірничо-геологічних умовах присвячені численні дослідження вітчизняних і зарубіжних вчених: Ахметова Р.А., Ашраф'яна М.О., Бережного О.І., Булатова А.І., Відовського А.Л., Гайворонського А.А., Горського В.Ф., Грачова В.В., Данюшевського В.С., Карімова Н.Х., Колісника В.І., Коцкулича Я.С., Кочкодана Я.М., Кузнецова Ю.С., Куксова А.К., Леонова Є.Г., Мавлютова М.О., Малеванського В.Д., Маріампольського Н.А., Мірзаджанзаде А.Х., Мочернюка Д.Ю., Навроцького Б.І., Обозіна О.М., Овчинникова В.П., Рахімбаєва А.М., Соловійова Є.М., Татарінова А.В., Тершака Б.А., Цибіна А.А., Черненко А.В., Ясова В.Г. та ін. Однак і на сьогодні ця проблема ще не вирішена в достатній мірі і залишається актуальною.

Рядом авторів, зокрема, Крихом Б.В., Банатовим В.П., проводились дослідження з розробки тампонажних матеріалів, які розширюються при твердінні. Але при високих температурах і тисках ці матеріали змінюють свої властивості і не забезпечують якісного розмежування горизонтів. Тому була поставлена задача: для високотемпературних свердловин використати тампонажні матеріали на основі низькоактивних техногенних продуктів.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню якості розмежування пластів шляхом розробки термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, для цементування свердловин на площах ДДз.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у відповідності з програмами науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт ПВ УкрНДГРІ на 1990 - 1991 рр. за договором № 265 "Розробити і впровадити безклінкерні тампонажні склади, які забезпечують якісне цементування обсадних колон в складних

гірничо-геологічних умовах" між ВГО "Чернігівнафтогазгеологія" і ПВ УкрНДГРІ, Державного комітету України по геології і використанню надр на 1998 - 1999 рр. за договором № 1-99/10 "Розробити розширювальні тампонажні склади для ізоляції заколонного простору в термічному інтервалі, що не перевищує 150 °С" між "Держкомгеології" України і Державним науково-дослідним інститутом технології буріння, Полтавського відділення УкрДГРІ на 2003 р. за договором № 864 "Розробка програми по кріпленню, яка включає підбір рецептур тампонажних розчинів і буферних рідин для умов цементування обсадних колон діаметрами 245 та 146 мм в свердловині № 45 Прилуцького родовища, виконання розрахунків оптимальних режимів цементування свердловини та видачу комплексної рекомендації по цементуванню обсадних колон із здійсненням авторського нагляду за їх використанням безпосередньо на свердловині" між ТОВ "НТП "Бурова техніка" і ПВ УкрДГРІ.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів на площах ДДз в температурному інтервалі 323 - 433 К шляхом розробки та застосування нормальних і полегшених тампонажних матеріалів з високими технологічними властивостями, що розширюються при твердінні, на основі зольних (ЗС) і цементно-доломітових сумішей (ЦДС).

Досягнення поставленої мети пов'язане з вирішенням таких основних задач досліджень:

1. Оцінка можливості використання ЗС на основі висококальцієвої (ЗВ) і кислої (ЗК) піловидних зол теплових електростанцій (ТЕС), що утворюються при спалюванні горючих сланців і кам'яного вугілля, в якості термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, а також частково декарбонізованого піловидного відходу виробництва металургійного доломіту – доломітової муки напівобпаленої (ДМН), як добавку до тампонажного портландцементу, що розширюється при твердінні.

2. Проведення вибору оптимального складу тампонажних матеріалів на основі ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні.

3. Дослідження кінетики розширення тампонажних матеріалів на основі ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні, та фазового складу продуктів твердіння при підвищених температурах і тисках та тривалому автоклавуванні.

4. Дослідження технологічних властивостей тампонажних матеріалів на основі ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні, та можливості їх регулювання з допомогою відомих хімічних реагентів.

5. Розробка технології цементування свердловин з використанням термостійких тампонажних матеріалів на основі ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні.

6. Промислове впровадження розроблених рецептур тампонажних сумішей, що розширюються при твердінні, та оцінка якості кріплення

нафтових і газових свердловин і економічної ефективності при їх застосуванні.

*Об'єктом дослідження* даної роботи є термостійкі тампонажні суміші, що розширюються при твердінні і забезпечують якісний контакт цементного каменю з обсадними трубами і гірськими породами та технологія їх застосування при кріпленні свердловин.

*Предметом дослідження* роботи є кінетика гідратації і технологічні властивості термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні.

*Методи дослідження.* При виконанні дисертаційної роботи використовувались відомі методи обробки та аналізу промислових даних, методи планування експериментів та статистичні методи обробки і аналізу результатів експериментальних досліджень. Ефективність запропонованих рецептур зольних тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, оцінена за результатами їх впровадження на 25 свердловинах, цементно-доломітових матеріалів – на 36 свердловинах.

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

1. Вперше розроблено тампонажні матеріали на основі зольних і цементно-доломітових сумішей, що розширюються при твердінні, для високотемпературних свердловин.

2. Вперше обґрунтовано оптимальні співвідношення компонентів зольних і цементно-доломітових сумішей, що забезпечують високі експлуатаційно-технологічні параметри.

3. Вперше створено тампонажну композицію з комбінованим механізмом розширення, що здійснюється за рахунок утворення гідроксидів кальцію і магнію (в ЗС CaO) та етtringіту, який дозволяє розширити температурний інтервал використання розширювального ефекту в межах 323 – 433 К.

4. Удосконалено технологію цементування свердловин шляхом використання комбінованої миючо-витісняючої буферної рідини (КБР), яка забезпечує високу якість цементування за рахунок підвищених абразивних якостей КБР в поєднанні з її низькими реологічними параметрами, що забезпечують турбулентний режим висхідного потоку в заколонному просторі і, відповідно, високу ступінь заміщення бурового розчину.

#### **Практичне значення одержаних результатів.**

1. Цементування свердловин з використанням розроблених рецептур та технології приготування і закачування тампонажних розчинів на основі термостійких ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні, це дозволило забезпечити високу якість розмежування пластів.

2. Впровадження цих тампонажних матеріалів здійснювалось при кріпленні глибоких свердловин на підприємствах ДП "Чернігівнафтогазгеологія", ДП "Полтавнафтогазгеологія" та ДП

"Укрбургаз" у складних гірничо-геологічних умовах ДДз та забезпечило одержання значного технологічного, економічного і екологічного ефекту.

3. За результатами промислових випробувань та впровадження розроблено керівні нормативні документи КНД 41-00032626-195-90 "Бесклинкерные расширяющиеся тампонажные смеси на базе смеси основной и кислой золы" та КНД 41-00032626-00-327-99 "Використання розширювальних тампонажних сумішей для цементування свердловин" Державної геологічної служби України.

**Особистий внесок здобувача.** Особисто автором проведено огляд літературних джерел з питань природи виникнення і шляхів попередження міграції пластових флюїдів на стадії закінчення тужавіння тампонажного розчину та впродовж часу випробування і експлуатації свердловини, огляд літературних джерел з питань існуючих рецептур термостійких тампонажних матеріалів і тампонажних матеріалів, що розширюються в процесі твердіння, механізмів твердіння і розширення, реалізованих в тампонажних цементах [4]. Проведено експериментальні дослідження та обробку одержаних результатів [1].

У співпраці із співавторами зібрано і проаналізовано промислові дані [2], розроблено склади термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються в процесі твердіння [3, 5, 6, 7, 8, 9], розроблено технологію цементування свердловин з використанням ЗС і ЦДС [10].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідалися і обговорювалися на 6-й Міжнародній науково-практичній конференції "Нафта і газ України – 2000" (м. Івано-Франківськ, листопад 2000 р.); Науково-практичній конференції "Буріння і розкриття пластів" (м. Полтава, травень, 2001 р.); 7-й Міжнародній науково-практичній конференції "Нафта і газ України - 2002" (м. Київ, жовтень 2002 р.); 8-й Міжнародній науково-практичній конференції „Нафта і газ України - 2004” (м. Судак, вересень 2004 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась і обговорювалась на науковому семінарі кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ (жовтень 2005 р., грудень 2007 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в 10 наукових працях, 2 з яких самостійні. З них: 6 статей, а також 4 патенти на винахід України.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається із вступу, основної частини (чотирьох розділів), висновків, списку використаних джерел (176 найменувань) і 2 додатків. Матеріали дисертації викладені на 187 сторінках, містять 24 рисунки і 25 таблиць.

Автор висловлює глибоку подяку науковому керівнику, співробітникам кафедри буріння нафтових і газових свердловин ІФНТУНГ та Полтавського відділення УкрДГРІ за надану допомогу в процесі виконання дисертаційної роботи.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, відображено наукове та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано промислові дані та літературні джерела з питань виникнення ГНВП на родовищах ДДЗ в процесі будівництва і експлуатації свердловин. Проведено аналіз деструктивних фізико-хімічних процесів, які виникають при твердінні і структуроутворенні та експлуатації цементного каменю при високих температурах.

Як свідчать результати досліджень, причинами виникнення ГНВП в процесі експлуатації свердловин є висока активність портландцементу, яка спричиняє температурну нестабільність утвореного каменю, що викликає деструктивні процеси, зокрема утворення гідросилікату  $C_2SH(A)$ , внаслідок чого поступового знижується міцність і підвищується проникність цементного каменю.

Найважливішою умовою термостійкості цементу є утворення в процесі його твердіння термодинамічно стійких при високих температурах сполук, які мають добрі структуроутворюючі властивості, оскільки без цього не можна досягнути високої міцності і низької проникності цементного каменю.

В умовах тривалої гідротермальної дії на процеси твердіння і деструкції цементного каменю для його термостійкості важливе значення мають шляхи виникнення структуроутворюючих фаз. Виділяють два можливих напрямки в одержанні стійких новоутворень на ранніх стадіях твердіння: а) вибір в'язучого з найменшою, але достатньою для забезпечення необхідної швидкості твердіння хімічною активністю; б) утворення довговічних гідросилікатів і гідрогранатів кальцію в умовах високих температур і тисків внаслідок реакції між портландцементом та введеними кремнеземом і глиноземом. На практиці ця задача зводиться до розробки тампонажних композицій з малоактивними в'язучими матеріалами і добавками до них.

Ще однією причиною виникнення ГНВП є усадочна деформація каменю в процесі твердіння тампонажного розчину, яка спричиняє каналоутворення в цементному кільці. З літературних джерел відомо, що в нормальних умовах твердіння лінійна усадка бетонів на основі портландцементу внаслідок випаровування води і карбонізації цементу становить 0,05 – 0,1 %. Деформація усадки спостерігається не лише в стандартних портландцементів, але й у шлакових та цементо-зольних тампонажних матеріалів.

Для одержання герметичного і довговічного контакту цементного кільця з обсадними трубами і стінками свердловини та ущільнення фільтраційної кірки на пористих гірських породах і запобігання виникненню заколонних міжпластових перетоків, перспективним шляхом є використання

тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, і технології їх застосування для гірничо-геологічних умов нафтових і газових свердловин.

Дослідження, проведені з тампонажними цементами, які розширюються при твердінні, показали, що в цих матеріалів сили зчеплення на контакті цементного кільця з металом обсадних труб у декілька разів більші, ніж у звичайного цементу. Це свідчить про високу герметизуючу здатність цементів, що розширюються при твердінні, при обмеженій деформації розчину, який твердіє, по бічній поверхні профілю свердловини.

Проведений аналіз промислових даних причин виникнення ГНВП у процесі експлуатації свердловин та літературних джерел став основою для формування мети роботи і основних задач досліджень.

У другому розділі приведені результати експериментальних досліджень фазового складу продуктів твердіння термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні.

За основні критерії при виборі оптимальних співвідношень ЗС на основі ЗВ і ЗК та ЦДС на основі тампонажного портландцементу ПЦТ-100 і ДМН, що розширюються при твердінні, було прийнято фізико-механічні властивості каменю, зокрема величину лінійного розширення тампонажного матеріалу, граничну міцність при стискуванні, міцність контакту з обмежувальною поверхнею, газопроникність і корозійну стійкість (табл. 1).

Фазовий склад продуктів твердіння нових тампонажних матеріалів вивчався за допомогою рентгенофазового аналізу (РФА) на приладі ДРОН-2 та диференційного термічного аналізу (ДТА) на дериватографі системи Паулік.

У зразках каменю ЗС при тривалих термінах автоклавування під дією гідротермальної обробки з високими температурами утворюються: гіроліт, афвіліт, ксонотліт, тоберморит та гідрогранат складу  $C_3ASH_4$  (рис. 1).

Серед новоутворень у ЦДС при тривалих термінах автоклавування під дією високих температур присутні: низькоосновний гідросилікат кальцію  $CSH(V)$ , тоберморит, трьохкальцієвий гідроалюмінат  $C_3AH_6$ , чотирьохкальцієвий гідроалюмінат  $C_4AH_{13}$ , гідромоносульфоалюмінат кальцію (рис. 2).

Отже, на пізніх стадіях твердіння в нових тампонажних матеріалів переважають низькоосновні гідросилікати кальцію та гідрогранати – новоутворення, які характеризуються термодинамічною стабільністю.

**Третій розділ** присвячений дослідженням технологічних властивостей тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, та їх регулюванню за допомогою стандартних хімічних реагентів.

Кінетика розширення тампонажних матеріалів вивчалась за допомогою консіметра КЦ-3 і спеціальної приставки до нього в умовах дії температури і тиску. Щоб власні напруження призвели до розширення без погіршення властивостей цементного каменю, він повинен бути здатним до пластичної деформації в процесі якої порушені зміщенням контакти між



Таблиця 1

Визначення оптимального складу ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні

Склад гампонажної суміші, мас. часток %		В/С		Коефіцієнт основності	Відносне лінійне розширення каменю, %	Грання міцності каменю при стисненні, МН/м <sup>2</sup>	Адгезія до металу, МН/м <sup>2</sup>	Газопроникність каменю, мкм <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>	Коефіцієнт стійкості при вилугуванні через 360 діб
ЗВ	ЗК	Зольні суміші							
100	-	0,55	0,823	3,33	0,40	2,20	6,30	0,80	
90	10	0,55	0,716	3,29	0,70	2,40	3,93	0,813	
80	20	0,55	0,609	3,26	2,50	2,90	2,10	0,84	
70	30	<b>0,55</b>	<b>0,504</b>	<b>3,21</b>	<b>13,90</b>	<b>3,70</b>	<b>0,98</b>	<b>0,96</b>	
60	40	<b>0,55</b>	<b>0,396</b>	<b>3,18</b>	<b>13,00</b>	<b>4,43</b>	<b>0,595</b>	<b>0,97</b>	
50	50	<b>0,55</b>	<b>0,289</b>	<b>3,00</b>	<b>11,00</b>	<b>4,75</b>	<b>0,58</b>	<b>0,97</b>	
40	60	<b>0,55</b>	<b>0,182</b>	<b>1,84</b>	<b>8,80</b>	<b>4,45</b>	<b>0,76</b>	<b>0,97</b>	
30	70	<b>0,55</b>	<b>0,074</b>	<b>0,68</b>	<b>6,00</b>	<b>3,00</b>	<b>1,54</b>	<b>0,97</b>	
20	80	0,55	-0,031	0,045	0,90	0,43	3,50	0,85	
10	90	0,55	-0,138	0,02	0,26	0,11	6,70	0,83	
-	100	0,55	-0,245	-	-	-	-	-	
ПЦЦТІ -100	ДМН	Цементно-доломітові суміші							
100	-	0,50	3,262	0	9,50	0,77	0,90	1,00	
90	10	0,56	3,625	0,01	9,20	0,85	0,84	0,985	
80	20	0,56	3,987	0,015	8,85	1,00	0,76	0,97	
70	30	0,56	4,350	0,025	8,35	1,40	0,67	0,96	
60	40	0,56	4,713	0,099	7,70	2,40	0,58	0,95	
50	50	<b>0,56</b>	<b>5,076</b>	<b>2,00</b>	<b>6,70</b>	<b>3,60</b>	<b>0,50</b>	<b>0,944</b>	
40	60	<b>0,56</b>	<b>5,438</b>	<b>2,50</b>	<b>5,45</b>	<b>4,50</b>	<b>0,55</b>	<b>0,939</b>	
30	70	<b>0,56</b>	<b>5,801</b>	<b>3,30</b>	<b>4,20</b>	<b>4,80</b>	<b>0,90</b>	<b>0,92</b>	
20	80	0,56	6,164	3,42	3,40	4,32	2,05	0,84	
10	90	0,56	6,526	3,435	3,00	3,50	4,60	0,81	
-	100	0,56	6,889	3,45	2,70	2,50	8,50	0,80	

Примітка.

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

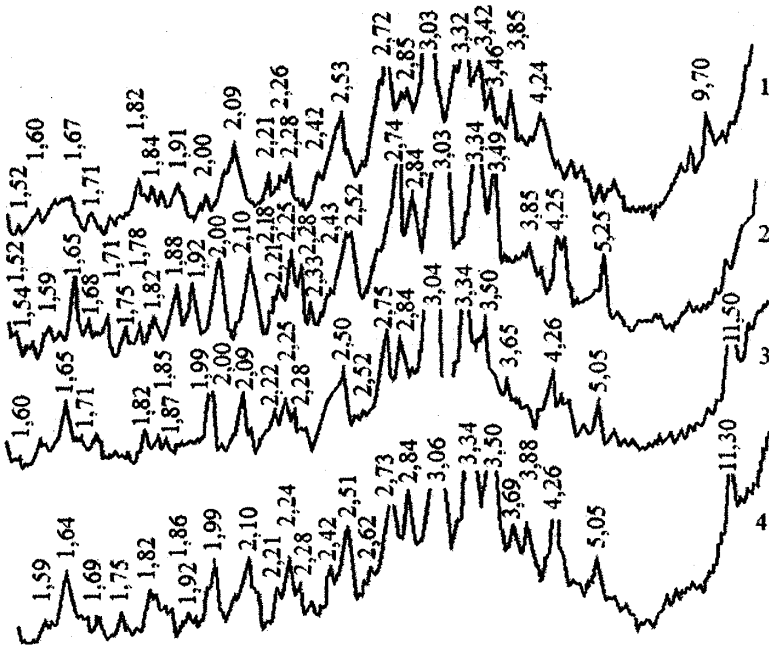


Рис. 1. Рентгенограми ЗС (ЗВ:ЗК-50:50 мас. часток %, В/С = 0,55):  
умови гужавіння: температура 393 К, тиск 50 МПа;

- 1 - 2 доби;
- 2 - 7 діб;
- 3 - 28 діб;
- 4 - 180 діб;

$C_2SH_2$  - 2,00; 2,18; 2,43; 2,74;

$CSH(B)$  - 1,67; 2,83; 2,84; 3,03; 5,25;

$C_2S_2H$  - 1,60; 1,84; 1,88; 2,52; 3,69; 4,24; 4,25; 4,26;

$C_3AH_6$  - 1,71; 2,28; 2,33;

$C_3ASH_{12}$  - 1,82; 2,09; 2,26;

$\bar{S}H_2$  - 1,52; 1,78; 2,20;

$\bar{S}$  - 1,59; 3,49; 3,85;

$C_2S_3H_2$  - 1,82; 1,86; 2,25; 3,65;

$C_3S_2H_3$  - 2,10; 2,42; 5,05;

$C_5S_6H_5$  - 2,24; 2,51; 3,06; 3,50; 11,30; 11,50;

$C_6S_6H$  - 1,64; 1,69; 1,75;

$C_3ASH_4$  - 1,99; 2,21; 2,73.

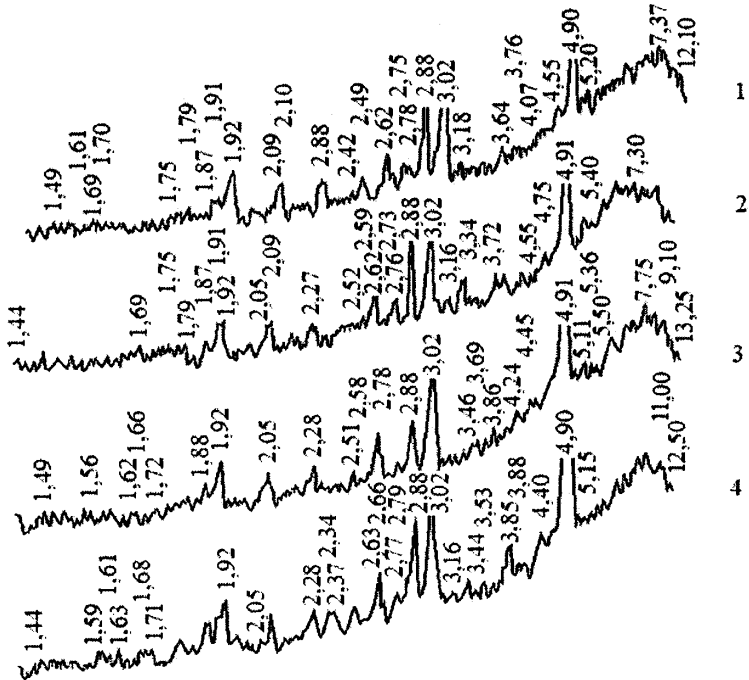


Рис. 2. Рентгенограми ЦДС (ПЦТІ-100:ДМН-50:50 мас. часток %, В/С = 0,56):

умови гужавіння: температура 353 К, тиск 30 МПа;

1- 1 доба;

2 - 2 доби;

3 - 7 діб;

4 - 28 діб;

CSH(B) - 1,66; 2,76; 2,77; 5,40; 5,50; 7,37; 11,00; 12,10; 12,50; 13,25;

C<sub>4</sub>AH<sub>13</sub> - 1,56; 1,61; 1,91; 2,27; 2,66; 3,76; 3,86; 3,88; 4,55; 7,75;

CH - 1,44; 1,68; 1,69; 1,92; 2,60; 2,62; 2,63; 4,90; 4,91;

MH - 1,49; 1,79; 2,37; 2,79; 4,75;

C<sub>3</sub>A $\bar{S}$ <sub>3</sub>H<sub>31</sub> - 1,49; 1,75; 2,52; 2,75; 3,69; 7,30;

C<sub>2</sub>SH<sub>2</sub> - 2,09; 2,78;

C<sub>3</sub>A $\bar{S}$ H<sub>12</sub> - 1,63; 1,87; 2,34; 2,59; 2,73; 3,46; 4,40; 9,10;

C<sub>5</sub>S<sub>6</sub>H<sub>5</sub> - 1,71; 1,72; 2,28; 2,51; 3,53;

C<sub>3</sub>AH<sub>6</sub> - 1,59; 2,05; 4,45; 5,11; 5,15; 5,36;

$\bar{S}$ H<sub>2</sub> - 1,62; 2,58; 4,24;

$\bar{S}$  - 3,16; 3,44; 3,85.

елементами структури відновлювалися б при наступному твердінні. Тому ефективно розширення може бути одержане лише на ранніх стадіях твердіння тампонажного каменю до утворення в структурі міцних кристалізаційних контактів.

Деформація розширення в ЗС і ЦДС починає розвиватись після першої години гідратації на початковій стадії твердіння, коли система перебуває в аморфно-кристалічному стані, а виникаючий кристалізаційний тиск легко компенсується в розчині і закінчується на восьмій годині, коли структура набирає достатню жорсткість (рис. 3). На восьму годину гідратації величина розширення ЗС досягає максимального значення (0,65 – 3,20 %, в залежності від співвідношення компонентів у суміші), а ЦДС - (1,99 – 3,28 %) і в подальшому не змінюється.

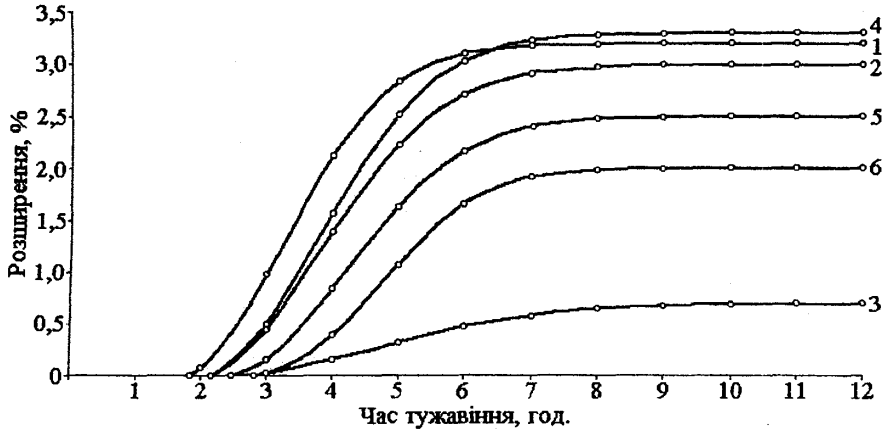


Рис. 3. Залежність величини розширення від співвідношення компонентів у суміші: 1, 2, 3 - ЗВ:ЗК відповідно 70:30, 50:50, 30:70, В/С = 0,55; 4, 5, 6 - ПЦПТ-100:ДМН відповідно 30:70, В/С = 0,57, 40:60, 50:50, В/С = 0,56; умови тужавіння: температура 348 К, тиск 30 МПа.

Нові тампонажні матеріали, що розширюються при твердінні, термостійкі, мають широкий діапазон густин тампонажного розчину від полегшеної до нормальної густини, їх водовідділення практично не відрізняється від стандартних портландцементів, час загуснення легко регулюється з допомогою сповільнювачів тужавіння, наприклад нітрилотриметилфосфонової кислоти (НТФК).

Нові тампонажні матеріали мають високі технологічні властивості каменю, стійкі в агресивних середовищах. Сила зчеплення тампонажного каменю із ЗС і ЦДС з металом (адгезія) у 2 – 7 разів більша ніж у стандартних цементів (табл. 2).

У четвертому розділі описана технологія цементування свердловин з

Таблиця 2

Залежність адгезії зольного і цементно-доломітового каменю до металу від умов тужавіння і часу автоклавування

Склад тампонажної суміші, мас. часток %		Умови тужавіння		Адгезія до металу, МН/м <sup>2</sup>		
		Температура, К	Тиск, МПа	Час тужавіння, діб		
				2	28	360
ПЦТІ-100		348	30,0	0,8	1,0	1,4
ПЦТІ-100		373	40,0	0,8	1,1	1,5
ЗВ	ЗК	Зольні суміші				
30	70	348	30,0	3,0	3,7	4,0
40	60			4,5	5,2	5,5
50	50			4,8	5,5	5,8
60	40			4,4	5,3	5,6
70	30			3,7	4,8	5,1
30	70	398	50,0	4,1	4,8	5,2
40	60			5,7	6,5	6,9
50	50			6,1	6,9	7,3
60	40			5,7	6,5	6,9
70	30			4,7	5,5	5,9
ПЦТІ-100	ДМН	Цементно-доломітові суміші				
30	70	348	30,0	4,8	5,5	5,8
40	60			4,5	5,1	5,3
50	50			3,6	4,5	4,7
30	70	373	40,0	5,3	6,7	7,2
40	60			5,0	6,4	6,9
50	50			4,0	5,9	6,4

використанням тампонажних матеріалів на основі зольних і цементно-доломітових сумішей, що розширюються при твердінні.

ЗС і ЦДС готують на механізованих складах сипучих матеріалів з використанням блоків для приготування сухих тампонажних сумішей, або безпосередньо на буровій в цементно-змішувальних машинах. Також може

використовуватись, так званий, „мокрый” спосіб приготування тампонажної суміші-розчину згідно з яким в процесі цементування в одну цементно-змішувальну машину (ЦЗМ) завантажують золу висококальцієву, в іншу – золу кислу або, відповідно, портландцемент тампонажний ПЦТІ-100 і доломітову муку напівобпалену. Потім за допомогою цементувальних агрегатів готують тампонажні розчини ЗВ і ЗК або ПЦТІ-100 і ДМН та закачують їх в осереднювальну ємність – гомогенізатор, де відбувається їх перемішування і вирівнювання густини тампонажного розчину. З осереднювальної ємності тампонажний розчин через маніфольд закачують у свердловину.

Частина дослідників вважає, що перед цементуванням свердловини потрібно знімати глинисту кірку, інші, що потрібно вимивати лише її рихлу частину. Для забезпечення максимального заміщення бурового розчину тампонажним в затрубному просторі свердловини та вимивання глинистої кірки і намівання цементної на стінках свердловини, нами використано комбіновану миючо-витісняючу буферну рідину (КБР), яка поєднує функції відділення бурового розчину від тампонажного з миючими і чистящими властивостями. Така буферна рідина містить дві порції: першу – миючу, яка складається з 0,03 % водного розчину сульфанола або 0,01 % водного розчину НТФК, другу – витісняючу, яка складається із спорідненої з тампонажним розчином ЗС або ЦДС з підвищеним водосумішевим відношенням (В/С), що дорівнює 0,8. Об'єм першої порції становить 5 м<sup>3</sup>, другої – 20 – 50 % від об'єму інтервалу цементування. Визначальним критерієм при виборі необхідного об'єму витісняючої порції КБР є час її взаємодії із стінками свердловини, який, при заданому режимі прокачування, повинен становити не менше 10 – 15 хвилин. При невеликих об'ємах інтервалу цементування кількість витісняючої порції буферної рідини беруть рівною об'єму інтервалу цементування.

Висока ефективність при використанні нової технології досягається за рахунок підвищених абразивних якостей КБР в поєднанні з її низькими реологічними параметрами, що забезпечують турбулентний режим висхідного потоку в заколонному просторі і, відповідно, високу ступінь заміщення бурового розчину тампонажним. Мінімальна частина витісняючої порції КБР, яка в процесі цементування може залишитись у свердловині, утворить з тампонажним розчином однорідний цементний камінь.

При цементуванні потрібно добиватись турбулентного режиму продавлювання тампонажного розчину. Якщо турбулентного режиму досягнути неможливо, то необхідно, щоб продавлювання тампонажного розчину забезпечувалось пробковим режимом.

Промислове випробування ЗС проводилось в ДП „Полтавнафтогазгеологія” на свердловині № 460 П'явківської площі, з проектним горизонтом турнейським ярусом нижнього карбону, глибиною 5850 м, при цементуванні І секції 0,245 м проміжної колони в інтервалі 2700

– 4595 м. Динамічна температура на забої 358 К, пластовий тиск 65 МПа. Для цементування використано ЗС із співвідношенням ЗВ:ЗК-50:50 мас. часток % з В/С = 0,60, густиною 1520 кг/м<sup>3</sup>.

Випробування ЦДС проводилось в ДП „Укрбургаз” на свердловині № 120 Березівського родовища, з проектним горизонтом візейським ярусом нижнього карбону, глибиною 5550 м, при цементуванні І секції 0,168/0,140/0,127 м експлуатаційної колони в інтервалі 4000 – 5540 м. Динамічна температура на забої 368 К, пластовий тиск 72,6 МПа. Для цементування використано ЦДС із співвідношенням ПЦТІ-100:ДМН-50:50 мас. часток % з В/С = 0,56, густиною 1770 кг/м<sup>3</sup>.

При впровадженні ЗС і ЦДС, за даними акустичного контролю цементування (АКЦ), було одержано добре зчеплення цементного кільця з обсадними трубами.

Крім технологічного ефекту впровадження зольних і цементно-доломітових сумішей, які розширюються при твердінні, дозволяє одержати економічний ефект від економії тампонажного портландцементу і зменшення кількості операцій по ліквідації міжпластових тисків та значний екологічний ефект внаслідок попередження забруднення нафтопродуктами навколишнього середовища і утилізації побічних багатотоннажних продуктів промисловості.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою, в якій, на підставі результатів теоретичних і експериментальних досліджень, розв’язана актуальна задача, спрямована на підвищення якості розмежування пластів при бурінні свердловин в складних геотермальних умовах на родовищах Дніпровсько-Донецької западини.

1. Установлено, що суміші золи висококальцієвої, яка містить в’язучу основу – вільні оксиди кальцію, і золи кислої, в якій міститься активний кремнезем, можуть бути основою для створення термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, а ДМН, яка містить вільні оксиди кальцію і магнію, може використовуватись як добавка до тампонажного портландцементу, що розширюється при твердінні.

2. На основі дослідження фізико-механічних властивостей встановлено, що оптимальними співвідношеннями ЗС є рецептури, які вміщують 30 – 70 % ЗВ і 70 – 30 % ЗК, а ЦДС – з вмістом 30 – 50 % ПЦТІ-100 і 50 – 70 % ДМН (патенти України 47104А, 35477А).

3. Установлено, що розширення ЗС і ЦДС при високих температурах здійснюється за рахунок реакцій гідратації СаО, MgO (у ЗС – СаО) та утворення етtringіту. Фазовий склад продуктів твердіння ЗС при підвищених температурах і тисках та тривалому автоклауванні представлений низькоосновними гідросилікатами кальцію: гіролітом,

афвілітом, тоберморітом, ксонотлітом та гідрогранатами, ЦДС – низькоосновними гідросилікатами кальцію CSH(B), тоберморітом та портландітом, брусітом і гідроалюмінатами  $C_4AH_{13}$ ,  $C_3AH_6$ .

4. Досліджено технологічні властивості оптимальних складів ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні. Зольні розчини мають густину 1500 – 1790  $kg/m^3$ , цементно-доломітові відповідно – 1710 – 1790  $kg/m^3$ , водовідділення ЗС і ЦДС – 6,0 – 15,0 мл, максимальна величина розширення ЗС – 3,66 %, ЦДС – 3,32 %. Камінь із ЗС і ЦДС має високі показники міцності і адгезії, низьку газопроникність ( $0,18 - 1,54 \text{ мкм}^2 \times 10^{-3}$ ), високу корозійну стійкість при знелуженні та в умовах дії більш жорсткої магnezіальної агресії. Час прокачування ЗС і ЦДС легко регулюється з допомогою відомих хімічних реагентів, наприклад, нітрлотриметилфосфонової кислоти.

5. Розроблено технологію цементування свердловин з використанням комбінованої миючо-витісняючої буферної рідини. Висока ефективність такої технології досягається за рахунок підвищених абразивних якостей буферної рідини в поєднанні з її низькими реологічними параметрами, що забезпечують турбулентний режим висхідного потоку в заколонному просторі і, відповідно, високу ступінь заміщення бурового розчину (патент України 68685А).

6. Проведено промислове впровадження ЗС і ЦДС, що розширюються при твердінні на бурових ДП "ЧНГГ" і "ПНГГ" та ДП "Укрбургаз". При впровадженні розробки, за даними АКЦ, щільний контакт цементного кільця з обмежувальною поверхнею одержано на 75 – 93 % бічної поверхні інтервалів цементування, міжколонні тиски відсутні.

Економічна ефективність від впровадження ЗС, що розширюються при твердінні, за рахунок економії тампонажного портландцементу станом на 2008 р. складає 485 грн. на тону тампонажного матеріалу, а загальний дохід від впровадження розробки на 25 свердловинах – 728 тис. грн., ЦДС – відповідно 231 грн. на тону тампонажного матеріалу, а загальний дохід від впровадження розробки на 36 свердловинах – 129 тис. грн.

## ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО РОБОТІ

1. Орловський В.М. Прогнозування параметрів каменю на основі безклінкерних тампонажних матеріалів за допомогою рентгено-фазового аналізу / В.М. Орловський // Матеріали Шостої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2000": (зб. наук. праць). – Івано-Франківськ: Українська нафтогазова академія. – 2000. – Т. 2. – С. 79 – 80.

2. Лужаниця О.В. Досвід використання безклінкерних тампонажних матеріалів при цементуванні глибоких свердловин в Україні / О.В. Лужаниця, С.Г. Михайленко, В.М. Орловський // Матеріали Шостої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2000":



(зб. наук. праць). – Івано-Франківськ: Українська нафтогазова академія. – 2000. – Т. 2. – С. 78 – 79.

3. Орловський В.М. Механізм розширення цементо-доломітових сумішей / В.М. Орловський, С.Г. Михайленко, Л.Б. Мартинова // Матеріали Сьомої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України – 2002": (зб. наук. праць). – К.: Українська нафтогазова академія. – 2002. – Т. 1. – С. 362 – 363.

4. Орловський В.М. Підвищення якості цементування свердловин / В.М. Орловський // Матеріали Восьмої Міжнародної науково-практичної конференції "Нафта і газ України - 2004": (зб. наук. праць). – К.: Українська нафтогазова академія. – 2004. – Т. 1. – С. 414 – 416.

5. Орловський В.М. Термостійкі розширювальні тампонажні матеріали / В.М. Орловський, Я.С. Коцкулич // Питання розвитку газової промисловості України: (зб. наук. праць УкрНДІГаз). – Харків, 2005. – С. 138 – 140.

6. Орловський В.М. Проблема забезпечення галузі тампонажними матеріалами, які розширюються у процесі твердіння / В.М. Орловський, Я.С. Коцкулич // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – К., 2005. – № 2. – С. 212 – 213.

7. Пат. 21177 А Україна, МКВ Е 21 В 33/138. Обважчений тампонажний матеріал / Михайленко С.Г., Орловський В.М.; заявник і патентовласник Полтавське відділення УкрДГРІ. – № 93111612; заявл. 11.02.93; опубл. 27.02.98, Бюл. № 1.

8. Пат. 35477 А Україна, МКВ Е 21 В 33/138. Розширювальний тампонажний склад / Михайленко С.Г., Орловський В.М., Кравець П.С.; заявник і патентовласник Полтавське відділення УкрДГРІ. – № 99105680; заявл. 18.10.99; опубл. 15.03.01, Бюл. № 2.

9. Пат. 47104 А Україна, МКВ Е 21 В 33/138. Розширювальний тампонажний склад / Михайленко С.Г., Орловський В.М., Лужаниця О.В., Кравець П.С.; заявник і патентовласник Полтавське відділення УкрДГРІ. – № 2001075328; заявл. 25.07.01; опубл. 17.06.02, Бюл. № 6.

10. Пат. 68685 А Україна, МКВ Е 21 В 33/128. Спосіб підготовки свердловини до цементування / Михайленко С.Г., Орловський В.М., Лужаниця О.В., Виноградов Г.В., Бандур Р.В.; заявник і патентовласник Полтавське відділення УкрДГРІ. – № 2003098770; заявл. 26.09.03; опубл. 16.08.04, Бюл. № 8.

## АНОТАЦІЯ

**Орловський В.М.** Розробка тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні, для цементування свердловин на площах ДДЗ. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.06 – Розробка нафтових та газових родовищ. – Івано-

Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2008.

Дисертацію присвячено підвищенню якості розмежування гірських порід і нафтогазоносних горизонтів на площах ДДз за рахунок розробки та впровадження нових термостійких тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні.

На підставі теоретичного аналізу результатів пошукових експериментальних досліджень розроблено базові рецептури як основу тампонажних матеріалів, що розширюються при твердінні. Обґрунтовано оптимальні співвідношення низькоактивних в'язучих композицій, досліджено фазовий склад продуктів твердіння і кінетику розширення, вивчено технологічні властивості.

Розроблено технологію приготування тампонажних сумішей та удосконалено технологію цементування свердловин.

Промислові впровадження зольних і цементно-доломітових сумішей підтвердили їх ефективність при кріпленні свердловин на площах ДДз.

**Ключові слова:** розмежування гірських порід, герметичність цементного кільця, термостійкість цементу, тампонажна суміш, розширення, зольна суміш, цементно-доломітова суміш, комбінована буферна рідина.

## АННОТАЦИЯ

**Орловский В.Н.** Разработка расширяющихся тампонажных материалов для цементирования скважин на площадях ДДв. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.06 – Разработка нефтяных и газовых месторождений. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2008.

Диссертация посвящена повышению качества разобшения горных пород и нефтегазоносных горизонтов на площадях Днепровско-Донецкой впадины (ДДв) за счет разработки и внедрения термостойких расширяющихся тампонажных материалов нормальной и облегченной плотности.

На основе анализа горно-геологических условий и опыта крепления скважин на площадях ДДв сформированы направления совершенствования качества цементирования обсадных колон:

повышение термостойкости тампонажных материалов для обеспечения температурной стабильности и долговечности цементного камня;

разработка и применение расширяющихся тампонажных материалов для преодоления эффекта усадочной деформации и каналообразования в цементном камне;

усовершенствование технологии цементирования путем улучшения качества замещения бурового раствора тампонажным для повышения качества цементировочных работ.

В качестве объекта для исследований выбраны термостойкие расширяющиеся тампонажные смеси на основе зольных и цементно-доломитовых композиций.

Обоснованы оптимальные соотношения ингредиентов термостойких расширяющихся зольных и цементно-доломитовых смесей. Проведены экспериментальные исследования фазового состава продуктов твердения новых тампонажных материалов, изучен механизм их расширения.

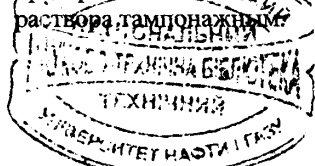
Установлено, что при длительных сроках автоклавирования, под действием гидротермальной обработки с высокими температурами и давлениями, в образцах камня зольных смесей среди новообразований присутствуют: гиrolит, афвилит, ксонотлит, тоберморит и гидрогранат состава  $C_3ASH_4$ . Среди новообразований в цементно-доломитовых смесях присутствуют низкоосновной гидросиликат кальция  $CSH(B)$ , тоберморит, трехкальциевый гидроалюминат  $C_3AH_6$ , четырехкальциевый гидроалюминат  $C_4AH_{13}$ , гидромоносульфоалюминат.

Из проведенных исследований видно, что на поздних стадиях твердения у новых тампонажных материалов преобладают низкоосновные гидросиликаты кальция и гидрогранаты – новообразования, которые характеризуются термодинамической стабильностью.

Проведены исследования технологических свойств тампонажных растворов и цементного камня на основе разработанных зольных и цементно-доломитовых тампонажных материалов.

Установлено, что растворы на основе новых тампонажных материалов имеют широкий диапазон плотностей от облегченного до нормального, их водоотделение практически не отличается от стандартных портландцементов, час загустевания легко регулируется с помощью замедлителей твердения. Процесс расширения таких материалов происходит на ранних стадиях твердения до образования в структуре прочных кристаллизационных контактов, поэтому он не влияет на механические свойства камня в сторону их ухудшения. Камень на основе новых тампонажных материалов обладает высокими технологическими свойствами. Сила его сцепления с металлом у 2 – 7 раз больше, чем у стандартных цементов.

Разработано технологию приготовления новых тампонажных смесей и усовершенствовано технологию цементирования скважин. Высокая эффективность применения такой технологии достигается за счет повышенных абразивных качеств комбинированной буферной жидкости параллельно с ее низкими реологическими параметрами, которые обеспечивают турбулентный режим восходящего потока в заколонном пространстве и, следовательно, высокую степень замещения бурового



Разработаны нормативные документы – руководящие нормативные документы отрасли, регламентирующие компонентный состав и технологию применения зольных и цементно-доломитовых расширяющихся смесей.

Промышленные испытания и внедрение зольных и цементно-доломитовых расширяющихся материалов на скважинах ДП "Черниговнефтегазгеология", ДП "Полтавнефтегазгеология", и ДП "Укрбургаз" подтвердили их высокую экономическую и технологическую эффективность.

**Ключевые слова:** разобщение горных пород, герметичность цементного кольца, термостойкость цемента, тампонажная смесь, расширение, зольная смесь, цементно-доломитовая смесь, комбинированная буферная жидкость.

### ABSTRACT

**Orlowsky V.N.** The development expanding cement of materials for cementation of wells on the areas of the Dnieper-Donetsk Depression. – Manuscript. Thesis for a candidate's degree in engineering sciences of speciality 05.15.06 - The development of the deposits in oil and gas. – Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2008.

The dissertation is devoted to increase of quality of dissociation of mountain rocks and oil and gas content of horizons on the areas of the Dnieper-Donetsk Depression at the expense of development and introduction of new heat-resistant expanding cement of materials.

On the basis of the theoretical analysis of results of search experimental researches the basis expanding cement of materials is developed base compositions as. The optimum proportions low active of cement compositions are justified, the phase composition of yields harden and kinetics of expansion is studied, is investigated technological properties.

Is developed technology of preparation cement of mixes and is improved technology of cementation of wells.

Industrial implementation of ash-fly and cement-dolomite mixtures have affirmed their efficiency at cementation wells on the areas of the Dnieper-Donetsk Depression.

**Key words:** dissociation of rocks, airtightness cement of a collar, thermostability of cement, cement a mixture, expansion, ash-fly mix, cement-dolomite mix, combined buffer fluid.