

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ  
СІКОРСЬКОГО»

Павленко Ігор Леонідович

УДК 622.279:622.337

УДОСКОНАЛЕННЯ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ ПІД ДІЄЮ  
ВІБРАЦІННО-ХВИЛЬОВИХ ВПЛИВІВ

Спеціальність 184 – Гірництво

Автореферат  
магістерської дисертації  
на здобуття наукового ступеня магістра

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України на кафедрі геоінженерії.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,  
**Гайко Генадій Іванович**,  
Національний технічний університет  
України «Київський політехнічний  
інститут імені Ігоря Сікорського»,  
кафедри геоінженерії.

Захист відбудеться \_\_\_\_\_ на засіданні ДЕК кафедри геоінженерії в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» за адресою: 03056, Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 115, ауд. 511.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Упродовж останнього десятиліття у світовій енергетиці відбулося чимало змін, що зумовили нові тенденції розвитку нетрадиційних складових паливно-енергетичного комплексу.

Вичерпання конвенційних родовищ корисних копалин, дефіцит енергетичних ресурсів, нестабільність цін на енергоносії, складність видобутку віддалених родовищ – усе це змушує людство шукати альтернативні джерела енергії. В світі спостерігається зростання видобутку різних видів мінерального палива, але «сланцева революція» в Техасі (США), що стартувала на початку 2000-х років, відкрила великі перспективи нового потужного енергоресурсу - сланцевого газу й вивела США в лідери світового газовидобування. В Україні більш ніж півстолітній видобуток природного газу призвів до вичерпання значної кількості запасів конвенційного газу, зокрема найбільших на свій час європейських родовищ Дашавського та Шебелинського, які протягом десятиріч забезпечували газом не тільки Україну, але й Москву та європейську частину Російської Федерації. Сьогодні, коли питання енергонезалежності отримало в Україні не тільки економічне, але й політичне значення, виникла необхідність використання неконвенційних родовищ газу, в тому числі й видобутку сланцевого газу.

За оцінками експертів потенційні запаси сланцевого газу в Україні становлять від 2 до 30 трлн м<sup>3</sup>, що складає до 8 % від загального об'єму світових запасів сланцевого газу. Найбільш перспективними для розробки вважаються Юзівське і Олеське родовища.

У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження, присвячені проблемі збільшення ефективності видобутку сланцевого газу в Україні за допомогою вібраційно-хвильових технологій, що дозволить збільшити строк продуктивної експлуатації свердловин і покращити конкурентну спроможність видобутку сланцевого газу.

## **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційна робота виконувалась на кафедрі геоінженерії ІЕЕ КПІ імені Ігоря Сікорського відповідно до «Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року» (Закон України від 21 квітня 2011 року N 3268-VI).

**Метою роботи** є удосконалення видобутку сланцевого газу за допомогою вібраційно-хвильових впливів.

Для досягнення мети було поставлено такі **задачі**:

- провести аналітичний огляд літературних джерел та розкрити основні методи видобутку сланцевого газу;
- розглянути проблемні питання у сфері видобутку сланцевого газу і збільшення строку продуктивної експлуатації свердловин;
- спроектувати технологію розробки сланцевого покладу в умовах Юзівської площі;
- виконати розрахунок гідравлічного розриву сланцевого пласта;
- спроектувати гідроімпульсатор для забезпечення вібраційно-хвильових впливів на сланцевий пласт.

**Об'єктом дослідження** є сланцевий поклад, що вміщує метан.

**Предметом дослідження** є вплив вібраційно-хвильової технології на сланцевий пласт для збільшення дебіту газу і строку продуктивної експлуатації свердловин.

**Методи досліджень.** Для розв'язання поставлених задач обирався комплексний метод їх вирішення, що розглядає: аналіз літературних джерел і патентів (винаходів), дослідження нормативних матеріалів буріння свердловин, аналіз геологічних властивостей ділянки впровадження технології; аналітичне обґрунтування параметрів гідророзриву пласта; аналіз показників вібро-хвильової технології щодо збільшення ефективності видобутку сланцевого газу.

**Наукова і практична новизна** отриманих результатів міститься у наступному:

- обґрунтовані параметри гідророзриву пласта в гірничо-геологічних умовах свердловини: гірничий тиск; тиск розриву; визначення витрат тиску на тертя при русі суміші на НКТ; тиск на гирлі при проведенні процесу; допустимий тиск на гирлі; кількість насосних агрегатів; кількість рідин з урахуванням поверхневих комунікацій; час роботи агрегатів; радіус вертикальної тріщини.

- вдосконалено спосіб видобутку сланцевого газу за рахунок додаткової обробки свердловини вібраційно-хвильовими впливами;

- спроектований гідроімпульсатор і створена методика його застосування.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає в збільшенні дебіту продуктивної експлуатації свердловин з 21,621 тис. м<sup>3</sup>/добу до 57,566 тис. м<sup>3</sup>/добу і покращенні конкурентної спроможності видобутку сланцевого газу.

**Особистий внесок автора в роботи, опубліковані у співавторстві:**

Публікація одноосібна.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та окремі результати досліджень доповідалися й обговорювалися на конференції: «Перша науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ»

**Публікації:**

Павленко І.Л. УДОСКОНАЛЕННЯ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ ПІД ДІЄЮ ВІБРАЦІЙНО-ХВИЛЬОВИХ ВПЛИВІВ// Матеріали магістерської конференції ІЕЕ «Перша науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ». – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2018.

**Структура та обсяг роботи:** Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, опису використаних джерел, 8 демонстраційних аркушів. Загальний об'єм роботи складає 85 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі досліджень, наведено наукову і практичну цінність результатів дослідження, основні положення, які виносяться на захист і спрямовані на збільшення ефективності видобутку сланцевого газу за допомогою вібраційно-хвильової технології.

**Перший розділ** включає аналіз нормативних, технологічних, теоретичних і експериментальних матеріалів, щодо перспектив і способів видобутку сланцевого газу в світі та в Україні.

Важливою перевагою сланцевого газу є великі його запаси і широкий розподіл його родовищ по багатьом регіонам світу. Це дозволяє отримувати доступ до нього багатьом країнам, що може стати каталізатором перебудови як Європейського, так і світового газового енергетичного ринку.

Як засвідчує практичний досвід США, технології гідророзриву пласта не перебільшили загроз навколишньому середовищу, забрудненню підземних вод і природного ландшафту в порівнянні з традиційними технологіями видобутку нафти і газу, які також широко використовують гідравлічний розрив пластів. Це дозволяє, у випадку необхідності, розміщати свердловини в безпосередній близькості від його споживачів, знизити витрати на транспортування і, в кінцевому підсумку, на ціну газу.

Україна посідає четверте місце в Європі за обсягами запасів нетрадиційного газу. Це відкриває великі можливості для нарощування обсягів видобутку, дозволяє в перспективі відмовитися від імпорту природного газу, знизити витрати на виробництво продукції, в першу чергу енергомістких і експортно орієнтованих галузей (металургійні, коксохімічні, машинобудівні), підвищити конкурентоспроможність їхньої продукції, що є надзвичайно актуальною проблемою для України в умовах її інтеграційних прагнень до міжнародних структур.

Нарощування обсягів видобутку сланцевого газу та інших вуглеводневих ресурсів дозволить забезпечити газову незалежність та енергетичну безпеку країни.

Розглянуті основні етапи і процеси технології видобутку сланцевого газу, виявлені проблемні питання технології.

У **другому розділі** викладені інженерно-геологічні умови, запаси та організаційно-планувальні рішення щодо видобувної ділянки Юзівського родовища.

Проект освоєння родовища виконано згідно ГСТУ 41-00032626-00-007-97 Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші.

Юзівська ділянка знаходиться у Дніпровсько-Донецькому нафтогазоносному басейні на території двох областей: Донецької (Краснолиманський, Слов'янський, Олександрівський, Костянтинівський, Артемівський, Добропільський і Ясинуватський райони) і Харківської (Балаклійський, Ізюмський та Барвінківський райони). Розмір ділянки становить 7886 км<sup>2</sup>. Основним джерелом водопостачання є район неглибокого залягання, де горизонт мергельно-крейдянної товщі зазвичай характеризується багатоводністю і гарною якістю води. Тому розробка сланцевого пласта з глибини близько 4 тис. м з надійною ізоляцією вертикальної частини свердловини на глибину 4080 м забезпечить екологічну розробку родовища (не потрапляння хімічних реагентів у водні горизонти).

Наданий проект освоєння Юзівської площі свердловина Біляївська 400.

Об'єктом проектної діяльності є виконання робіт з випробування свердловини Біляївська 400 Павлівсько-Світлівської ділянки надр на приплив і інтенсифікація видобутку флюїдів.

Проектний горизонт на вибої - башкирський ярус середнього відділу кам'яновугільної системи.

Проектна глибина свердловини - 4120 м.

При виконанні робіт з освоєння родовища на приплив і інтенсифікації видобутку флюїдів запроектовано використання ділянки землі площею 6,0 га, що була попередньо виділена для буріння проектної свердловини.

Зелені насадження в межах майданчика відсутні.

Охорона природного середовища при виконанні робіт з випробування свердловини на приплив і інтенсифікації видобутку флюїдів складається з дотримання всіх технологічних вимог.

У зв'язку з значною віддаленістю об'єкта проектування від мережі електропостачання виконання проектних робіт проведено за допомогою обладнання з приводом від ДВЗ, а саме:

- для виконання робіт з інтенсифікації припливу - восьми насосів високого тиску SPF743 з приводами – ДВЗ 3512С DITA потужністю 1679 кВт (шість робочих та два резервних), та двох змішувальних установок з приводами – ДВЗ С 13 DITA потужністю 388 кВт;

- для виконання робіт з очищення вибою свердловини від залишків пропанту і розбурювання пробок-пакерів - колтбінгової установки з приводами – ДВЗ С-10 DITA потужністю 240 кВт, ДВЗ 3512В DITA потужністю 1679 кВт та ДВЗ 3406С DITA потужністю 340 кВт;

- для виконання геофізичних досліджень свердловини - установки кабельного каротажу (геофізичної станції) з приводом - ДВЗ DXi11 потужністю 280 кВт.

Для перекриття устя при газоводопроявленнях на ньому встановлюється противикидне обладнання (превентори).

З метою отримання припливу газу центральобасейнового типу з відкладів московського та верхньої частини башкирського ярусів середнього відділу кам'яновугільної системи передбачається освоєння 10-ти об'єктів в експлуатаційній колоні Ø 4½" (114 мм) в інтервалах 4120-5120 м. Всі інтервали почергово опрацьовано методом ГРП з подальшим сумісним видобутком флюїду.



Електрозабезпечення низьковольтних двигунів передбачається від дизель-генератора потужністю 280 кВт, в якості резервного монтується ще один дизель-генератор потужністю 280 кВт.

Для електрозабезпечення вагон-будинків використовується дизель-електростанція потужністю 100 кВт, в якості резервної монтується ще одна дизель-електростанція потужністю 100 кВт.

Вказаний комплекс обладнання та привишкових споруд розміщується на майданчику свердловини, територія якого укладена залізобетонними плитами. На цьому майданчику знаходяться чотири амбари-накопичувачі з відходами буріння, що утворилися при будівництві свердловини. Також на майданчику облаштовано амбар для зберігання води, яка буде повністю використана в технологічному процесі (приготування робочих рідин та інш.), а на етапі очищення свердловини та розбурювання пакер-пробок в нього буде поступати очищена за допомогою станції очисного обладнання рідина з свердловини, накопичуватися, а в подальшому вивозитися і використовуватися на наступній свердловині для проведення ГРП.

На майданчику свердловини розміщуються мобільні службові приміщення (вагон-будинки): вагончик майстра, вагончик охорони, кімната для нарад, офіси: представника компанії, геолога, майстрів та мобільні побутові приміщення (вагон-будинки): роздягальня, спальні вагончики, медпункт, кімната для кави, пральня, кухня, столова, підсобне приміщення кухні, холодильник, вагончик для продуктів.

Для свердловини проектується використання факельного викиду, який змонтовано в бік від населеного пункту.

Схема розташування обладнання на майданчику виконання робіт з випробування і інтенсифікації припливу наведена на (рис. 2.2).

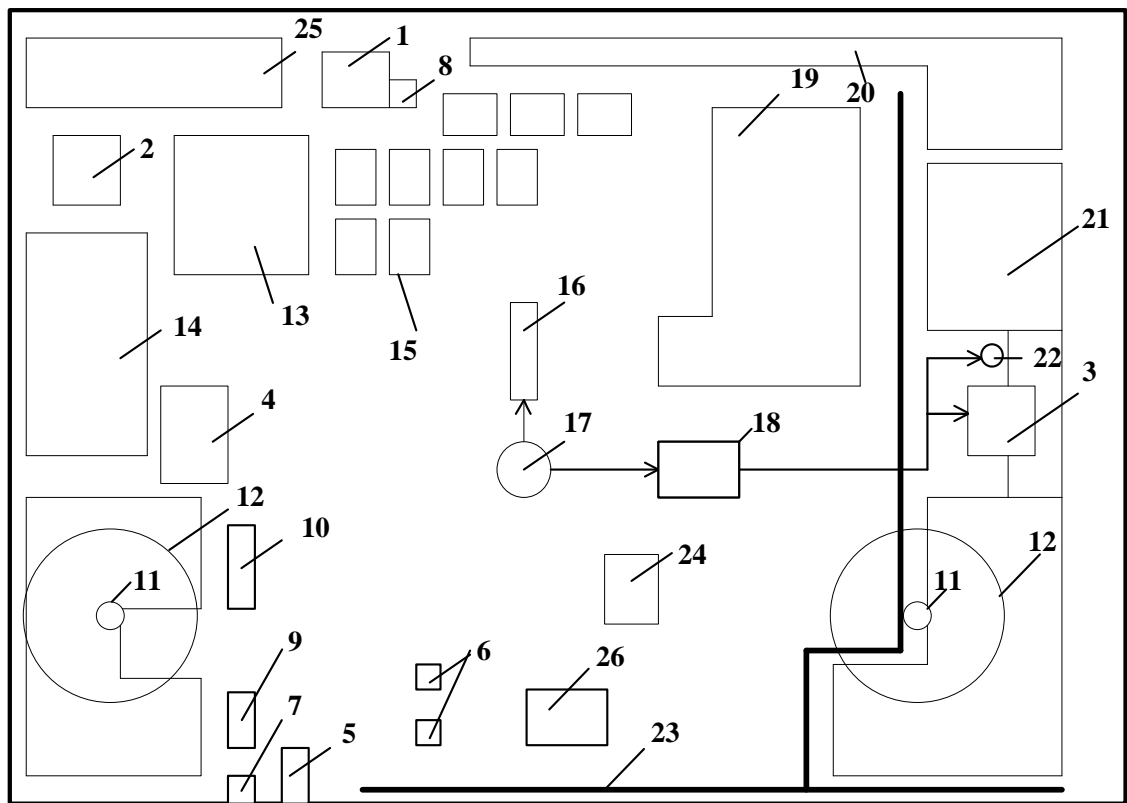


Рисунок 2.2 - Схема розташування обладнання на майданчику св. Біляївська 400: 1 – майданчик ємностей ПММ; 2 – резервуари запасу води; 3 – факельний амбар; 4 – факельний амбар; 5 – ємність каналізаційна; 6 – електрогенератор (1шт. робочий, 1шт. резервний); 7 – майданчик для зберігання твердих побутових відходів; 8 – майданчик зберігання моторної оливи (в тарі); 9 – місце для стоянки автотранспорту замовника; 10 - місце для стоянки автотранспорту сторонніх організацій; 11 - водяна свердловина; 12 – перший пояс ЗСО; 13 – амбар для зберігання води; 14 – склад ґрунту з амбару зберігання води; 15 – гнучка ємність для води; 16 – маніфольд; 17 – колона свердловин; 18 – сепаратор; 19 – амбар для бурового шламу; 20 – відвал для родючого ґрунту; 21 – склад ґрунту з шламового амбару; 22 – факел; 23 – труба 325; 24 – резервуари для зберігання газу; 25 – резервуар для відпрацьованої води; 26 - службові приміщення (вагон-будинки).

Проект виконання передбачає розробку продуктивної площі діаметром 2200 м, в центрі якої розташована центральна колона свердловин, а на глибині залягання покладу 4080 м від колони свердловини відходять 6

горизонтальних свердловин довжиною 1000 м. Розкривається сланцевий пласт потужністю 80 м, загальна продуктивна товща складає 251,2 млн м<sup>3</sup>.

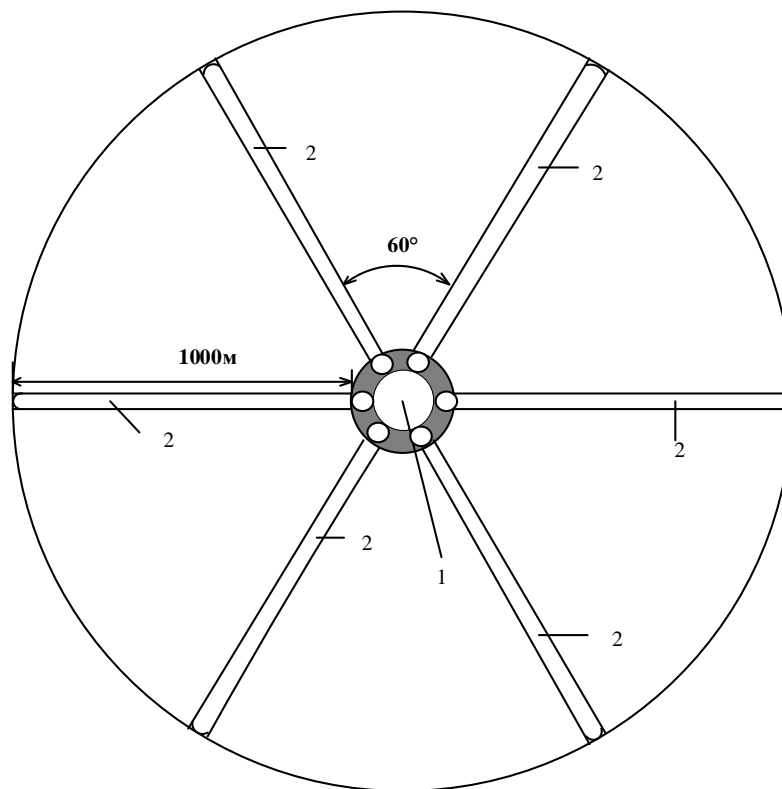


Рисунок 2.3 – Схема розташування центральної колони свердловин (вигляд зверху):

1 – центральна колода свердловин; 2 – горизонтальна ділянка свердловини; 3 – зона продуктивної товщі сланцевого пласта.

В процесі виконання робіт з випробування свердловини на приплив і інтенсифікації видобутку флюїдів передбачається використання прісної води для господарсько-побутових та технологічних потреб (приготування робочих рідин) із двох водяних свердловин, споруджених на майданчику у відповідності з вимогами ГОСТ 17.1.3.12-86 з водоохоронними зонами з трьох поясів навколо кожної.

Територія першого поясу у радіусі 30 м навколо кожної з водяних свердловин (зона суворого режиму) огорожена парканом решітчатим висотою до 1,2 м з влаштуванням воріт шириною 3 м та хвіртки шириною 1 м.

Забезпечення питною водою передбачається завозом води спеціально обладнаними автомашинами.

Постійна кількість наявних на майданчику людей досягає 30 чоловік, а максимальна - 80 чоловік разом з ІТП та представниками фірми-замовника.

В геоморфологічному відношенні територія виконання проектних робіт приурочена до плато в його вододільній частині між р. Берека (басейн р. Сіверський Донець) та р. Орелька (басейн р. Дніпро).

Геологічним середовищем проектної свердловини є геологічний розріз, який розкрито в процесі буріння до проектної глибини, що представлений наступними відкладами:

Стратиграфічний індекс	Літологічний склад порід	Група породи	Глибина, м		Температура в покрівлі інтервалу, °С	Кут падіння порід, °
			покрівлі	підосви		
Антропоген, неоген, палеоген нерозчленований Q+N+P	Лес, суглинки, піски кварцові, пісковики кварцові, глини гідрослюдисті, мергелі блакитні, алевроліти глинисті	М'які, середні	0	90	20	
Крейда К	Крейда чиста, СаСО <sub>3</sub> 90-98%, мергелі крейдоподібні, глини вапнисті слюдисті, піски глауконітові, пісковики кварцглауконітові	М'які	90	190	22	0-2
Юра J	Глини бейделітові, мергелі гідрослюдисті, пісковики кварцові, вапняки глинисті, прошарки бурого вугілля	М'які,	190	780	25	1-3
Верхній-середній тріас нерозчленований T <sub>2+3</sub>	Глини каолінітові, вапняки здебільш кальцитові, конгломерати: кварц жильний, цемент пелітоморфний	М'які, середні, тверді	780	1065	41	2-5
Тріас нижній. Дронівська свита	Глини полімінеральні, прошарки вапняків оолітових, алевроліти кварц-	Середні, тверді, м'які	1065	1355	49	2-5

T <sup>1</sup> dr	польовошпатові конгломерати, галечники					
Нижня перм. Микитівська+ славянська свита P <sup>1</sup> mk+P <sup>1</sup> sl	Сіль-галіт середньокрупнозернистий, алевроліти кварц-польовошпатові, ангідрити галітисті, доломіти глинисті, галітисті, вапняки доломітисті, пісковики	Середні, сіль, тверді, міцні	1355	1845	56	2-5
Нижня перм. Картамишська свита P <sup>1</sup> kt	Алевроліти, пісковики глинисті, карбонатні, глини гідролюдисті	Середні, тверді, міцні	1845	2200	69	4-8
Верхній карбон. Араукаритова свита C <sup>3</sup> 3	Аргіліти гідролюдисті, алевроліти кварцові, пісковики польовошпат-кварцові, вапняки органогенно-детритові	Тверді, середні, міцні	2200	3090	74	4-8
Верхній карбон. Авилівська+ ісаївська свита C <sup>3</sup> 2+C <sup>3</sup> 1	Пісковики польовошпат-кварцові, аргіліти гідролюдисті, алевроліти кварц-польовошпатові, вапняки детритусові	Тверді, міцні	3090	4060	103	4-8
Середній карбон. Московський ярус C <sup>2</sup> m	Аргіліти слюдисто-кварцові, алевроліти мезоміктові, вапняки детритусові, вугілля кам'яне, газове, жирне	Тверді, міцні	4060	5095	130	4-8
Середній карбон. Башкирський ярус C <sup>2</sup> b	Аргіліти гідролюдисті, алевроліти поліміктові, пісковики поліміктові, вапняки, органогенно-детритові	Тверді	5095	5250	159	4-8

Покрівля газоносних горизонтів знаходиться на глибині 4080 м.

Пластові тиски до глибини 4080 м близькі до гідростатичних з градієнтами від 0,0088 до 0,0109 МПа/м.

Попередження негативного впливу на геологічне середовище в робочому проекті передбачено за рахунок застосування конструкції

свердловини, яка включає послідовне перекриття пробурених інтервалів з сумісними умовами до проектної глибини – 4080 м обсадними колонами діаметром 762, 508, 340, 251, 178 і 114 мм.

Спроектована технологія спрямованого (вертикально-горизонтального) буріння свердловини в товщі сланцевих порід та поінтервального гідравлічного розриву.

Наведено обґрунтування застосування гідравлічного розриву пласта для інтенсифікації припливу флюїду (природного газу), проведено технічний розрахунок гідравлічного розриву сланцевого пласта за вихідними даними:

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку процесу гідравлічного розриву пласта

**Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку процесу гідравлічного розриву пласта**

Найменування	Одиниці вимірювання	Позначення величини
Глибина свердловини до середини продукт. пласта	М	$H = 4120$
Проникність пласта	$\text{м}^2$	$K_{\text{пл}} = 90 \cdot 10^{-15}$
Товщина пласта	м	$h = 80$
Радіус контура живлення	м	$R_k = 150$
Приведений радіус свердловини	м	$r_c = 0,114$
Пластовий тиск	Па	$P_{\text{пл}} = 19,2 \cdot 10^6$
Вибійний тиск для св. з горизонтальною ділянкою	Па	$P_{\text{заб}} = 17,2$
Тиск розшарування порід	Па	$G_p = 5,6 \cdot 10^6$
Густина породи	$\text{кг/м}^3$	$\rho_n = 2800$
В'язкість рідини розриву	Па·с	$\mu_{\text{рр}} = 0,055$
Густина рідини розриву (кислоти)	$\text{кг/м}^3$	$\rho_{\text{рр}} = 1040$
Вибраний темп закачки рідини розриву	$\text{м}^3/\text{с}$	$Q = 0,014$
Внутрішній діаметр НКТ	м	$d = 0,062$
Зрушуюче навантаження труби	Н	$P_{\text{зр}} = 2300$

міцності "Е"		
Зусилля затяжки різьби	Н	$G = 65 \cdot 10^3$
Границя текучості	Па	$\sigma = 550 \cdot 10^3$
Коефіцієнт запасу міцності		$K = 1,5$
Зовн. діаметр експл. колони	м	$Dз = 0,146$
Внутр. діаметр експл. колони	м	$Dвн = 0,122$
Насосний агрегат високого тиску SPF743		
Максимальний тиск агрегату	Па	$P_{ag} = 70 \cdot 10^6$
Витрата агрегату	$m^3/c$	$Q_{ag} = 0,0065$
Коефіцієнт технічного стану		$K_{тс} = 0,72$

Отже в результаті проведення розрахунку ГРП на св. Біляївська 400 визначили такі параметри: гірничий тиск –  $11,316 \cdot 10^7$ ; тиск розриву -  $10,076 \cdot 10^7$  Па; вибійний тиск ГРП -  $7,21 \cdot 10^7$  Па; середній тиск розриву –  $9,263 \cdot 10^7$  Па; швидкість руху суміші - 4,66 м/с; критерій Рейнольдса -  $5,365 \cdot 10^3$ ; коефіцієнт гідравлічного опору - 0,036; втрати тиску на тертя -  $3,357 \cdot 10^7$  Па; тиск на гирлі при проведенні процесу -  $7,396 \cdot 10^7$  МПа; допустимий тиск на гирлі на зрушуюче зусилля -  $6,384 \cdot 10^7$  МПа; допустимий тиск на гирлі -  $7,386 \cdot 10^7$  МПа; кількість насосних агрегатів – 5; об'єм протискувальної рідини - 24,725 м<sup>2</sup>; об'єм рідини, що закачуємо на ділянку гідророзриву - 9,577 м<sup>3</sup>; час закачки рідини-розриву - 35,7 хв; час закачки протискувальної рідини – 29,43 хв; час закачки інертної пробки – 29,76 хв; час закачки рідини на ділянку гідророзриву – 11,4 хв; загальний час роботи агрегатів – 1,77 год; радіус тріщини – 44,207 м; дебіт виходу флюїду з 1 свердловини – 72,071 тис. м<sup>3</sup>/добу; дебіт виходу флюїду всього родовища - 432,426 тис. м<sup>3</sup>/добу; річний дебіт – 157,835 млн. м<sup>3</sup>/рік.

У **третьому розділі**: запропонована технологія і технічні засоби вібраційно-хвильової дії на навколосвердловинну зону продуктивного пласта.

Неоднорідність колекторних властивостей, як по розрізу, так і по простяганню, призводить до нерівномірного вилучення газу з сланцевих порід та зниження коефіцієнта газовилучення по сланцевому пласту в цілому.

У процесі тривалої експлуатації свердловини відбувається кольматація навколосвердловинного простору сланцевого пласта, що знижує дебіт свердловини та вимагає періодичного очищення навколосвердловинної зони пласта (НЗП).

В загальному вигляді, виходячи з цілей розв'язуваного нами завдання, кольматацію можна представити як результат:

- проникнення фільтратів технологічних розчинів у пласт у процесі буріння;

- утворення щільних трубок в результаті спікання гірської породи при перфорації продуктивного інтервалу;

- утворення пробок в тріщинах сланця за рахунок виносу частинок породи з пласта, випадання продуктів реакції в результаті широко застосовуваних обробок НЗП хімічними реагентами;

- кольматації капілярної системи сланцевого пласта внаслідок закупорки порових каналів колоїдно-дисперсної системою, що утворює просторову сітку.

Перераховані фактори знижують приплив газу до свердловини.

З метою протидії переліченим вище негативним факторам, розроблено спосіб вібраційно-хвильової дії на навколосвердловинну зону продуктивного пласта, що дозволяють в локальних обсягах створювати вплив на пласт, який імітує геодинамічну дію. Для збільшення строку експлуатації свердловин покладів сланцевого газу запропоновано модель вібраційно-хвильової установки, яка зображена на (рис.3.1 - 3.3).

Принцип дії установки складається з 3-ох фаз: в 1 фазі в свердловину опускають силовий гідропровід 7 на якому закріплені гідроімпульсатори 2 через кожні 5 м. Під час просування гідроімпульсаторів діє відсмоктуючий



режим і силова оболонка 3 притягнута до силового гідропроводу і не заважає його руху.

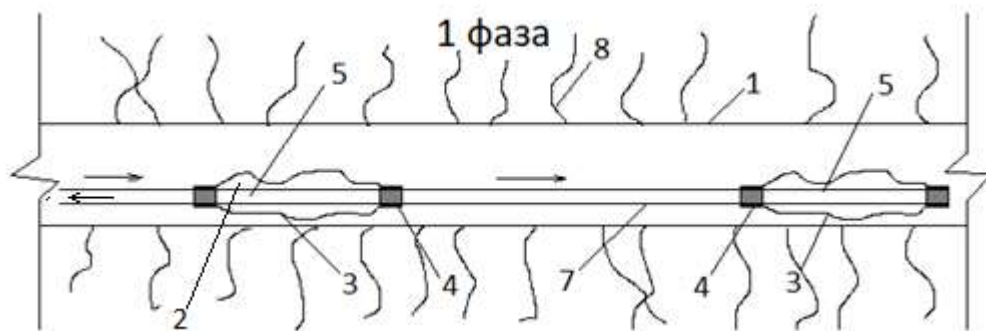


Рисунок 3.1 – Установка свердловинного гідроімпульсатора 1 фаза: 1 – свердловинна; 2 – гідроімпульсатор; 3 – силова оболонка; 4 – обойма; 5 – нагнітальний рукав; 6 – отвори; 7 – силовий гідропровід; 8 – тріщинуватий масив.

У 2-й фазі в силовий гідропровід 7 гідравлічними насосними установками подають воду в нагнітальний рукав 5, через отвори 6 вода заповнює силову оболонку 3, заповнюючи весь діаметр перфорованої свердловини 1.

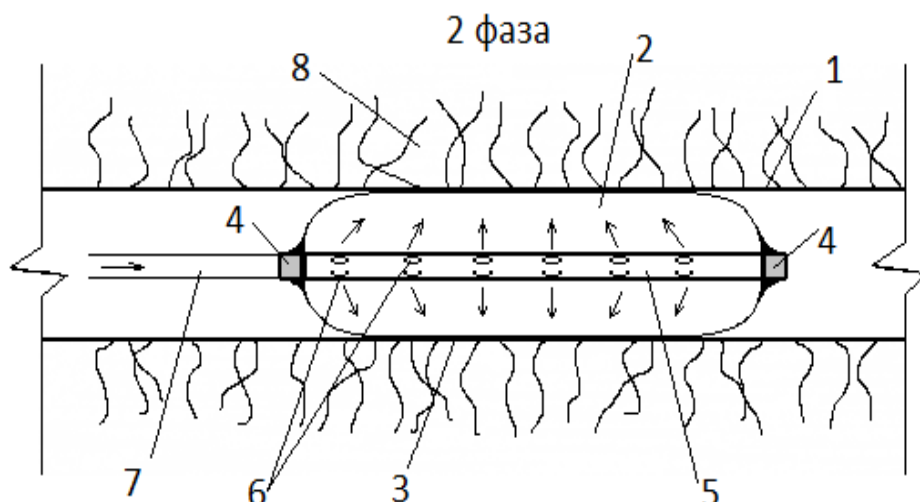


Рисунок 3.2 – Установка свердловинного гідроімпульсатора 2 фаза : 1 – свердловинна; 2 – гідроімпульсатор; 3 – силова оболонка; 4 – обойма; 5 –

нагнітальний рукав; 6 – отвори; 7 – силовий гідропровід; 8 – тріщинуватий масив.

У 3-й фазі гідравлічні насосні установки створюють імпульсні коливання води, що передаються на тріщинуватий масив 8. Унаслідок цього в тріщинуватому масиві 8 виникають вібраційно-хвильові коливання, що зумовлюють розвиток мікротріщин у сланцевому пласті, звільняють тріщини від захаращень і підвищують пропускну спроможність газового колектору.

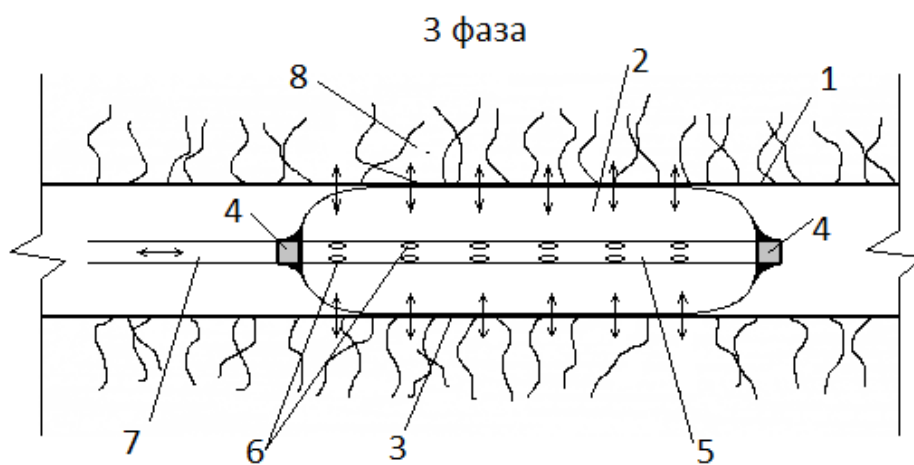


Рисунок 3.3 – Установка свердловинного гідроімпульсатора 3 фаза: 1 – свердловинна; 2 – гідроімпульсатор; 3 – силова оболонка; 4 – обійма; 5 – нагнітальний рукав; 6 – отвори; 7 – силовий гідропровід; 8 – тріщинуватий масив.

На завершальному етапі воду з гідроімпульсаторів відпомповують, при цьому силові оболонки обжимають силовий гідропровід, даючи прохід газу свердловиною.

Газ відкачують, а при зменшенні його припливу, групу гідроімпульсаторів переміщують на нову ділянку свердловини й повторюють.

**У четвертому розділі сформована заявка на стартап проект.**

Економічний ефект при застосуванні вібраційно-хвильових впливів складає 672 млн. грн./рік .

### **Висновки:**

Видобуток сланцевого газу в Україні є можливим і перспективним напрямком газовидобування (за запасами і прогнозними економічними показниками). Він важливий в першу чергу, як механізм протидії монополізму у сфері постачання природного газу, а також як фактор забезпечення сучасного високого технологічного рівня видобутку вуглеводнів, вкладення інвестицій в державну та місцеву інфраструктури, а також реалізацію сучасних інноваційних проектів. Серед іншого, перехід на газову енергетику з використанням сланцевого газу сприятиме вирішенню питання викидів парникових газів в атмосферу.

У процесі тривалої експлуатації свердловини відбувається кольматація навколосвердловинного простору сланцевого пласта, що знижує дебіт свердловини і вимагає періодичного очищення навколосвердловинної зони пласта (НЗП). В перші 3 роки експлуатації кожна свердловина показує максимальний дебіт припливу газу, що складає 72,071 тис. м<sup>3</sup>/добу. В наступні 2 роки відбувається різке зниження виходу флюїду на 70%, дебіт припливу газу становить 21,621 тис. м<sup>3</sup>/добу і в такому випадку видобуток стає нерентабельним.

Запропонований спосіб і розроблена конструкція гідроімпульсатору дозволять забезпечити дебіт кожної свердловини на рівні 57,566 тис. м<sup>3</sup>/добу, що складає 79,8% від продуктивності видобутку в перші 3 роки експлуатації.

**Основні положення і результати магістерської дисертації опубліковані у роботі:** Павленко І.Л. УДОСКОНАЛЕННЯ ВИДОБУТКУ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ ПІД ДІЄЮ ВІБРАЦІЙНО-ХВИЛЬОВИХ ВПЛИВІВ// Матеріали магістерської конференції ІЕЕ «Перша науково-технічна конференція магістрів ІЕЕ». – Київ: КПІ імені Ігоря Сікорського, 2018.

