

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ВІДКРИТЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ НАФТОГАЗОВИЙ ІНСТИТУТ" АТ "УКРНГІ"

На правах рукопису

НАГОРНИЙ ВОЛОДИМИР ПЕТРОВИЧ

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ВИДОБУТКУ ПРИРОДНИХ
ВУГЛЕВОДНІВ І СПОРУДЖЕННЯ ПІДЗЕМНИХ
ЄМНОСТЕЙ ДЛЯ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ
З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ

Спеціальності: 05.15.06 – Розробка та експлуатація
нафтових та газових
родовищ

05.15.13 – Спорудження та
експлуатація нафтогазо-
проводів, баз та сховищ

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

КІЇВ-1995

Дисертація в рукопис.

Робота виконана в Інституті геофізики ім. С.І.Субботіна
НАН України.

НАУКОВИЙ КОНСУЛЬТАНТ – доктор технічних наук
МИХАЛОК АЛЬФРЕД ВОЛОДИМИРОВИЧ

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ: 1. Академік Української нафтогазової
академії, доктор геолого-
мінералогічних наук
ГУНЬКА НЕСТОР НИКОДИМОВИЧ

2. Член-кореспондент Української
нафтогазової академії, доктор
технічних наук, професор
ШНЕРХ СЕРГІЙ СТАНІСЛАВОВИЧ

3. Академік Академії будівництва
України, доктор технічних наук,
професор
ЧОРНИЙ ГЕОРГІЙ ІВАНОВИЧ


ПРОВІДНА ОРГАНІЗАЦІЯ – Акціонерне товариство Українського
інституту по проектуванню об'єктів
газової промисловості "Укргазпроект",
м. Київ

Захист дисертації відбудеться " 2 " лютого 1996 р.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.46.01 у Відкритому
акціонерному товаристві "Український нафтогазовий інститут" АТ
"УкрНГІ" за адресою: 252142, Україна, м.Київ, пр.Палладіна, 44.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Відкритого
акціонерного товариства "Український нафтогазовий інститут" АТ
"УкрНГІ". 252142, Україна, м.Київ, пр.Палладіна, 44.

Автореферат розісланий " 15 " грудня 1995 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук


В.М.СВІТЛИЦЬКИЙ

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00779449 (1)

Актуальність проблеми. Забезпеченість мінерально-сировинними та топливно-енергетичними ресурсами різних галузей народного господарства в нинішній час набуває особливого значення в зв'язку з очевидним і прогресуючим виснаженням багатих родовищ, зниженням якості корисних копалин, ускладненням гірсько-геологічних умов родовищ, залучених в сферу інженерної діяльності.

Ефективність робіт в свердловинній геотехнології в значній мірі визначається фільтраційними характеристиками породного масиву, які рідко коли задовільняють необхідну продуктивність свердловини і, як правило, погіршуються в процесі експлуатації, що відображається не тільки на техніко-економічних показниках роботи підприємств, але й на ступені освоєння багатств надр. Відомо значну кількість засобів і методів керування проникністю породного масиву. Від ефективності дії на привибійну зону пласта в значній мірі залежить рівень інтенсифікації видобутку вуглеводнів. В багатьох випадках лише використання енергії вибуху створює передумови оперативного керування фільтраційними характеристиками порід. Ефективне застосування енергії вибуху для створення штучної тріщинуватості в привибійній зоні пласта можливе лише на фізичній основі керування поведінкою гірських порід при імпульсних навантаженнях, що призводить до розущільнення порід, зниженню їх міцності і підвищенню проникності не тільки в області макроруйнувань, що має достатньо високі фільтраційні характеристики, але і за її межами, де рівень навантажень не перевищує межу пружності.

Ритмічна робота підприємств нафтогазопереробної промисловості багато в чому залежить від наявності резервного парку сховищ. В країнах СНД і в Україні основною технологією спорудження великих підземних сховищ /об'ємом 100 тис.м³ і більше/ являється розмивання підземних смостей в кам'яних солях. Проте існуючі технології будівництва мають серйозні недоліки. Перший серед них - при початковій стадії розмивання концентрація розсолу в 10...30 разів менша граничного значення, що знижує техніко-економічні показники об'єктів будівництва. Другий суттєвий недолік - відсутність активних заходів обвалення нерозчинних міцних гірських порід /вапняків, пісковиків, ангідритів, аргілітів і т.і./, які

екранують поверхню розмивання і часом стає неможливим проведення подальших робіт по спорудженню сховищ. Все це потребує розробки спеціальних методів підготовки соляного масиву до початку технологічного процесу розмивання, одним із яких є використання енергії вибуху з метою розуцільнення і розміщення як соляних, так несоляних порід для ефективного виконання робіт по розмиванню смностей.

Таким чином, комплекс науково-технічних задач, пов'язаних із всестороннім вивченням зміни стану гірських порід при динамічних навантаженнях, розробка на їх базі вибухових методів інтенсифікації видобутку природних вуглеводнів і спорудження підземних смностей для їх зберігання представляється як велика наукова проблема, що має важливе народно-господарське значення.

Мета дисертаційної роботи є розробка методів направленої зміни фізико-механічних властивостей порід привибійної зони пласта при вибуховому навантаженні і створення нових технологій інтенсифікації видобувних і будівельних робіт в свердловинній геотехнології.

Основні задачі досліджень:

1. Розробка аналітичних співвідношень по визначенню зони макроруйнувань в привибійній зоні пласта при вибусі заряду ВР.
2. Вивчення закономірностей поведінки порід привибійної зони пласта і зміни їх властивостей при нерівномірних динамічних навантаженнях, в т.ч. при наявності гірського тиску.
3. Вивчення напружено-деформованого стану і умов примусового обвалення нерозчинних пластів при спорудженні підземних сховищ в кам'яних солях.
4. Розробка вибухових технологій інтенсифікації видобутку природних вуглеводнів і спорудження підземних сховищ в кам'яних солях.
5. Натурне відпрацювання і впровадження розроблених методів керування фізико-механічними властивостями привибійної зони пласта при експлуатації свердловин.

Методи досліджень. Реалізація мети і вирішення поставлених в роботі задач досліджень здійснено на основі аналізу і узагальнення досягнень теорії і практики вибухових робіт, теоретичних досліджень вибухового руйнування твердих середовищ, експериментальних досліджень в лабораторних і натурних умовах, а також за-

стосування методів математичної статистики і техніко-економічного аналізу одержаних результатів.

Автор захищає наступні наукові положення:

1. Породи-колектори нафти і газу і соляні породи при нерівномірному динамічному навантаженні здатні до розущільнення, незворотня складова якого складає 60...75% максимальної об'ємної деформації.

2. З підвищенням гірського тиску незворотня складова розущільнення гірських порід при їх навантаженні зменшується, проте залишається суттєвою і в області глибин 3...5 км.

3. Із зростанням гірського тиску і зменшенням віддалі до осередку вибуху асиметрія зміщень в породі навколо джерела навантажень зменшується.

4. Розміри області руйнувань при вибусі в пласті гірської породи суттєво не змінюються з підвищенням міцності породи і зростанням початкового тиску вибуху.

5. Обвалення нерозчинних пластів в камері розмивання підземної смістості визначається найбільшими напруженнями розтягу на контурі заземлення.

6. Керування фізичним станом породи в привибійній зоні пласта регулюється суперпозицією вибухових хвиль для забезпечення необхідної нерівномірності навантаження масиву.

Достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи підтверджується:

використанням фундаментальних положень механіки суцільних середовищ, механіки гірських порід, теорії вибухового руйнування гірських порід, що мають загальнонаукове значення;

достовірністю методик проведення лабораторних експериментів, використанням сучасної контрольно-реєструючої апаратури при виконанні лабораторних досліджень;

збіжністю результатів з відомими працями інших вчених;

зіставленням результатів лабораторних досліджень з теоретичними розрахунками і даними натурних експериментів;

досліпно-промисловою перевіркою і широким впровадженням рекомендацій в конкретних умовах експлуатації свердловин.

Наукова новизна роботи:

1. Вперше розроблена математична модель руйнування гірської породи в привибійній зоні пласта при вибусі заряду ВР.

2. Вперше встановлені закономірності розущільнення соляного масиву в привибійній зоні свердловини при нерівномірних динамічних навантаженнях.

3. Вперше встановлено, що гірський тиск викликає асиметрію напружено-деформованого стану масиву при розповсюдженні хвильових збурень в привибійній зоні свердловини. Асиметрія зміщень в середовищі із збільшенням гірського тиску зменшується; чим ближче до джерела збурень, тим асиметрія зміщень в середовищі менш помітна.

4. Вперше встановлено, що гранична рівновага нерозчинних пластів в процесі спорудження підземних сховищ в кам'яних солях визначається інтенсивністю навантажень розтягування на контурі защемлення незалежно від форми пласта і геометрії розташування його в камері розмиву; точка максимального прогину пласта змінної потужності зміщена від центру пласта в сторону його мінімальної потужності; для похилених пластів необхідне для їх обвалення навантаження зростає із збільшенням кута нахилу пласта; вплив сил, що діють в серединній площині і обумовлені гірським тиском, невеликий і в інтервалі доцільних глибин закладання сховищ $0,7 \dots 1,5$ км/ опінуються величиною в $5 \dots 15\%$ від руйнівного навантаження.

Теоретичне значення роботи:

1. Вдосконалена теоретична модель розрахунку області руйнування при камуфлетному вибусті в твердій породі.

2. Здійснений аналіз напружено-деформованого стану нерозчинних пластів при дії навантажень і встановлені граничні умови обвалення пластів з врахуванням особливостей розташування їх в смісті.

3. Деформаційний процес в кам'яних солях і породах-колекторах нафти і газу, а також їх характеристики міцності обумовлюються інтенсивністю і нерівномірністю навантаження. Збільшення нерівномірності навантаження призводить до розущільнення структури і зниження характеристик міцності порід.

Практична цінність роботи полягає в розробці ефективних методів провадження вибухових робіт з метою направленої зміни фізико-механічних характеристик привибійної зони пласта, для чого:

обґрунтовані раціональні конструкції торпед і розроблені схеми вибуху зарядів, що забезпечують нерівномірність навантаження масиву в привибійній зоні свердловини;

розроблені розрахункові формули по визначенню параметрів вибухових робіт для досягнення потрібного розущільнення і розміщення гірських порід;

розроблені і затверджені рекомендації по ефективному провадженню вибухових робіт в геотехнологічних свердловинах.

Реалізація роботи. Запропоновані технології вибухових робіт, розроблені у відповідності з виконанням планів НДР НАН України і нової техніки галузевих міністерств і відомств, господарських договорів пройшли послідовно-промислово перевірку і успішно впроваджені при інтенсифікації роботи нафтових і нагнітальних свердловин в Астраханському НГВУ і ДП "Астраханьгазпром" /Росія/, а також при будівництві підземних сховищ в кам'яних солях методом розмивання на комбінаті "Неман" /Білорусія/ і ДП "Астраханьгазпром".

Від впровадження результатів досліджень одержано економічний ефект більше 4,8 млн.крб. /в цінах 1990 р./. Результати досліджень можуть бути використані іншими організаціями, які зв'язані із розробкою родовищ корисних копалин і будівництвом гірничих об'єктів геотехнологічними методами.

Апробація роботи. Робота і її окремі розділи доповідались і одержали схвалення на IX Всесоюзній нараді по буровибуховим роботам /м.Красноярськ, 1984 р./, на X Міжнародній конференції по механіці гірських порід /м.Москва, 1993 р./, на школі-семінарі по вибуховим явищам /м.Алушта, 1991, 1992 р.р./, на галузевих нарадах при комбінаті "Неман" /м.Мозирь, 1988 р./, Комітеті по нафті і газу /м.Київ, 1994 р./, на науково-технічних нарадах Ю "Оренбурггазпром" /м.Оренбург, 1989 р./, "Астраханьгазпром" /м.Астрахань, 1989, 1990 р.р./, "Мангизлакнафта" /м.Актау, 1991р./, "Укрнафта". /м.Київ, 1991 р./, газопромислового підприємства "Ачакгазвидобуток" /м.Газ-Ачак, 1991 р./, Карачаганакського /м.Аксай, 1991 р./ і Вуктильського /м.Вуктил, 1991 р./ газопромислових управлінь, на науково-технічному семінарі кафедри спорудження трубопроводів і сховищ ІФТУНГ /м.Івано-Франківськ, 1986 р./, на науково-технічних радах інститутів "Астрахань НДПІгаз" /м.Астрахань, 1989-1991 р.р./, ВНДІгалургії /м.Санкт-Петербург, 1991 р./, "Укргазпроект" /м.Київ, 1991 р./, на експериментально-технологічному семінарі ІГФ НАН України /м.Київ, 1994 р./, на об'єднаному науковому семінарі ІІМ НАН України /м.Київ, 1995 р./.

Публікації: По темі дисертації опубліковано 33 наукові роботи, поміщені в журналах: "Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых", "Горный журнал", "Изв.вузов. Горный журнал", "Газовая промышленность", "Промышленность рудных и неметаллургических материалов" та інших.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, висновків і податку. Загальний об'єм складає 310 сторінок, включаючи 43 рисунки на 40 сторінках, 19 таблиць на 18 сторінках, перелік використаної вітчизняної та зарубіжної літератури на 22 сторінках і податку на 27 сторінках.

Автор висловлює глибоку подяку науковому консультанту доктору технічних наук А.В.Михальку за консультації, поради і плідне обговорення результатів досліджень по дисертаційній роботі.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи і дана її загальна характеристика.

В першому розділі дисертації приводиться критичний аналіз відомих методів підвищення продуктивності свердловин, в розробку яких значний внесок зробили відомі вчені: Р.С.Яремійчук, Ю.А.Балакіров, Ю.В.Зайцев, Н.Н.Гунька, О.І.Акульшин, В.С.Бойко, Ю.О.Зарубін, В.М.Дорошенко, Г.Г.Вахітов, В.А.Аміян, А.Ш.Газізов, Ю.В.Желтов, Ю.П.Желтов, А.Х.Мірзаджанзаде, А.Т.Горбунов, Е.Б.Чекалюк, В.М.Світлицький, П.М.Кузьмічов, М.А.Карнаухов, А.О.Попов, М.Л.Сургучов, Е.М.Сімкін, А.І.Комісаров, І.А.Сіпоров.

Найбільш вибірну дію на продуктивні пласти справляє застосування вибухових методів. В розвиток фундаментальних основ сучасних уявлень про механічну дію вибуху в гірських породах внесли вітчизняні і зарубіжні вчені: М.В.Мельников, Ф.А.Баум, Г.І.Покровський, О.Є.Власов, Є.І.Шемякин, Г.М.Ляхов, В.М.Ропіонов, С.С.Григорян, В.М.Кузнецов, О.М.Ханукаєв, В.О.Боровіков, О.О.Вовк, Ф.І.Кучерявий, К.Н.Ткачук, М.Ф.Друкований, Е.І.Єфремов, Г.І.Чорний, М.Кук, Ч.Норрен, К.Хіно, У.Лангефорс, Р.Густефсон та інші дослідники.

Встановлено, що ефективними засобами керування дією вибуху в гірських породах є:

керування амплітудою, тривалістю і швидкістю вибухової дії /застосування ВР з потрібними характеристиками детонації, зарядів з повітряними проміжками, оболонками, інертним наповнювачем, кільцевими зазорами, зміна густини заряду і т.і./;

взаємодія хвильових процесів в просторі і часі /одноточковий вибух, короткосповільнений вибух груп зарядів, направлений вибух/;

оптимальний просторовий розподіл зарядів в масиві і вибір раціональних схем підризу зарядів.

При геотехнологічних методах розробки корисних копалин зазначені засоби керування вибухом мають обмежене застосування, що пов'язано з особливостями роботи зарядів в глибоких свердловинах. Застосовувані для обробки привибійних зон таких свердловин спеціальні методи вибухових робіт мають ряд суттєвих недоліків:

мала область обробки /кумулятивна і кульова перфорація/;

обмежена кількість тріщин /порохові генератори тиску ПТ і акумулятори тиску АТС/;

відсутність технічних можливостей вносу осередку вибуху в масив;

небезпека ураженості колон свердловин при вибусі зарядів великої маси;

підвищені вимоги до водобаротермостійкості БР і можливості застосування їх в агресивних середовищах.

Спроби вирішити проблему інтенсифікації роботи геотехнологічних свердловин на основі макроруйнуючої дії вибуху не принесли сталих позитивних результатів. Стає очевидним необхідність розробки методів ведення вибухових робіт на принципово іншій фізичній основі.

Відомо, що гірські породи можуть при стисненні розуцільюватися в залежності від різниці головних напружень, тобто від інтенсивності навантажень зсуву. Значний внесок у вивчення явища дилатансійного розуцільнення порід при статичних умовах навантаження зробили О.М.Ставрогін, Н.Н.Павлова, Є.В.Додус, Є.Д.Певзнер, А.Б.Фадєєв, В.Б.Мулія, І.С.Томашевська, У.Ф.Брейс, К.Д.Байерлі, М.Д.Зосек, К.Р.Райс, С.О.Мюррел та інші вчені. Було встановлено, що незворотне розуцільнення структури гірської породи при нерівномірному навантаженні супроводжується підвищенням її проникності в три-п'ять разів. Розуцільнення породних масивів при дограничних динамічних навантаженнях відзначено в роботах В.М.Ніколаєвського, О.М.Полянничева, М.Я.Якубовича, С.Г.Артишева. Значні результати у вивченні дилатансійного розуцільнення структури гірських порід при нерівномірних динамічних навантаженнях одержані А.В.Михалюком. Незважаючи на досягнуті успіхи, недостатня вивченість явища незворотнього розуцільнення багатьох гірських порід /в тому числі порід-колекторів нафти і газу і кам'яних солей/ при динамічному навантаженні не дозволяє розробити ефективні технологічні схеми проведення вибухових робіт для підвищення фільтраційних

можливостей привибійних зон геотехнологічних свердловин.

На основі вищеподаного автор роботи сформулював названі вище задачі і вибрав методи досліджень.

У другому розділі приведені результати теоретичних досліджень дії вибуху в гірських породах. Приведений розв'язок задачі про камуфлетний вибух сферичного заряду в пласті гірської породи.

При прийнятих початкових

$$a \Big|_{t=0} = a_0; \quad \dot{a} \Big|_{t=0} = 0 \quad /1/$$

/ a_0 - початковий радіус зарядної порожнини; a - радіус порожнини при розширенні/ і граничних умовах:

на границі порожнини, що розширюється

$$\sigma_z \Big|_{z=a} = -P_0 (a_0/a)^{3k}; \quad a \Big|_{z=a_m} = 0 \quad /2/$$

/ P_0 - початковий тиск продуктів вибуху; k - показник ізотропії розвантаження продуктів вибуху; a_m - максимальний радіус порожнини/;

на фронті ударної хвилі /УХ/

$$v_{y\delta} = \varepsilon \dot{R}_{y\delta}; \quad \sigma_{z y\delta} = -\rho_0 \varepsilon \dot{R}_{y\delta}^2 \quad /3/$$

/ $v_{y\delta}$ і $\sigma_{z y\delta}$ - швидкість переміщення частинок і напруження на фронті УХ; R - радіус фронту УХ; ε - постійне ущільнення середовища на ударному фронті/

$$\varepsilon = 1 - \rho_0/\rho \quad /4/$$

/ ρ_0 - початкова густина середовища; ρ - густина середовища на ударному фронті/;

на границі b розділу середовищ

$$\sigma(b-0) = \sigma(b+0); \quad v(b-0) = v(b+0) \quad /5/$$

розв'язок рівнянь, що описують рух пласта і вміщуючої породи при вибусі сферичного заряду ВР

$$\frac{\partial \sigma_{zi}}{\partial z} + \frac{2(\sigma_{zi} - \sigma_{\theta i})}{z} = \rho_i \left(\frac{\partial v_i}{\partial t} + v_i \frac{\partial v_i}{\partial z} \right); \quad /6/$$

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial t} + v_i \frac{\partial \rho_i}{\partial z} + \rho_i \left(\frac{\partial v_i}{\partial z} + 2 \frac{v_i}{z} \right) = 0 \quad /7/$$

/де v_i - швидкість руху породи; ρ_i - густина породи; індекс $i = 1$ характеризує пластовий поклад; індекс $i = 2$ - вміщуючу породу/ зводиться до інтегрування звичайного диференціального рівняння другого порядку

$$\ddot{a} = Ka^2 + L, \quad /8/$$

коефіцієнти K і L якого являються функцією радіуса порожнини, що розширюється, а радіус дробинна середовища знаходиться із виразу

$$R_0 = a_1 \varepsilon_1^{-\frac{1}{3}} + (a_2 - a_1) \varepsilon_2^{-\frac{1}{3}}, \quad /9/$$

де a_1 і a_2 - значення радіусу вибухової порожнини при $z = 0$ і $R_{y0} = C_{y2}$; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - ущільнення середовища на ударному фронті в областях пластової і вміщуючої породи

$\varepsilon_1 = (\rho_{02}/\rho_{01}) \varepsilon_2$; $\varepsilon_2 = \sigma_{02}/(\rho_{02} C_{y2}^2)$ /10/
/ σ_{02} і C_{y2} - границя міцності на стиснення і швидкість пружної хвилі у вміщуючій породі/.

Числові обрахунки зон руйнування масиву при вибусі сферичного заряду з використанням рівнянь /8/-/10/ дозволили встановити: із зростанням міцності порід на одноосне стиснення з $210 \cdot 10^5$ до $855 \cdot 10^5$ Па, тобто в 4,1 рази, радіус зони руйнування зменшується всього в 1,01 рази;

збільшення амплітуд вибухового навантаження /до 3-х раз/ не призводить до суттєвого /в 1,12 раз/ підростання розмірів зони руйнування;

із збільшенням віддалі від заряду приріст пористості швидко зменшується /для середовищ в початковій пористості 2-5% цей приріст на границі зони дробинна окладає величину біля 1,0%, а на границі зони радіальних тріщин - всього 0,05%/.

Одержані результати цілком задовільно /з точністю 8-15%/ співпадають з літературними даними.

В умовах попередньо напруженого стану, обумовленого гірським тиском, система рівнянь руху пружного середовища

$$(\lambda + 2\mu) \operatorname{grad} \operatorname{div} \bar{u} - \mu \operatorname{rot} \operatorname{rot} \bar{u} - \rho \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial t^2} = -\rho \bar{F}$$

/де \bar{u} - зміщення в масиві; \bar{F} - об'ємна сила, віднесена до одиниці маси; λ і μ - константи Ламе/ розв'язана автором.

із врахуванням припущень:

середовище розглядається як послідовність ділянок, де параметри $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$; M_1, M_2, \dots, M_n ; $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ постійні на кожній ділянці, а при переході від одної ділянки до іншої змінюються стрибком;

частинки стичних ділянок зв'язані жорстко, як в суцільному безмежному середовищі; для повздовжньої хвилі, що розповсюджується в напрямі Z , перпендикулярному площині розділу ділянок, умова їх жорсткого sprzęження представлялась у вигляді

$$u(z_{lq} - 0) = u(z_{lq} + 0); \quad \sigma(z_{lq} - 0) = \sigma(z_{lq} + 0), \\ l = 0; \pm 1; \dots \quad q = 1, 2, \dots, n;$$

навантаження середовища задавалось дією джерела гармонічних коливань виду $P = P_0 \exp(j\omega t)$.

Встановлено, що при розповсюдженні хвиль в масиві гірський тиск призводить до появи в середовищі асиметрії зміщень, що визначаються за формулою

$$u = \sqrt[3]{z^3 + 3} \left[\frac{2P_0 z_0 \left(\frac{4v_s^2}{z_0^2} - \omega^2 \right) - \frac{4P_0 \omega^2 v_s^2}{4v_p^2} (R - z)}{\rho \left(\frac{4v_s^2}{z_0^2} - \omega^2 \right) + \omega^2 \frac{16v_s^4}{z_0^2 v_p^2}} - \frac{\rho g (R^4 - z^4)}{4(\lambda + 2\mu)} \right] - z,$$

де v_p і v_s - швидкість повздовжніх і поперечних хвиль;
 R - відстань, на якій незворотня об'ємна деформація відсутня;
 z_0 - початковий радіус сферичної поверхні пружних деформацій;
 при однакових навантаженнях асиметрія зміщень сильніше проявляється поблизу поверхні землі, сягаючи значень 18-20%; чим ближче до джерела навантаження, тим асиметрія зміщень в середовищі менш помітна.

В задачах руйнування геологічних неоднорідностей припускалось, що в результаті розмивання в соляному масиві утворилася порожнина радіусом R , в якій залишився пласт нерозчинних відкладів потужності h .

При розв'язуванні задач по обваленню пластів приймалось: нерозчинний пласт являється суцільним однорідним ізотропним

шаром породи, жорстко защемленим по контуру обнаження;

обвалення пласта визначається досягненням напруженнями розтягу границі міцності породи пласта на розрив σ_p /оскільки значення σ_p для гірських порід у 8-10 разів менші границі міцності порід на стиснення σ_0 /;

відношення величини потужності пласта до його діаметру складає не більше як 1/5, що допускає використання при аналізі напружено-деформованого стану пластів основних положень теорії згину тонких пластин.

У випадку навантаження горизонтального пласта рівномірно розподіленим навантаженням інтенсивності P рівняння згину пласта

$$z \frac{d^2 \varphi}{dz^2} + \frac{d \varphi}{dz} - \frac{\varphi}{z} = - \frac{q z}{D}$$

/де φ - кут повороту нормалі до серединної поверхні пласта;
 q - поперечна сила; D - жорсткість пласта на згин/ розв'язане при граничних умовах:

$$\varphi|_{z=R} = \varphi|_{z=0} = 0.$$

Встановлено, що найбільш небезпечними при обваленні пласта являються радіальні напруження розтягу на верхній поверхні поблизу контура защемлення пласта, де вони складають

$$\sigma_z^{\max} = \frac{3}{4} \frac{P R^2}{h^2}.$$

Як видно, необхідне для обвалення пласта навантаження зростає із збільшенням потужності пласта, міцності породи пласта на розрив і зменшується із зростанням розмірів зони обнаження пласта.

Відомі методи обвалення пластів, що основані на вибусі газоповітряної суміші в порожнині, не знайшли широкого впровадження із-за їх громіздкості і недостатньої ефективності при обваленні потужних / $h > 2,5$ м / пластів. В роботі запропонований метод обвалення нерозчиняних пластів вибухом заряду БР в рідині, що знаходиться в порожнині під пластом, коли тиск на пласт підлягає залежності

$$P(z) = k z_3^M (A^2 + z^2)^{-M/2}$$

де z_3 - радіус заряду; A - відстань від центру заряду до підошви пласта; k і M - коефіцієнти затухання вибухових хвиль в рідині/, а довжина вибухової хвилі $\lambda \gg h$, по цій причині напружено-деформований стан пласта має квазістатичний характер.

Встановлено, що максимальні напруження розтягу мають місце на контурі заземлення нижньої поверхні пласта і дорівнюють

$$\sigma_z^{\max} = \frac{6kz_3^M}{(2-M)h^2} \left[\frac{a_1}{4} \left(\frac{R}{A}\right)^2 + \frac{a_2}{6} \left(\frac{R}{A}\right)^4 + \frac{a_3}{8} \left(\frac{R}{A}\right)^6 \right],$$

де

$$a_1 = \frac{1}{2}(2-M)A^{2-M}; \quad a_2 = -\frac{1}{8}M(2-M)A^{2-M}; \quad a_3 = \frac{1}{48}M(4-M^2)A^{2-M}.$$

Коли σ_z^{\max} стає рівним значенню динамічної границі міцності породи пласта на розрив $\sigma_{p,d}$, відбувається обвалення пласта, при цьому мінімальний радіус заряду дорівнює

$$z_3 = \left\{ \frac{(2-M)h^2 \sigma_{p,d}}{6k \left[\frac{a_1}{4} \left(\frac{R}{A}\right)^2 + \frac{a_2}{6} \left(\frac{R}{A}\right)^4 + \frac{a_3}{8} \left(\frac{R}{A}\right)^6 \right]} \right\}^{1/M}.$$

При спорудженні підземних сховищ глибокого закладання пласти можуть зазнавати дії сил стиснення N , обумовлених гірським тиском.

В цьому випадку потрібний радіус заряду для обвалення пласта складає

$$z_3 = \left[\frac{h^2 \sigma_{p,d} (8-K^2)}{\frac{12R^2F}{A^2} \left(1 - \frac{M(M+2)R^4}{24A^4}\right)} \right]^{1/M},$$

$$K^2 = NR^2/D; \quad F = k A^{2-m}$$

Встановлено, що дія сил в серединній площині пласта призводить до зменшення /до 15% для глибин близько 2,0 км/ граничного навантаження обваления.

При обваленні пластів змінної потужності встановлено, що максимальний прогин таких пластів зміщений від осі камери розмиву в сторону меншої потужності пласта, критичні навантаження спостерігаються біля точки заземлення, де його потужність мінімальна.

В роботі здійснений також аналіз напружено-деформованого стану похилених і кільцевих /що мають і внутрішній радіус обнаження/ пластів.

В третьому розділі приведені результати експериментальних досліджень динамічного навантаження зразків порід-колекторів нафти і газу та соляних порід. Особливості прояву розущільнення і зміни міцності порід при динамічному навантаженні вивчені із застосуванням дослідної камери і приборного комплексу, що дозволяють в широких межах змінювати нерівномірність напруженого стану зразка породи, який характеризувався виразом $\xi = \sigma_3 / \sigma_1$ /де σ_3 і σ_1 - найменше і найбільше головне навантаження/, в тому числі з імітацією гірського тиску.

При експериментальному вивченні деформування зразків гірських порід /пісковики, вапняки, алевроліти, аргіліти, кам'яна сіль/ основна увага приділялась поведінці порід в області тисків, близьких до міцності порід, оскільки просторова область більш високих тисків від дії вибуху невелика порівняно із загальною зоною його дії і достатньо вивчена. Вивчення процесу деформування в гірських породах проводилось шляхом аналізу діаграм динамічного деформування гірських порід /рис. 1/. Інформацією для побудови таких діаграм були дані обробки осцилограм експериментів про часову зміну напружень і деформацій в дослідних зразках гірських порід.

Аналіз результатів експериментальних досліджень впливу нерівномірності динамічного навантаження на об'ємне деформування порід-колекторів нафти і газу показав, що підвищення нерівномірності навантаження призводить до збільшення деформацій розущільнення, що проявляється в збільшенні об'єму зразка породи. При

цьому для стійкого розуцільнення структури породного масиву необхідно виконання умови $\zeta \leq 0,1 \dots 0,13$.

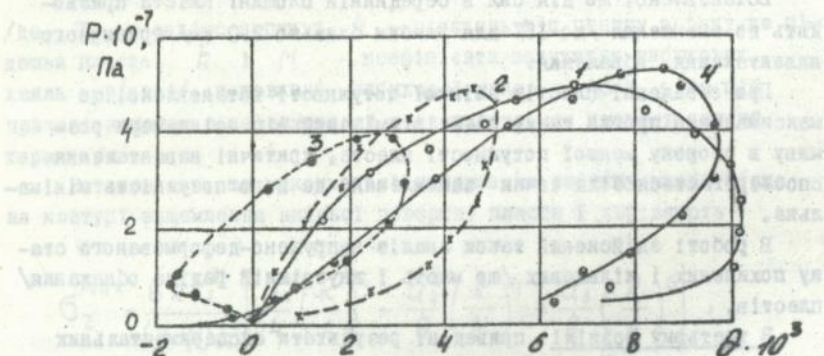


Рис. 1. Діаграми об'ємного деформування гірських порід:

- 1 - алевалїт; 2 - вапняк; 3 - пісковик;
4 - аргїліт

Розуцільнення порід при нерівномірному динамічному навантаженні позначається на їх механічних характеристиках. Встановлено, що при незворотньому розуцільненні величиною 0,5% границя пружності в міцних породах зменшується в 4,3 рази, в більш слабких породах це зняження менш відчутно і складає не більше 2,5...3,2 рази. Із зростом нерівномірності навантаження границя пружності порід і величина їх зчеплення зменшуються, коефіцієнт внутрішнього тертя від виду напруженого стану практично не залежить. Збільшення кількості нерівномірних навантажень призводить до зняження величини модуля Юнга в 2,0...4,0 рази і величини зчеплення порід до 4-х раз при 3-х кратній дії. Особливо різко знижується величина зчеплення в кам'яній солі /в 8-10 разів при 3-х кратній дії/, що вказує на доцільність використання багаторазового навантаження для зняження її характеристик міцності.

Встановлене зняження величин характеристик міцності порід а отже і амплітуди напружень їх руйнування при збільшенні нерівномірності навантаження, використано як фізичну основу при розробці вибухових методів інтенсифікації роботи геотехнологічних

свердловин. Зміна напруженого стану в імпульсі в сторону збільшення параметру ζ викликає збільшення амплітуди напружень руйнування, і як наслідок, зростання затрат енергії на перехід породи в граничний стан, що призводить до зниження ефективності вибуху. Навпаки, зменшення напружень руйнування досягається при збільшенні нерівномірності навантаження /в тому числі і при від'ємних значеннях ζ /.

Таким чином, зміною виду напруженого стану порід досягається зміна їх механічних характеристик, що дозволяє ефективно керувати вибухом в процесі вибухової обробки привибійних зон свердловин.

В результаті експериментальних досліджень поведінки зразків кам'яних солей при динамічних навантаженнях встановлено, що нерівномірне навантаження солі з показником $\zeta = 0,3$ супроводжується ущільненням її структури. При зростанні нерівномірності навантаження, уже при $\zeta = 0,26$, спостерігається стійкий деформаційний процес розуцільнення структури кам'яної солі /рис. 2/. Приміром, у пісковиків стійке розуцільнення їх структури відбувається при $\zeta \leq 0,12$. Це вказує на більш високу доступність керування фізичним станом солей порівняно з іншими гірськими породами.

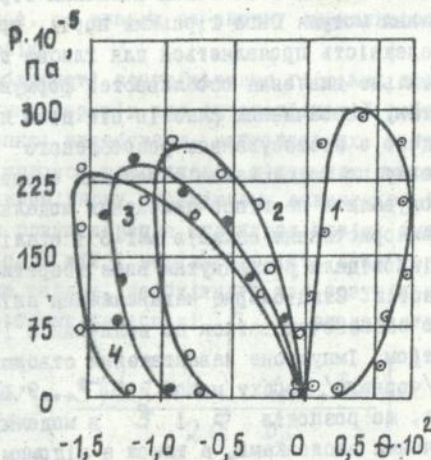


Рис. 2. Діаграми об'ємного деформування кам'яної солі:

1-4 - $\zeta = 0,3; 0,26; 0,18; 0,1$, відповідно

В експериментах з імітацією гірського тиску встановлено, що підвищення гірського тиску зменшує розуцільнення пісковиків, проте незворотня складова об'ємної деформації остається помітньою / $\sim 0,1\%$ / і в області глибин 3...5 км.

При динамічних навантаженнях кам'яних солей з показником $\xi = 0,1...0,26$ зростання гірського тиску також веде до зменшення розуцільнення структури солі / так, із збільшенням гірського тиску від 0 до $2 \cdot 10^7$ Па незворотня об'ємна деформація розуцільнення зменшується з $-0,57...-1,21 \cdot 10^{-2}$ до $-0,52...-1,11 \cdot 10^{-2}$, тобто в 1,1 рази/. В області же малих навантажень / менше 10^7 Па / при невеликій нерівномірності напруженого стану збільшення гірського тиску може змінити деформаційний процес розуцільнення солі в сторону ущільнення її структури. Для інтенсифікації розуцільнення солей в цьому випадку необхідно створювати режим динамічного навантаження, що характеризується високим показником нерівномірності навантаження $\xi = 0,1...0,15$. При напруженому стані, що спричинює ущільнення солі / $\xi > 0,3$ / збільшення гірського тиску призводять до зміцнення породи і зростання опору деформуванню.

Встановлено також, що збільшення величини гірського тиску спричинює зростання модуля Юнга гірських порід, причому найбільш інтенсивно ця залежність проявляється для глибин до 2,5 км.

Експериментальне вивчення особливостей формування напружено-деформованого стану нерозчинних пластів під дією примусових навантажень проведено з застосуванням розробленого / під керівництвом автора / стенду по моделюванню обвалення оголених пластів. Дослідження виконувались на гіпсо-цементних моделях гірських порід, а також з використанням сплавів АМг-6 і сталі Ст 3. Схеми експериментів відповідали розглянутим вище теоретичним схемам навантаження пластів. Стационарне навантаження здійснювалось гідронасосом, що забезпечував тиск до величини $8 \cdot 10^5$ Па і контролювалось манометром. Імпульсне навантаження створювалось вибухом заряду димного / чорного / пороху масою $3 \cdot 10^{-3}...9 \cdot 10^{-3}$ кг.

Встановлено, що розподіл σ і ϵ в моделях пластів співпадає з теоретичними висновками, а також з відомим розв'язком задачі С.Жермен. Гранічний стан моделей / в силу різниці σ_0 і σ_p / виникає в точках защемлення пласта на поверхні, що навантажуються. Розбіжність теоретичних і експериментальних значень не перевищує 15-20%. Вибухове руйнування пластів показало, що роз-

ЛІТЕРАТУРА
ЛІТЕРАТУРА

рахункова маса заряду відрізняється від фактично граничної не більше 10%, що говорить про достатню надійність як застосовуваного способу руйнування нерозчинних пластів, так і розробленого теоретичного методу розрахунку параметрів вибухового навантаження.

В четвертому розділі на основі встановлених закономірностей поведінки порід при нерівномірних динамічних навантаженнях розроблені нові технології вибухових робіт і раціональні конструкції зарядів /торпед/. В умовах геотехнологічних свердловин керування видом напруженого стану породи при вибусі здійснюється шляхом суперпозиції вибухових хвиль від дії декількох зарядів /частин торпеди/, що вибухають із сповільненням і забезпечують зміщення хвиль на час фази стиску $\sigma_3(t)$ і періоду наростання тиску. В першому випадку нерівномірність навантаження зростає за рахунок зменшення $\sigma_3(t)$ в результуючому імпульсі; умови для дилатансійного розушлінення виникають практично з появою імпульсу від другого заряду і зберігаються на протязі всього часу його дії. Наявність двогорбової конфігурації імпульсної дії дозволяє використовувати ефект зниження міцності порід при послідовних навантаженнях. В другому варіанті нерівномірність напруженого стану зростає до 3-х раз, що вказує на значну ефективність методу для розушлінення порід.

Виявлені особливості розушлінення гірських порід покладені в основу розрахунку зарядів для інтенсифікації роботи свердловин різного призначення: випробувальних, нагнітальних, а також при розмиванні солей в процесі спорудження підземних смістей. Дослідженнями при нерівномірному динамічному навантаженні визначаються оптимальні умови розушлінення структури порід: амплітудні характеристики імпульсної дії і нерівномірність напруженого стану ζ .

Загальна маса заряду, необхідного для розушлінення породного масиву в потрібному інтервалі h_n , визначається за формулою

$$Q = \left[\frac{3(h_n - R_T) - v_p b + h_n}{2a + v_p} \right]^3,$$

де R_T - радіус зони макроруйнувань в породному масиві при вибусі заряду; v_p - швидкість поздовжніх хвиль в гірській породі;

a_+ і b_+ - експериментальні коефіцієнти, що характеризують тривалість вибухових хвиль.

Вибухова обробка нерозчинних пластів виконується до початку технологічного процесу розмивання ємності, чи при повному /частковому/ обнаженні нерозчинного пласта в процесі розмивання. При цьому роботи можуть виконуватись в режимі дилатансійного розущільнення породи пласта по досягненню умов його самообвалення в процесі розмивання, або в режимі вибухового обвалення. В першому випадку, враховуючи установлене зниження міцності породи пласта при послідовних нерівномірних навантаженнях, встановлюється необхідна кількість вибухових навантажень на пласт для досягнення умов його самообвалу. Розрахунок зарядів при обнаженні нерозчинних пластів і реалізації необхідного для обвалення прогину пласта в сторону його вільної поверхні виконується за вище приведеними залежностями /11/ і /12/.

Практичні розрахунки для найбільш характерних варіантів спорудження підземних сховищ показали, що необхідна маса заряду по умовах розміщення порід і обвалення пластів забезпечує виконання співвідношення $\lambda \gg h$, що підтверджує справедливність розроблених вище теоретичних моделей.

Допустима маса заряду по умові стійкості і герметичності обсадної колони геотехнологічної свердловини визначається її збереженням в небезпечному перерізі. Якщо потрібна маса заряду перевищує допустиму, застосовуються методи гасіння вибухових хвиль, що забезпечують зниження амплітуди вибухової хвилі до величини $P \leq P_{\delta}$, де P_{δ} - гранично допустиме значення тиску в небезпечному перерізі колони.

Практична реалізація розроблених технологій забезпечується застосуванням торпед спеціальної конструкції. Сумарний заряд торпеди складається із двох /і більше/, рознесених по довжині торпеди, частин зарядів. Необхідне сповільнення вибуху частин зарядів в торпеді створюється відрізком детонуючого шнура відповідної довжини, що розміщується в міжзарядному проміжку. Заряди вміщуються в спеціальну оболонку /корпус торпеди/ для попередження руйнування торпеди при опусканні її в розрахунковий інтервал обробки свердловини.

Натурне відпрацювання технологій вибухових робіт проведено на свердловинах комбінату "Неман" /Білорусь/, закладених для спорудження підземних сховищ методом розмивання. Глибина свердло-

вин - 1000-1100 м. Перспективною зоною для закладання сховищ являється інтервал кам'яної солі в межах глибин 920-1100 м. При проведенні натурних досліджень вивчалась ефективність розчинення солей при динамічному навантаженні масиву відповідно запропонованим схемам взаємодії хвильових процесів. Вибухова обробка свердловин проводилась в режимі дилатансійного розуцільнення соляного масиву із застосуванням зарядів гексогену загальною масою 10,0 кг, розділеною на дві рівновеликі частини по 5,0 кг кожна. Інтервал сповільнення між вибухами зарядів складав від $2,57 \cdot 10^{-4}$ до $4,23 \cdot 10^{-4}$ с, що забезпечувало обробку соляного масиву з показником нерівномірності навантаження ξ в межах значень 0,15...0,27. В результаті торпедування свердловин концентрація розсолу порівняно з регламентним розмиванням підвищилась в 3...4 рази. Встановлено, що при досягненні області, яка не зазнала вибухової обробки, концентрація розсолу суттєво знижується до рівня регламентного значення.

Натурні дослідження по обваленню нерозчинних пластів виконані на свердловині, в області розмивання I-го ступеня якої обнажився нерозчинний пласт алевроліту з радіусом обнаження $R = 6,1$ м і потужністю 1,7 м, що призвело до зниження ефективності робіт по розмиванню смісті. Відповідно розрахунку необхідна маса заряду для обвалення пласта 17,8 кг. Торпеда складалась із двох рівновеликих зарядів гексогену масою по 8,9 кг кожний, підірваних із інтервалом сповільнення рівним $3 \cdot 10^{-4}$ с. В результаті вибухових робіт відбулося обвалення пласта в межах його обнаження, що підтверджено паними локації камери розмиву після торпедування. Одночасно збільшилась концентрація розсолу до 280 г/л /при 120 г/л до початку виконання вибухових робіт/.

В п'ятому розділі викладені результати промислових досліджень по інтенсифікації роботи видобувних та нагнітальних свердловин з використанням розроблених вибухових методів дії на привибійну зону пластів. Впровадження робіт виконувалось на нафтових свердловинах Астраханського НГВУ і нагнітальних свердловинах полігону промствків ДП "Астраханьгазпром".

При дослідженні нафтових свердловин застосовувався метод усталених відборів. По паним гідродинамічних досліджень свердловин були встановлені індикаторні діаграми і знаходились коефіцієнти продуктивності свердловин і основні параметри привибійних зон пластів.

Дилатансійне розуцільнення порід-колекторів /пісковики/ привибійної зони в радіусі вибухової обробки масиву прогнозованому в межах 6,0 м здійснювалось ультракороткосповільненим вибухом зарядів в торпеді /загальною масою 15,9 кг/, що забезпечувало нерівномірність навантаження масиву з показником $\xi = 0,1$. Вибухова обробка свердловин здійснювалась з використанням торпед, конструкція яких розроблена в ІГФ НАН України.

В результаті торпедування свердловин згідно рекомендованої технології підвищились коефіцієнти проникності і гідропроводності ПЗП, поліпшилась рухомість нафти, внаслідок чого продуктивність свердловин підвищилась в 1,3...1,4 рази.

Причиною швидкого зростання тисків на усті нагнітальних свердловин і зниження їх приємності в умовах Астраханського ГПЗ являється досить складний склад промстоків: високий вміст вуглеводневого концентрату, сірководню, лужний склад стоків, із-за чого в ПЗП випадають у вигляді осадків сірка, гідрати окисів кальцію і магнею, інколи вуглеводневий конденсат знижує проникність колекторів аж до повного їх "запирання". Застосування соляно-кислотних обробок на певний період /від 2-х до 3,5 місяців/ частково відновлює приймальність свердловин. При цьому відзначається поступове зменшення ефективності СКО, а частоту їх проведення прийшлося збільшити до 6...8 раз на рік на кожну нагнітальну свердловину. В таких умовах було здійснено торпедування свердловин згідно методики, що основана на розуцільненні масиву в ПЗП під дією нерівномірних динамічних навантажень.

До початку вибухових робіт з використанням методу відновлення тиску визначались коефіцієнти проникності віддаленої зони пластів, радіуси забруднення ПЗП і скін-ефект. Окрім того, по встановленому коефіцієнту продуктивності свердловин методом усталених відборів визначались також коефіцієнти проникності ПЗП. Зіставлення даних гідродинамічних досліджень виявило, що для досліджуваних свердловин характерні високі значення скін-ефекту /2,9...13,0/ і глибокі області забруднення ПЗП /4,3...5,9 м/. Для підвищення коефіцієнту проникності ПЗП і доведення його до рівня близького до значень у віддаленій зоні здійснено торпедування свердловин в режимі ультракороткосповільненого вибуху зарядів, маси яких вибирались із врахуванням радіусів забруднення ПЗП і складали від 3,5 до 10 кг. В результаті вибухового розуцільнення масиву в ПЗП продуктивність нагнітальних свердловин підвищилась в 6,2...7,9 раз

зи, Заслуговує особливої уваги факт стійкості одержаного ефекту з часом /він 10 по 17 місяців/.

Загальний економічний ефект від впровадження запропонованих вибухових методів інтенсифікації роботи нафтових і нагінтальних свердловин склав 2,1 млн.крб. /в цінах 1990 р./.

У шостому розділі викладений досвід промислового впровадження вибухових методів інтенсифікації спорудження підземних сховищ в кам'яних солях в складних гірсько-геологічних умовах. Впровадження розроблених методів торпедування свердловин здійснено при спорудженні підземних сховищ в кам'яній солі /комбінат "Неман", ПП "Астраханьгазпром"/.

В результаті послідно-промислових робіт встановлено, що застосування розроблених методів і технологій провадження вибухових робіт дозволяє:

при розмиванні підземних сховищ в кам'яній солі підвищити концентрацію розсолу в найбільш трудомісткій початковій стадії формування ємності в 3-4 рази із збільшенням її до граничного значення на протязі 3-х місяців розмивання, скоротити час спорудження одиничного об'єкту на 205 днів, знизити витрати електроенергії на 3,78 млн.квт.год і технологічної води на 317,0 тис.м³;

при наявності нерозчинних включень, пропластків і пластів розуцільнити їх структуру, зменшити міцність несолоних порід по рівня, який забезпечує їх самообвалення в процесі розмивання ємностей, що дозволяє в складних гірсько-геологічних умовах споруджувати камери потрібної форми і об'єму, зменшити витрати розчинника в 3,25 рази, скоротити час розмивання ємності на 100 днів;

при появі оголених нерозчинних пластів в процесі розмивання сховища обвалити пласт по контуру його обнаження, різко збільшити концентрацію розсолу до 280 г/л і скоротити період спорудження ємності на 99 днів.

Економічний ефект від впровадження результатів досліджень при спорудженні підземних сховищ в кам'яних солях складає 2,7 млн.крб. /в цінах 1990 р./.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

В дисертаційній роботі здійснено теоретичне узагальнення і вирішення крупної наукової проблеми дослідження і розробки вибухових методів інтенсифікації роботи свердловин різного цільового

призначення на основі направленої зміни фізико-механічних властивостей порід привибійних зон пластів при вибуховому їх навантаженні. Робота включає вивчення закономірностей розвитку зон руйнування при вибухах в гірській породі, особливостей розповсюдження хвиль в попередньо напруженому породному масиві, особливостей розуцільнення і розміцнення порід-колекторів нафти і газу та соляних порід при нерівномірних динамічних навантаженнях, в т.ч. при наявності гірського тиску; дослідження напружено-деформованого стану нерозчинних пластів міцних гірських порід під дією примусових навантажень при розмиванні підземних сховищ в кам'яних солях; розробку методів керування вибухом і створення технічних засобів для їх реалізації з метою інтенсифікації видобутку вуглеводнів і спорудження підземних ємностей для їх зберігання в кам'яносоляних структурах.

Основні наукові і практичні результати, висновки і рекомендації, одержані при виконанні досліджень і впровадженні розробок в промисловість, полягають в наступному:

1. Вперше розроблена математична модель визначення зони руйнування при камуфлетному вибусі в пласті крихкої гірської породи; встановлено, що радіус області вибухового руйнування зменшується при збільшенні міцності породи, однак ця залежність слабка; зміна міцності породи в 4,1 рази призводить до зміни радіуса зони дробіння породи в 1,08, а зони радіальних тріщин всього в 1,01 рази;

підвищення початкового тиску вибуху не дає суттєвого приросту області руйнувань;

із збільшенням відстані від заряду приріст пористості в зруйнованому вибухом середовищі зменшується і прямує до величини $2,0 \dots 7,0 \cdot 10^{-2}\%$ на границі зони радіальних тріщин.

2. Експериментально встановлено, що вид напруженого стану впливає на механічні властивості гірських порід; зниження характеристик міцності порід в результаті збільшення нерівномірності навантаження масиву може досягати 1,5...2,0 і більше разів.

3. Досліджено в лабораторних умовах поведінку гірських порід при дії динамічного навантаження і встановлено:

підвищення нерівномірності навантаження породного масиву сприяє збільшенню деформацій розуцільнення; для стійкого розуцільнення структури основних типів порід-колекторів нафти і газу необхідно, щоб показник нерівномірності навантаження ζ знаходився

в межах значень $0,1 \dots 0,13$, при цьому незворотня складова об'ємної деформації розуцільнення складає $60 \dots 75\%$ її максимального значення;

стійке розуцільнення структури кам'яних солей спостерігається уже при $\xi = 0,26$, що значно вище, ніж для більш міцних порід; подальше зменшення ξ по значень $0,1 \dots 0,15$ призводить до більш інтенсивного розуцільнення і супроводжується незворотною деформацією солей в межах значень $-0,57 \dots -1,21 \cdot 10^{-2}$, що отримано вперше;

найбільш суттєво розуцільнення гірських порід впливає на величину їх зчеплення, із зростанням нерівномірності і кількості навантажень величина зчеплення зменшується в $4 \dots 10$ разів.

4. Гірський тиск послаблює калатансієне розуцільнення гірських порід, проте величина його суттєва $\sim 0,1\%/t$ в області глибини $3 \dots 5$ км. Для кам'яної солі в області малих навантажень /менше 10^7 Па/ наявність гірського тиску при невисокій нерівномірності динамічного навантаження може змінити характер деформаційного процесу із розуцільнення солі в сторону ущільнення її структури.

5. Вперше показано, що гірський тиск призводить до появи асиметрії поля напружень і деформацій в твердому середовищі навколо осередку збурень, спричинюючи її збільшення в сторону поверхні Землі; чим ближче до джерела навантаження, тим асиметрія зміцень в середовищі менш помітна.

6. Вперше встановлені граничні умови примусового обвалення нерозчинних пластів міцних гірських порід при їх обнаженні в процесі розмивання підземних смостей в кам'яних солях і доведено:

гранична рівновага нерозчинних пластів визначається інтенсивністю навантажень розтягу на контурі защемлення незалежно від форми пласта і геометрії розташування його в смості розмивання;

при змінній потужності пласта, максимальний прогин зміщується від центра пласта в сторону його мінімальної потужності; найбільші напруження піють на контурі защемлення, де потужність пласта мінімальна;

для похилених пластів необхідне для їх обвалення навантаження збільшується із зростанням кута нахилу пласта;

вплив сил, що діють в серединній площині пласта на його прогин невеликий і в інтервалі доцільних глибин закладання підземних сховищ /по $0,7 \dots 1,5$ км/ граничне навантаження, необхідне для

обваления пласта, зменшується на 5...15%.

7. Розроблені ефективні схеми розуцільнення гірських порід в привибійній зоні пластів, основані на суперпозиції хвильових процесів, що забезпечується вибухом торпед в режимі ультракороткосповільненого вибуху.

8. Розроблені методи примусового обвалення нерозчинних пластів при спорудженні підземних сховищ в кам'яних солях в складних гірсько-геологічних умовах:

при самообваленні нерозчинних пластів необхідна кількість вибухових навантажень визначається із врахуванням зниження міцності порід при нерівномірному динамічному навантаженні масиву;

при обваленні оголених пластів розроблено вибуховий метод, що реалізує прогин пласта в сторону поверхні, вільної від розсолу.

9. Розроблені методика і нормативна документація по застосуванню рекомендованих технологій вибухових робіт при інтенсифікації роботи геотехнологічних свердловин різного призначення.

10. Запропоновані методи і технологія провадження вибухових робіт в геотехнологічних свердловинах перевірені в натурних умовах, пройшли дослідно-промислову перевірку, що показала високу ефективність їх застосування:

при експлуатації свердловин продуктивність нафтових свердловин підвищується в 1,3...1,4 рази, нагнітальних - в 6,2...7,9 рази; позитивний ефект стійкий в часі і зберігається на протяжці 10...17 місяців:

при будівництві крупних підземних сховищ в кам'яній солі: концентрація розсолу в найбільш трудомісткій початковій стадії формування ємності збільшується в 3-4 рази, фактична подача розчинника зменшується в 1,5...2,0 рази, тривалість розмивання однічної ємності зменшується на 180-205 днів при економії електроенергії 3,78 млн.квт.год.

11. Результати досліджень впроваджені при підвищенні ефективності роботи нафтових свердловин Астраханського НГБУ і нагнітальних свердловин полігону промислових стоків Астраханського газопереробного заводу, а також при спорудженні підземних сховищ в кам'яній солі на свердловинах комбінату "Неман" і ДП "Астрахань-газпром".

Загальний підтверджений економічний ефект від впровадження результатів досліджень в народне господарство складає 4,8 млн. крб. /в цінах 1990 р./.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО
В НАСТУПНИХ РОБОТАХ

1. Кучерявий Ф.И., Нагорный В.П. Дифференциальные уравнения пробления массива взрывом одиночного заряда.- Изв.вузов. Горн. журн., 1979, № 7, с.57-65.
2. Кучерявий Ф.И., Нагорный В.П. Динамические характеристики пробления массива взрывом одиночного заряда.- Изв.вузов. Горн.журн., 1979, № 9, с.43-48.
3. Кучерявий Ф.И., Нагорный В.П. Дифференциальная модель пробления трещиноватой среды взрывом одиночного заряда.- Изв. вузов. Горн.журн., 1979, № 12, с.48-53.
4. Нагорный В.П. О перспективах применения порохоподобных вымачноселитренных ВВ при добыче природных блоков.- Промышл. рудн. и неметаллорудн. материалов.- М.: ВНИИЭСМ, 1984, № 4, с.8-10.
5. Кучерявий Ф.И., Нагорный В.П. Математическая модель процесса трещинообразования скальных пород взрывом двух зарядов.- Изв.вузов. Горн.журн., 1984, № 7, с.50-54.
6. Кучерявий Ф.И., Нагорный В.П. К вопросу выбора оптимального времени замедления при КЗВ.- Колыма, 1984, № 8, с.20-24.
7. Кучерявий Ф.И., Бойко В.В., Нагорный В.П. Повышение эффективности и сейсмобезопасности взрывных работ в условиях Волинского месторождения серы.- Горн. журн., 1984, № 10, с.24-27.
8. Денисюк И.И., Нагорный В.П., Чуриков В.А. К вопросу выбора частотного диапазона измерительного канала при регистрации взрывных волн.- В кн.: Взрывные работы в грунтах и скальных породах.- Киев: Наук.думка, 1986, с.91-93.
9. Нагорный В.П. Самообрушение нерастворимого пласта при геотехнологических процессах в каменной соли.- Физ.-техн.пробл. разраб.полезн.ископаемых, 1987, № 5, с.107-110.
10. Нагорный В.П. Взрывное обрушение нерастворимого пласта переменной мощности при сооружении подземных хранилищ.- Изв. вузов. Горн.журн., 1988, № 6, с.48-53.
11. Нагорный В.П., Глоба В.М. Обрушение обжатых пластов наклонного залегания под действием статической нагрузки.-Изв. вузов. Горн.журн., 1989, № 3, с.35-38.
12. Нагорный В.П. Обрушение нерастворимого пласта под совместным действием распределенной нагрузки и равномерного сжатия в срединной плоскости.- В кн.: Горные породы при динамических

нагрузках.— Киев: Наук.думка, 1989, с.64-68.

13. Метод интенсификации начальной стадии подземного выщелачивания солей и других соединений /А.В.Михалюк, В.П.Нагорный, В.А.Чуриков, А.В.Яцков, А.Ю.Кондратенко, Ю.А.Нечаев, Л.К.Дубровский.— Киев, Ин-т геофиз. АН УССР, 1989.— 3 с.

14. Технология взрывного обрушения нерастворимых отложений при выщелачивании подземных емкостей в солях /А.В.Михалюк, В.П.Нагорный, А.Ю.Кондратенко, Л.К.Дубровский, Ю.А.Нечаев, Н.Н.Пекарь, Н.А.Гнедько.— Киев, Ин-т геофиз. АН УССР, 1990.— 3с.

15. Нагорный В.П., Глоба В.М., Кобасова Т.Е. Взрывное разрушение пласта горной породы при выщелачивании подземных хранилищ в каменных солях.— Изв.вузов. Горн.журн., 1990, № 10, с.83-89.

16. Нагорный В.П. Напряженное состояние обнаженного пласта наклонного залегания при его обрушении в подземной емкости.— В кн.: Теория и практика совершенствования технологии взрывных работ.— Киев: Наук.думка, 1990, с.11-15.

17. Нагорный В.П. Обрушение нерастворимых пластов при выщелачивании подземных хранилищ.— Киев, ин-т геофиз. АН УССР, 1990.— 38 с.

18. Нагорный В.П. Разрушение пластовых отложений под влиянием взрывных волн при сооружении емкостей в соляных массивах.— Киев, Ин-т геофиз. АН УССР, 1990.— 32 с.

19. Технология увеличения приемистости нагнетательных скважин /А.В.Михалюк, В.П.Нагорный, В.С.Семенякин, А.И.Банькин, Н.А.Филиянский.—Киев, Ин-т геофиз. АН УССР, 1991.— 3 с.

20. Нагорный В.П., Глоба В.М., Кобасова Т.Е. Взрыв в пласте горной породы вблизи границы раздела сред.—Изв.вузов.Горн.журн., 1991, № 6, с.13-18.

21. Нагорный В.П., Глоба В.М., Гнедько Н.А. Определение границ взрывного разрушения в нерастворимых пластах при размыве подземных хранилищ в соли.— В кн.: Взрывные работы в геотехнологии.— Киев, Наук. думка, 1991, с.21-32.

22. Нагорный В.П., Кондратенко А.Ю., Пекарь Н.Н. Исследование взрывного обрушения нерастворимых пластов при строительстве подземных емкостей в соли.— В кн.: Взрывные работы в геотехнологии.— Киев, Наук.думка, 1991, с.37-44.

23. Торпедирование нагнетательных скважин на Астраханском ГМ /А.В.Михалюк, В.П.Нагорный, В.С.Семенякин, А.И.Банькин, Н.А.Филиянский.— Газовая промышленность, 1991, № 10, с.8-9.

24. Нагорный В.П., Глоба В.М., Кобасова Т.Е. Камуфлетный взрыв в твердой однородной породе. — Изв. вузов. Горн. журн., 1991. № 11, с.66-72.

25. Нагорный В.П., Кондратенко А.Ю. Напряженно-деформированное состояние защемленных по контуру пластов под действием статической нагрузки. — В кн.: Деформируемые среды при импульсных нагрузках. — Киев: Наук. думка, 1992, с.76-81.

26. Нагорный В.П., Кондратенко А.Ю. Разрушение нерастворимых пластов при строительстве подземных хранилищ в каменной соли. — В кн.: Моделирование динамики деформируемых сред. — Киев: Наук. думка, 1993, с.107-113.

27. Нагорный В.П. Разрушение нерастворимого пласта горной породы при взрыве ВВ в соляном массиве. — В кн.: Моделирование динамики деформируемых сред. — Киев: Наук. думка, 1993, с.115-123.

28. Нагорный В.П. Взрывное обрушение нерастворимого пласта при строительстве подземных хранилищ глубокого заложения. — В кн.: Нетрадиционные технологии взрывных работ. — Киев: Наук. думка, 1993, с.91-97.

29. Нагорный В.П. Влияние теплового поля подземного взрыва на кевит нефтяной скважины. — В кн.: Нетрадиционные технологии взрывных работ. — Киев: Наук. думка, 1993, с.143-146.

30. Рекомендации по торпедированию нагнетательных скважин для увеличения их приемистости /А.В.Михалюк, В.П.Нагорный, А.Ф.Ильин, А.И.Банькин, Н.А.Филианский, В.С.Семенякин. — Киев, Ин-т геофиз. АН Украины, 1993. — 18 с.

31. Нагорный В.П. Особенности распространения волн в предварительно напряженном породном массиве. — Киев, Ин-т геофиз. НАНУ, 1995. — 8 с.: Дел. в ГНТБ Украины 19.09.95 г., № 2147 - Ук. 95.

32. Михалюк А.В., Нагорный В.П. Неравномерное динамическое нагружение солевых и несолевых пород при сооружении подземных хранилищ в каменносоляных структурах. — Киев, Ин-т геофиз. НАНУ, 1995. — 16 с.

33. Михалюк А.В., Нагорный В.П. Взрывные работы при строительстве подземных хранилищ в каменной соли методом размыва. — Киев, Ин-т геофиз. НАНУ, 1995. — 26 с.

Особистий внесок дисертанта в розробку наукових результатів, що виносяться на захист:

1 - розроблена математична модель пробіння ізотропного і од-

ворітного середовища при вибусі одного заряду; 2 - проведений аналіз пробіння середовища вибухом заряду; 3 - розроблена математична модель вибухового руйнування тріщинуватого середовища; 5 - розроблена математична модель розвивання тріщин в скальній породі при вибусі двох зарядів; 6 - розроблена формула для визначення оптимального часу сповільнення підриву зарядів; 7 - запропоновані схеми провалження вибухових робіт, що підвищують ефективність пробіння скальних порід; 8 - запропоновано метод встановлення верхньої межі частотного діапазону вимірвальної системи при реєстрації вибухових хвиль; II - розроблені умови обвалювання оголених похилених пластів; I3 - запропоновано використати створену вибухом тріщинуватість в середовищі для прискорення початкової стадії розмивання ємностей в кам'яних солях; I4 - запропонована технологія вибухового обвалення нерозчинних відкладів при спорудженні підземних сховищ в соляних масивах; I5 - розроблена теоретична модель вибухового руйнування пласта гірської породи; I9 - запропонована технологія підвищення прийнятності нагнітальних свердловин з використанням енергії вибуху; 20 - виконані теоретичні дослідження вибуху сферичного заряду поблизу границі розділу нерозчинного пласта і кам'яної солі; 2I - розроблені співвідношення по визначенню межі вибухового руйнування в пласті гірської породи; 32 - розроблений дослідний стенд для моделювання обвалення нерозчинних пластів; виконано порівняння теоретичних висновків з експериментальними даними по обваленню пластів; 23 - запропоновано і впроваджено торпедування нагнітальних свердловин в режимі короткосповільненого вибуху для підвищення проникності їх привибійних зон; 24 - розроблена схема розрахунку для прогнозування результатів дії камуфлетного вибуху в твердому однорідному середовищі; 25 - розроблена методика вимірювання напружень і виконаний аналіз напруженого стану пласта при дії статичного навантаження; 26 - розроблені співвідношення по розрахунку граничного навантаження на пласт для його обвалення; 30 - розроблена технологія торпедування нагнітальних свердловин для збільшення їх прийнятності; 32 - проведений аналіз поведінки соляних і нерозчинних порід при нерівномірних динамічних навантаженнях; 33 - розроблені технології вибухових робіт впроваджені при інтенсифікації спорудження підземних сховищ в кам'яних солях. Решта II робіт виконані дисертантом особисто в повному об'ємі.

Дисертант

В.П. Нагорний

В.П. Нагорний

А Н Н О Т А Ц И Я

Нагорный В.П. Интенсификация добычи природных углеводородов и сооружения подземных емкостей для их хранения с использованием энергии взрыва.

Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени доктора технических наук по специальностям: 05.15.06 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений; 05.15.13 – Сооружение и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ. Открытое акционерное общество "Украинский нефтегазовый институт" АО "УкрНГІ", Киев, 1995.

Защищается 33 научные работы, которые содержат теоретические исследования разрушающего действия взрыва в горной породе, результаты экспериментальных исследований направленного изменения физико-механических свойств пород призабойной зоны пласта при его взрывном нагружении. Установленные закономерности использованы для разработки новых технологий использования энергии взрыва для интенсификации работы добычных и нагнетательных скважин, а также при размыве подземных емкостей в каменных солях. Осуществлено внепренние разработок и приводятся данные их эффективности.

А Н Н О Т А Ц И О Н

Нагорный В.П. Intensification of natural hydrocarbons output and underground constructions for their storage using the energy of an explosion.

Dissertation in a form of manuscript presented on a competition of the scientific degree of a Doctor of technical sciences on the specialities 05.15.06 – Development and operation of oil and gas fields; 05.15.13 – Construction and operation of gas and oil pipelines and storage facilities. Joint-Stock Company "Ukrainian Oil Gas Institute" "UkrNGI" JS Company, Kiev, 1995.

33 scientific works are being defended, which contain theoretical investigations of fracturing action of an explosion in rocks, results of experimental explorations of directed changes of physico-mechanical properties of rocks round the well under explosive loading. Established peculiarities were used to work out new technologies of blasting to intensify processes in oil and gas wells, absorbing wells and salt washing-out at underground storage construction. These technologies are introduced into practice and data of their efficiency are presented.

Ключові слова:

Взбух, видобуток, вуглеводні, заряд, інтенсифікація, кам'яна сіль, пласт, підземний, розушлінення, свердловина, спорудження, сховище.

AB 33.791

Підп. до друку 05.19.95.

Формат 60х84/16.

Папір друк. № 3. Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 1,81

Умовно фарбо-відб. 1,94. Обл.-вид. арк. 2,0

Тираж 100 прим. Зам. № 5-5198.

Фірма ВІПОЛ

252151 Київ-151, вул. Волинська, 60