

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ТА ПРОМИСЛОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ СТІЙКОСТІ СТОВБУРІВ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН У НЕСТІЙКИХ ПОРОДАХ

Я.В. Куцяк, Р.Я. Куцяк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090,
e-mail: physics@nuing.edu.ua

Проведено аналіз існуючих технологій буріння горизонтальних свердловин в складних геологічних умовах. Експериментально досліджено міцнісні характеристики гірських порід, що залягають під різними кутами ($0-90^\circ$). Визначено граничнодопустимі значення кута нахилу стовбура свердловини, за яких зберігається стійкість стінок горизонтальних свердловин у нестійких породах. Встановлено, що найбільша вірогідність ускладнень виникає за зенітних кутів $62^\circ-68^\circ$ і значної інтенсивності викривлення стовбура свердловини. Зроблено висновок про доцільність буріння горизонтів з нестійкими породами з зенітними кутами до 60° або понад 70° .

Ключові слова: буріння, свердловина, порода, стовбур, кут.

Проведен анализ существующих технологий бурения горизонтальных скважин в сложных геологических условиях. Экспериментально исследованы прочностные характеристики горных пород, расположенных под разными углами наклона ($0-90^\circ$). Определены гранично-допустимые значения угла наклона ствола скважины, при которых сохраняется устойчивость стенок горизонтальных скважин в неустойчивых породах. Установлено, что наибольшая вероятность осложнений возникает при зенитных углах $62^\circ-68^\circ$ и интенсивном искривлении ствола скважины. Сделан вывод о целесообразности бурения горизонтов с неустойчивыми породами с зенитными углами до 60° или превышающих 70° .

Ключевые слова: бурение, скважина, порода, ствол, угол.

The article deals with analysis of the existing horizontal well drilling technologies in difficult geological conditions. The experimental investigation of strength properties of formations located under the angles ($0-90^\circ$) with no accident occasion was held. The achieved results have proved the previously obtained analytical dependence thus the maximal values of the borehole drift angle in the process of the incompetent rock drilling are determined. It was proved that the most number of difficulties occur when the azimuth angle is $62^\circ-68^\circ$ and on the condition of intensive well deviation. The concluded opinion concerns the possibility of unstable rock formation drilling under the azimuth angles to 60° or of 70° .

Keywords: drilling, well, formation, borehole, angle.

З метою підвищення ефективності експлуатації нафтового родовища широкого застосування набуває будівництво свердловин з горизонтальним закінченням стовбура.

В Україні буріння горизонтальних свердловин було розпочате в 1957 році на Бориславському родовищі при глибинах свердловин 2800–2900 м. Дебіти нафти цих свердловин в декілька разів перевищували дебіти навколишніх вертикальних свердловин. Однак ці роботи мали характер промислового експерименту і були припинені як занадто високовартісні, не підготовлені з точки зору технічного і кадрового забезпечення та через відсутність досконалої технології.

В цей же час провідні нафтогазовидобувні країни світу – США, Канада, Франція, Росія, Китай в 1980-1990 ті роки досягли високих темпів розвитку горизонтального буріння. Так, в США за п'ятирічний період (1988-1992 рр.) пробурено 4529 горизонтальних свердловин, в Канаді за цей проміжок часу пробурено понад 5000 горизонтальних свердловин та бокових горизонтальних стовбурів, у Росії в першій половині 90-х років пробурено понад 230 горизонтальних свердловин [1, 2]. Розроблено техніку і технологію буріння, кріплення і освоєння похило-скерованих і горизонтальних свердловин.

Запорукою успіху у процесі буріння свердловин з великими кутами нахилу стовбура, аж до горизонтального його положення, є більш повне врахування особливості геологічної будови при виборі бурового обладнання і технології бурових робіт та застосування технічних заходів, що запобігають виникненню ускладнень в процесі буріння.

Найбільш небезпечними ускладненнями в процесі будівництва сильно викривлених і горизонтальних свердловин є осипання і обвалювання їх стінок у нестійких породах.

До нестійких гірських порід відноситься значна група глинистих порід (глини, алевроліти, глинисті сланці), а також породи іншого мінералогічного складу, що залягають у зонах подріблених, розущільнених і дезінтегрованих порід біля розривних тектонічних порушень, площин насувів у приштокових зонах соляних шапок та в інтервалі залягання вивітрованих порід.

Досвід діяльності провідних західноєвропейських і американських фірм свідчить, що найбільш сприятливими гірничо-геологічними умовами для буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин є поклади вуглеводнів, що приурочені до масивних і потужних товщ вапняків, доломітів, пісковиків. Для укра-

їнських нафтогазових регіонів – Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) і Азовсько-Чорноморського регіону – геологічні умови значно складніші.

Осадний комплекс порід в ДДЗ утворений аргілітами, вапняками, доломітами, глинами, ангідритами, мергелями. Всі ці породи рідко утворюють потужні однорідні товщі в окремих частинах западини, а частіше виступають у вигляді перешарування певних комплексів порід з перевагою того чи іншого літологічного різновиду.

Колектори нафти і газу ДДЗ утворені теригенними відкладами – пісковиками та алевролітами і лише на окремих родовищах – карбонатами, вивітрилими і тріщинуватими кристалічними породами.

На основі аналізу результатів досліджень понад 5 тисяч свердловин зроблено висновок, що Дніпровсько-Донецька западина за своїми гірничо-геологічними властивостями є геологічним утворенням, в якому зосереджені різні за мінералогічним складом породи, різноманітні за ступенем консолидованості пласти, достатньо високі пластові тиски і температури, високомінералізовані пластові води, природні скупчення нафти, газу і конденсату [3].

З метою підвищення нафтовіддачі на Бугруватівському нафтовому родовищі розпочато будівництво горизонтальних свердловин. Проектування і вибір технології буріння проводили на основі новітніх технологій відомих західних фірм. Проте, практика свідчить, що рекомендовані технології, які ефективні для інших регіонів, не завжди придатні для застосування для буріння горизонтальних свердловин на даному родовищі.

Це наглядно підтверджується бурінням свердловини № 545 Бугруватівського родовища. Профіль і конструкція свердловини № 545 зображена на рис. 1. У свердловині було пробурено 4 стовбури (не враховуючи пілот-стовбура).

У процесі буріння першого стовбура в інтервалі 3250–3260 м по вертикалі в підошві горизонту В-15 при куті нахилу стовбура 65–68° від вертикалі внаслідок осипання та обвалювання гірських порід сталося прихоплення бурового інструменту (профіль 3).

Буріння другого та третього стовбурів свердловини (профіль 4 і 5), практично в тому самому інтервалі, за кутів нахилу стовбура 65–68° від вертикалі знову завершилися прихопленням бурового інструменту.

Аналогічні результати одержано при бурінні свердловини № 553 Бугруватівського нафтового родовища, при сервісному супроводі фірми «Шлюмберже».

Буріння першого похило-скерованого стовбура в породах верхньовізейського під'яруса супроводжувалось постійними проробками стовбура свердловини, посадками та зтяжками бурового інструменту. Досягнувши величини зенітного кута 64,3° за максимального значення інтенсивності викривлення стовбура свердловини у відкладах продуктивного горизонту В-

15 отримали прихоплення інструменту з втраченою циркуляцією.

У процесі буріння другого стовбура спостерігались осипання і обвалювання стінок свердловини в продуктивних горизонтах верхньовізейського під'яруса. При відхиленні стовбура свердловини від вертикалі на 64,8° і максимальному значенні інтенсивності викривлення стовбура свердловини, буріння супроводжувалось постійними проробками стовбура та з ускладненнями. Досягнувши кута 90° від вертикалі відбулось прихоплення та поломка інструменту. Свердловина так і не була завершена будівництвом і знаходиться в консервації.

Полтавським ГПУ для розкриття горизонтів Б-5 і Б-6 на Яблунівському НГКР пробурено дві горизонтальні свердловини 152 і 153. Метою буріння було розкриття нафтових пластів Б-5 і Б-6 та перетину його від покрівлі до підошви з довжиною стовбура в продуктивній частині пласта не менше 300 м.

Однак при бурінні під експлуатаційну колонку ділянки збільшення зенітного кута з інтенсивністю 20°/100 м стовбур свердловини 152 перетнув продуктивний пласт Б-6 на 11 м вище (по вертикалі), а свердловини 153 пласт Б-5 на 35 м вище, ніж передбачалось при зенітному куті 47°. Внесені поправки в технологію буріння при проектуванні свердловин 152 і 153 уможливили здійснення безаварійного проходження свердловин, але не дали можливості повністю виконати поставлене завдання.

В УкрНДГаз, на основі аналізу технології буріння і проекту профілю горизонтальної свердловини 153 проведено коригування технології і запропоновано збільшення середньої інтенсивності викривлення у процесі буріння основного стовбура до 26°/100 м та розкриття покрівлі продуктивного горизонту Б-5 з кутом 63° і підбір зенітного кута в пласті з тією ж інтенсивністю викривлення до 88° з подальшою стабілізацією. Схема нового профілю горизонтальної свердловини 153 наведена на рис. 2 [5]. Автори [5] з метою точного попадання стовбура свердловини в продуктивний пласт не враховують те, що скоригована технологія подібна до технології буріння свердловини 545 і 553 Бугруватівського родовища, а, відповідно, можна очікувати і аналогічний результат.

Для розв'язання проблеми нами проведено теоретичні дослідження впливу інтенсивності викривлення стовбура горизонтальної свердловини на стійкість її стінок [7,8]. У процесі буріння горизонтальних свердловин ускладнення найчастіше виникають в інтервалах інтенсивного викривлення стовбура свердловини, які пов'язані з різкою зміною напружено-деформованого стану гірських порід. Основним видом деформації при механічному руйнуванні гірських порід є деформація при вдавлюванні.

При бурінні свердловин процес вдавлювання завжди тією чи іншою мірою одночасно протікає з процесом зсуву або сколювання породи при горизонтальному зміщенні породоруйнівного інструменту. Оскільки розбурювана порода знаходиться в умовах високого усебіч-

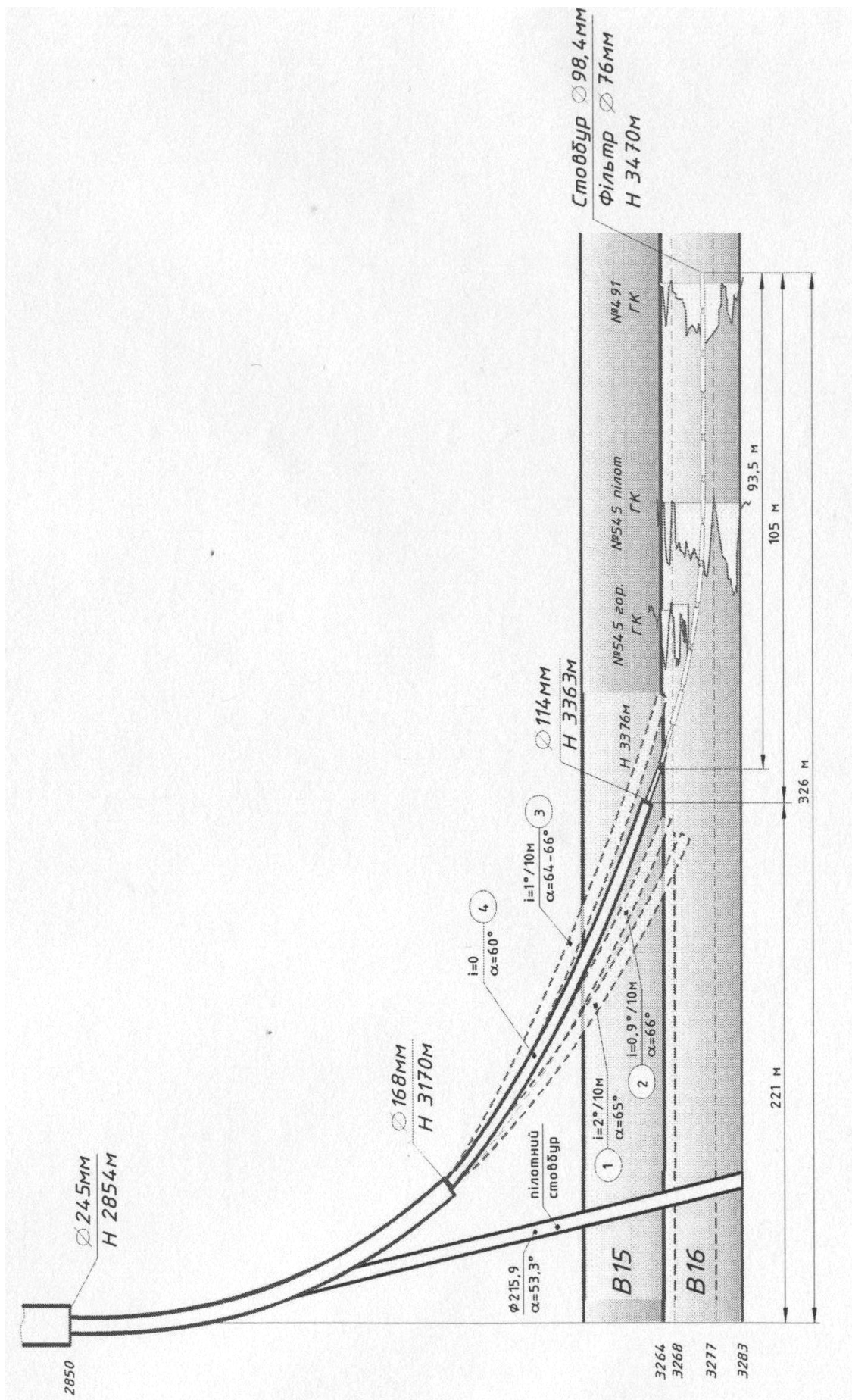


Рисунок 1 – Профіль і конструкція свердловини №545 Бугруватівського родовища

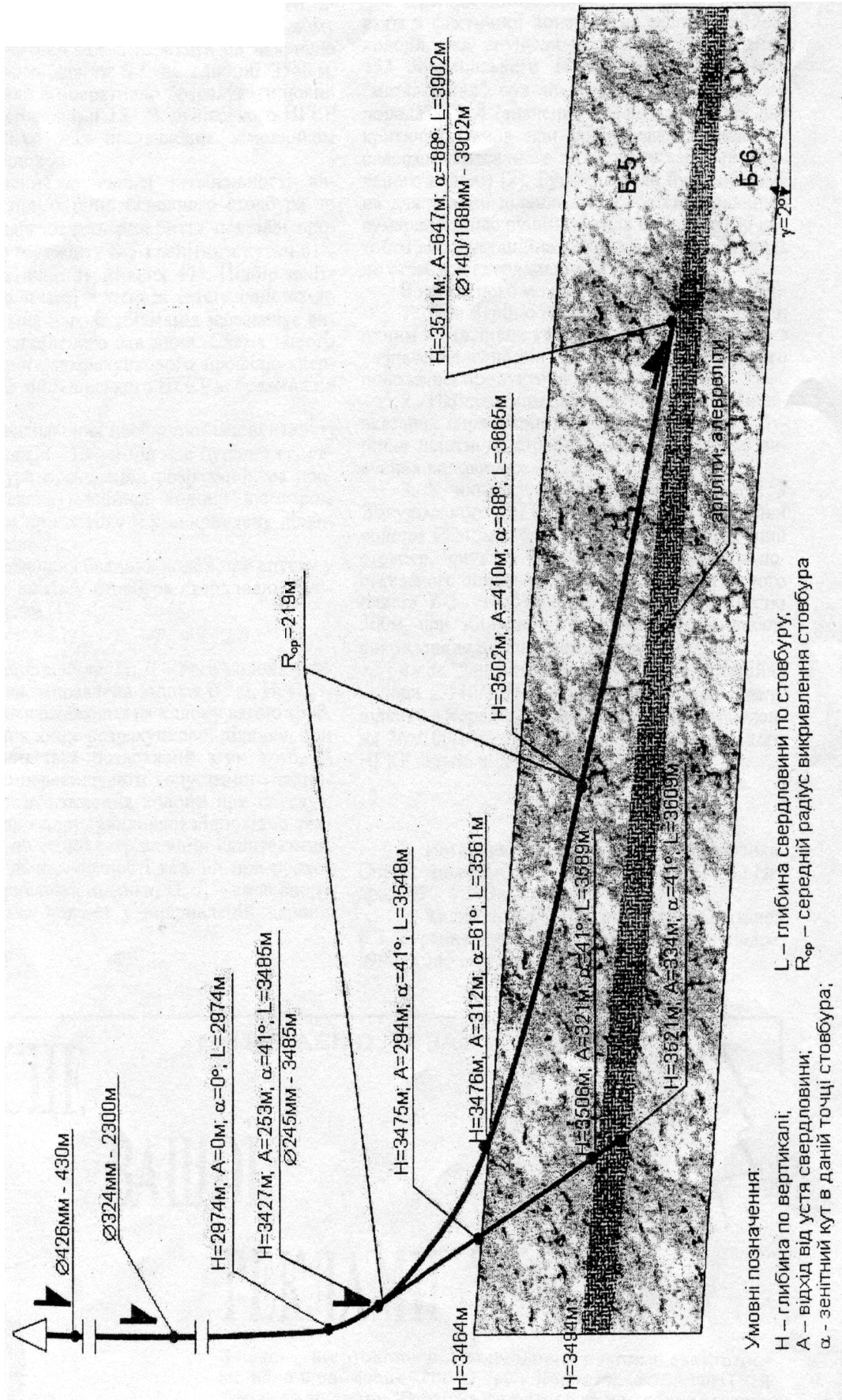
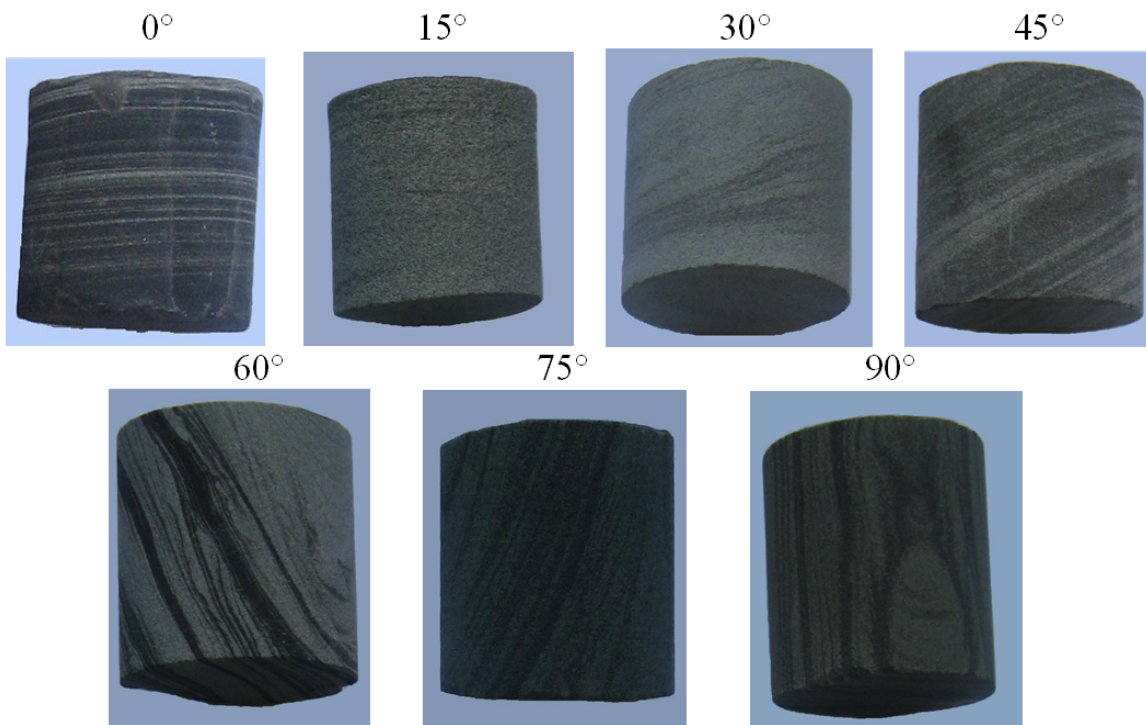


Рисунок 2 – Схема скоригованого профілю свердловини 153 Яблунівського НКГР



а)



б)

а – керна зі свердловини №545; б – експериментальні зразки

Рисунок 3 – Досліджувані зразки породи з різними кутами залягання свердловини № 545 Бугруватівського родовища

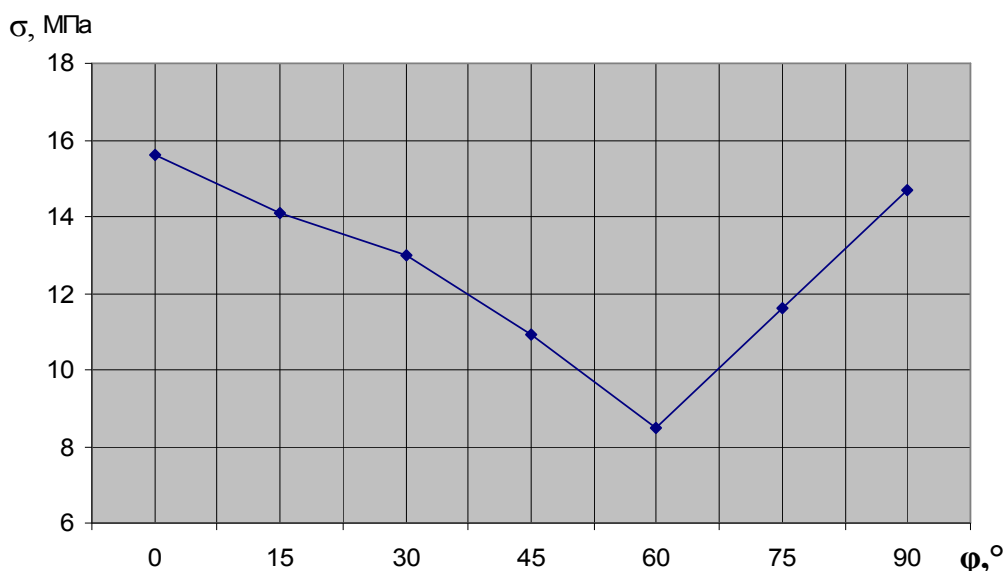


Рисунок 4 – Залежність межі витривалості гірської породи від кута залягання

ного тиску, то величина її опору вдавлюванню завжди перевищує опір сколюванню.

Одержано аналітичні залежності визначення питомої енергії деформації та гранично допустимих значень напруження (дотичних, радіальних, колових), зусиль зсуву при яких ще зберігається стійкість стінок свердловини. Визначено, що при бурінні горизонтальних свердловин у нестійких породах з інтенсивною зміною кривизни стовбура свердловини і кутах азимута 64–68° існує висока імовірність ускладнення і прихоплення бурильної колони, яке пов'язане з осипанням і обвалюванням гірської породи.

З метою підтвердження результатів теоретичних досліджень проведено експериментальні дослідження міцнісних характеристик гірської породи (керна), яку відібрано в інтервалі 2895–2901 м (верхній еоцен) у свердловині 403 Суботинська ДАТ «Чорноморнафтогаз», утвореної паралельно розташованими прошарками зеленувато-сірих глинистих аргілітів та вапняків з перемежуванням паралельно розташованих прошарків сірого пісковика товщиною до 1 мм. Пористість зразків 12–15%, проникність до 40 мД. Ці породи (прошарки) характеризуються різною міцністю та фізико-механічними властивостями.

Дослідження механічних властивостей гірських порід проводили методом одновісного стискання [9]. У відповідності до Міжнародного стандарту, що прийнятий міжнародним бюро з механіки гірських порід виготовлено зразки циліндричної форми діаметром 40 мм, а відношення довжини зразка l до його діаметра d знаходиться в межах $1 \pm 0,05$. Торцеві поверхні шліфовані.

Дослідження проводили на гідравлічному пресі ПСУ-10, який має поліровані плити, причому одна з них – на шаровій опорі, з швидкістю навантаження 0,5 МПа/с. Зразок деформується до руйнування.

За максимальним навантаженням P_{\max} визначали межу витривалості зразка на стискання σ_{CT} (МПа)

$$\sigma_{CT} = \frac{P_{\max}}{S}, \quad (1)$$

де S – початкова площа поперечного перерізу зразка, м².

При анізотропії міцнісних і деформаційних властивостей породи важливим чинником є орієнтація свердловини відносно осі анізотропної породи. У зв'язку з цим було виготовлено експериментальні зразки з різними кутами залягання породи (різними зенітними кутами стовбура свердловини відносно горизонтально розміщеного пласта) в межах (0÷90°) з інтервалом 15°. Керн і загальний вигляд експериментальних зразків зображено на рис. 3.

Згідно з методикою на втомну міцність досліджувалося по 6 зразків кожної серії. Результати експериментальних досліджень зображено на рис. 4.

Аналіз результатів досліджень руйнування гірських порід свідчить, що межа витривалості анізотропних гірських порід залежить від кута залягання породи. Так, при 0° межа витривалості становить загалом 16 МПа, а зі збільшенням кута залягання від 0÷60° межа витривалості зменшується до 8,6 МПа, а далі знову зростає, набуваючи при куті 90° максимального значення. Аналогічні результати одержані при дослідженні зразків гірської породи з свердловин Бугруватівського родовища.

Таким чином, результати експериментальних досліджень міцнісних характеристик гірських порід підтверджують результати аналітичних досліджень.

Як бачимо, при значеннях зенітного кута в межах 60–65° анізотропна гірська порода володіє найменшою межею витривалості, і під дією вібрацій, промивальної рідини, перепаду динамічного тиску в свердловині виникає небезпека

порушення стінок свердловини, що призводить до ускладнень і прихоплень бурильної колони.

Враховуючи результати теоретичних, експериментальних і промислових досліджень, внесено поправку в технологію буріння і успішно проведено будівництво четвертого стовбура свердловини 545 Бугруватівського родовища (рис. 1).

Викладене вище дає підстави для таких висновків: наявність максимальних значень величин дотичних напружень на стінках викривлених стовбурів свердловин вимагає проектувати найбільш інтенсивного викривлення в інтервалах, де відсутні ділянки нестійких порід, схильні до обвалювання. Ці ділянки доцільно бурити з стабільною і, бажано, з найменшою інтенсивністю викривлення стовбура за zenітних кутів до 60° або понад 70°.

Література

1 Mensa-Wilmot G., Krepp T., Stephen I. Dual Torque Concept Enhances PDS Bit Efficiency in Directional and Horizontal Drilling Programs. // Paper SPE/IADC 52879 presented at the SPE/IADC Drilling Conference. –Dallas. –Texas. –Amsterdam. –Netherland / – 9-11 March, 1999.

2 Fiber optic improve down hole video. Shults P.K., Gobb C. // Oil and gas Journal. – 1992. – vol. 5. – p. 46-51.

3 Тахаутдинов Ш.Ф. Исследования по разработке технологии вскрытия Кыновского горизонта под большим зенитным углом / Ш.Ф.Тахаутдинов Т.И.Бикчурин, Т.Х.Сорокин // Нефтяное хозяйство. – №3. – 2003. – С. 35-39.

4 Кабышев Б.П. Геология и нефтегазоносность Днепрово-Донецкой западины. Нефтегазоносность / Б.П. Кабышев, П.Ф. Шпак, О.Д. Билык и др. – Киев: Наукова думка, 1989. – 204 с.

5 Кунцяк Я.В. Удосконалення технології буріння похило-спрямованих і горизонтальних свердловин для експлуатації водоплаваючих нафтових покладів Леляківського родовища / Я.В. Кунцяк, К.В. Булатов, В.Д. Новіков, Р.Я. Кунцяк // Нафтова і газова промисловість. – 2008. – №3. – С. 29-31.

6 Нежилський О.Б. Особливості проектування профілю горизонтальної свердловини / О.Б. Нежилський, Ю.Г. Верьовкіна // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №3(20). – С. 20-24.

7 Мочернюк Д.Ю. Дослідження впливу інтенсивності викривлення стовбура горизонтальної свердловини на стійкість її стінок / Д.Ю. Мочернюк, Я.В. Кунцяк, Р.Я. Кунцяк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. – №2(11). – С. 37-41.

8 Чернова М.Є. Удосконалення технології буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин у нестійких породах / М.Є. Чернова, Я.В. Кунцяк, Р.Я. Кунцяк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2010. – №3(25). – С. 15-17.

9 Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин. / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М: Недра, 1979. – 236 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
21.03.11*

*Рекомендована до друку професором
Коцкуличем Я.С.*