

# БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

УДК 622.245

## ОСОБЛИВОСТІ БУРІННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ СВЕРДЛОВИН У ЗОНАХ ЗАЛЯГАННЯ НЕСТІЙКИХ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Я.В.Кунцяк, Р.Я.Кунцяк

ЗАТ «НДІ КБ Бурового інструменту», 03680, м. Київ, проспект Палладіна, 44, тел. (044) 536-10-13, тел./факс (044) 424-20-89, e-mail: 5361013@bk.ru

Наведено результати промислових досліджень в процесі буріння горизонтальної свердловини в нестійких гірських породах Бугруватівського нафтового родовища, що включають залежності параметрів викривленого стовбура свердловини від величини зенітного кута та інтенсивності його викривлення. Подаються практичні рекомендації щодо провідки похилого стовбура у нестійких відкладах верхневізейської підвісти нижнього карбону.

Ключові слова: свердловина, стовбур, відклади, зенітний кут, інтенсивність викривлення, ускладнення, проходка.

Приведены результаты промислових исследований при бурении горизонтальной скважины в неустойчивых горных породах Бугруватовского нефтяного месторождения, включающие зависимости параметров искривленного ствола скважины от величины зенитного угла и интенсивности его искривления. Даны практические рекомендации по провідке наклонного ствола в неустойчивых отложениях верхневизейского подъяруса нижнего карбона.

Ключевые слова: скважина, ствол, отложения, зенитный угол, интенсивность искривления, усложнения, проходка.

The article stating the results of industrial investigations while drilling horizontal well in extra band rock of Bугруватівske oil field, which include functional dependence between data of deviated borehole and zenith angle, it is proposed practice recommendation by drilling of deviated borehole in extra band rock of low carbon

Keywords: well, hole, sediments, zenith angle, crookedness, complications, rate of penetration

Буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин на родовищах ДДЗ України є досить складним техніко-технологічним завданням. Це завдання ускладнюється, з одного боку наявністю значної кількості горизонтів, представлених нестійкими гірськими породами, а з іншого – відносно великими глибинами залягання цих продуктивних горизонтів.

Велика глибина залягання спричинює збільшення часу буріння, СПО і, тим самим, – ускладнює ситуацію зі стійкістю стінок похилих ділянок стовбура свердловини, що є причиною виникнення аварій і стримує розвиток горизонтального буріння.

Таким чином, питання вивчення впливу геолого-технічних і технологічних чинників на стійкість стінок похило-скерованих та горизонтальних свердловин і механічну швидкість буріння є надзвичайно актуальним завданням.

Для всебічного аналізу впливу на наведені вище показники були виділені такі чинники:

- глибина залягання нестійких горизонтів (Н, м);
- кут нахилу ділянки стовбура свердловини – зенітний кут ( $\alpha$ , град);
- інтенсивність викривлення ділянки стовбура свердловини ( $i$ , град./10м).

На першому етапі були проведені теоретичні дослідження, що дало змогу детально встановити вплив вказаних чинників на механічну швидкість буріння, визначити наявність критичних значень зенітного кута ( $\alpha_0$ ) нахилу похилої ділянки стовбура свердловини на стійкість її стінок [1], та залежність механічної швидкості буріння і стійкості стінок свердловини від інтенсивності викривлення ділянки стовбура свердловини [2].

З метою перевірки отриманих результатів та встановлення кількісної картини в реальних умовах для аналізу необхідно було підібрати достатню кількість фактично пробурених похило-скерованих і горизонтальних стовбурів, розміщених в однакових геологічних і техніко-

технологічних умовах: в нестійких породах та на значній глибині.

Ідеальним для такого аналізу виявилася група свердловин, пробурених на Бугруватівському родовищі, які похило-скерованими і горизонтальними стовбурами розкрили верхньовізейські відклади, до яких приурочені поклади В-14, В-15 і В-16, розташовані на глибині по вертикалі в інтервалі від 3200 до 3300 метрів, складені теригенними породами різного літологічного складу (аргіліти, пісковики, алевроліти, глини, сланці, прошарки кам'яного вугілля) і відзначаються наявністю тектонічних порушень, слідів соляного тектогенезу, наслідком яких є локальні зони розтріскування і дезінтеграції гірських порід.

У цих умовах буріння горизонтальної свердловини №545 супроводжувалось низкою ускладнень і аварій в інтервалах зазначених нафтових покладів і перемичок між ними. При цьому пробурений пілотний стовбур у цих інтервалах за постійної величини зенітного кута нахилу стовбура 53,30 забезпечив доведення стовбура до заданої глибини 3283 м вздовж вертикалі або 3400 м по стовбуру з горизонтальним зміщенням 205 без будь-яких ускладнень і аварій.

Після уточнення глибини залягання проектного горизонту В-16 в пілотному стовбурі був встановлений цементний міст, з якого здійснилось забурювання похило-скерованих стовбурів і їх подальше, не завжди успішне, буріння.

У свердловині №545 було пробурено 3 похило-скеровані стовбури (не враховуючи пілотного) (рис. 1) і четвертий – похило-скерований з горизонтальним закінченням. У трьох із них після розкриття підошовної частини горизонту В-15 та аргелітової пачки порід під ним траплялись ускладнення у вигляді залипання і затягування бурового інструменту, а згодом – осипання і обвалювання шаруватих аргілітів, внаслідок чого буріння закінчувалось прихопленням бурового інструменту (рис. 2).

У процесі буріння першого стовбура спостерігались осипання та обвалювання гірських порід при проходженні інтервалу 3250-3260 м вздовж вертикалі в підошві горизонту В-15. Кут нахилу стовбура в цьому інтервалі складав 65-680 від вертикалі. Буріння свердловини було припинено після втрати циркуляції бурового розчину внаслідок обвалювання гірської породи та прихоплення бурового інструменту (рис. 2, стовбур 1).

У процесі буріння другого стовбура спостерігали обвалювання і осипання гірських порід при проходженні інтервалу 3260-3264 м вздовж вертикалі в перемичці між продуктивними горизонтами В-15 та В-16. Кут нахилу стовбура тут склав 650 від вертикалі. Буріння свердловини закінчилось втратою циркуляції бурового розчину внаслідок обвалювання гірських порід та прихоплення бурового інструменту (рис. 2, стовбур 2).

У процесі буріння третього стовбура спостерігались осипання і обвали гірських порід при проходженні інтервалу 3220-3240 м вздовж

вертикалі в перемичці між продуктивними горизонтами В-14 та В-15. Кут нахилу стовбура склав 65-680 від вертикалі. Буріння закінчилось втратою циркуляції бурового розчину внаслідок обвалювання гірської породи та прихватом бурового інструменту (рис. 2, стовбур 3).

Попередніми теоретичними дослідженнями [1] було встановлено критичну величину кута нахилу стовбура свердловини, за якого дислоковані тріщинуваті породи, що складають стінку стовбура свердловини, починають втрачати стійкість, поступово дезінтегруються. Починаються процеси осипання, а згодом і обвалювання стінок свердловини, наслідком яких є прихоплення бурового інструменту.

Проаналізувавши результат буріння пілотного і трьох похило-скерованих стовбурів у свердловині №545, а також врахувавши матеріали згаданих теоретичних досліджень і керуючись необхідністю уникнення буріння наступного стовбура в нестійких породах за критичного кута нахилу стовбура свердловини - (650), було прийнято рішення змінити траєкторію стовбура свердловини так, щоб інтервал інтенсивного викривлення стовбура проходив у відносно стійких відкладах Московського і верхньої частини Башкирського ярусів, а нестійкі породи горизонту В-15 і перемички між В-14, В-15 і В-16 могли бути пройдені в умовах стабілізації кута нахилу викривленого стовбура свердловини за величини зенітного кута 50-620. Такий підхід до вибору траєкторії стовбура свердловини дав змогу успішно, без ускладнень і аварій пробурити похило-скеровану ділянку стовбура свердловини і завершити її горизонтальною ділянкою (рис. 2, стовбур 4).

Слід зауважити, що буріння похило-скерованих і горизонтальних ділянок стовбура свердловини 545-Бугруватівська було здійснено при сервісному супроводі ЗАТ «НДКБ бурового інструменту» із застосуванням вітчизняної техніки і технології, а також із застосуванням бурового розчину [3] із відповідним супроводженням власними спеціалістами. Система ППБР-3 характеризується високими властивостями, а технологічні його параметри забезпечують утримання і винесення на поверхню вибуреної породи, в тому числі в умовах інтенсивного осипання стінок свердловин.

Не менш суттєвим чинником впливу на процеси формування похилої ділянки стовбура свердловини є величина інтенсивності викривлення стовбура в процесі буріння перехідної його ділянки від вертикального до горизонтального положення. Саме цей чинник ускладнює профіль стовбура свердловини через створення різких перегинів стовбурів, що, в свою чергу, і є причиною утворення в них ступів і жолобних виробок. Різкі перегини стовбура свердловини також є об'єктами систематичного стесування глинистої кірки і, частково, породи торцями замків бурильних труб під час спуско-підіймальних операцій. Завдяки цьому поглиблюються кольматаційні процеси за участі фільтрації бурового розчину, підсилюється деструк-

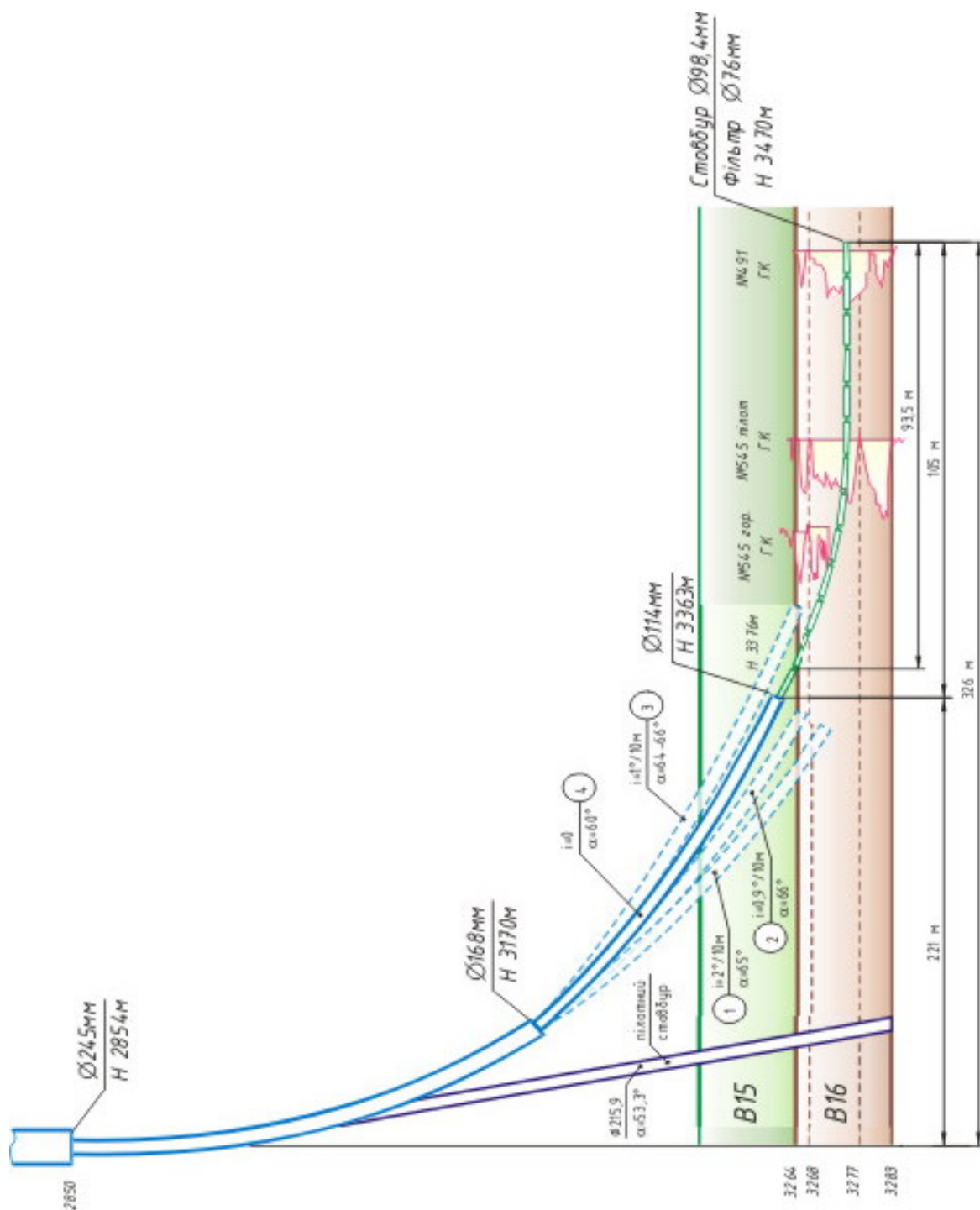
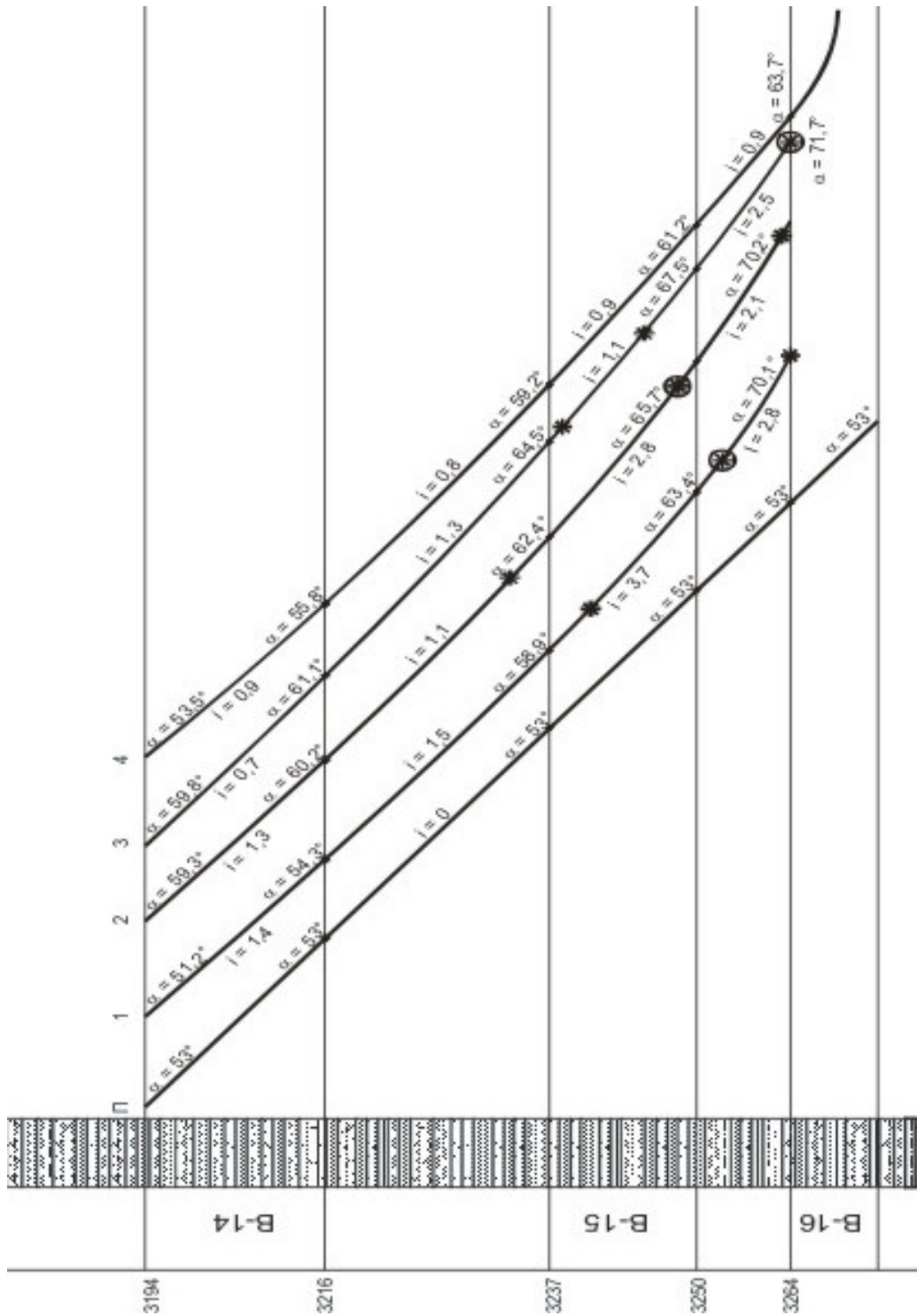


Рисунок 1 — Профіль і конструкція свердловини № 545 Бугруватівського родовища



П, 1,2,3,4 – пілотний стовбур та наступні стовбури свердловини №545 Бугруватівського родовища;

✱ – Місця осипання, обвалювання та прихоплення; ⊗ – Місце кінцевого прихоплення інструменту з втраченою циркуляції бурового розчину

Рисунок 2 — Відображення результатів проведення, ускладнень та аварій похило-скерованих стовбурів у нестійких породах Бугруватівського родовища від величини зенітного кута відхилення від вертикалі та інтенсивності викривлення стовбура

тивна його дія на пристовбурні ділянки гірських порід, що призводить до зменшення сил зчеплення частинок породи між собою, дезінтеграції, подальшого осипання і обвалювання. Як бачимо (табл. 1), у першому, другому і третьому похило-скерованих стовбурах в інтервалах залягання нестійких порід горизонтів В-14, В-15 і В-16 і перемичках між ними інтенсивність викривлення стовбурів перевищує  $1,50/10\text{м}$  і в окремих випадках сягає  $2,5-3,70/10\text{м}$ . У процесі буріння зазначених трьох стовбурів у зонах залягання нестійких гірських порід за великих значень інтенсивності викривлення стовбура свердловини спостерігалось утворення уступів, жолобів, відбувались посадки і затягування бурового інструмента, осипання і обвалювання порід із стінок свердловини, що зрештою, призводило до втрати циркуляції бурового розчину з подальшим прихопленням бурового інструменту.

Висновки, зроблені за результатами буріння свердловини №545, підтверджуються бурінням ще однієї свердловини №553 на цьому ж родовищі і в аналогічних геологічних умовах. Свердловина пробурювалась у сервісному супроводі фірми «Шлюмберже» із застосуванням імпортного обладнання і технологій.

У свердловині було здійснено буріння двох похило-скерованих стовбурів, що завершилися прихопленнями бурового інструменту з втратою циркуляції бурового розчину. Показово, що зазначені аварії відбулись під час буріння в нестійких відкладах горизонту В-15 за кутів відхилення стовбура свердловини від вертикалі: в першому похило-скерованому стовбурі –  $64,30$ , у другому –  $64,80$  і за максимальних значень інтенсивності викривлення стовбура свердловини –  $4,130/10\text{м}$  (рис. 3, крива 1) і  $4,380/10\text{м}$  (рис. 3, стовбур 2) відповідно (тобто повністю підтвердили ситуацію і дані буріння стовбурів свердловини №545).

На відміну від свердловини №545, свердловина №553 так і не була завершена будівництвом, і з 2007 року знаходиться в консервації.

Відомо, що на міжфазній поверхні «порода-буровий розчин» у процесі буріння викривлених ділянок стовбура свердловини відбуваються поверхневі явища, що призводять до формування мережі мікротріщин у породі, що загрожує втратою стійкості та подальшим осипанням і обвалюванням породи [3]. Слід зауважити, що ці процеси не є миттєвими, а час їх протікання залежить від фізико-хімічних властивостей гірської породи і бурового розчину, гідродинамічних процесів у стовбурі свердловини, механічних впливів бурового інструменту на стінки свердловини і т. п. Отже, успішність проведення викривленого стовбура свердловини в нестійких гірських породах є функцією часу, затраченого на буріння інтервалів їх залягання.

Аналіз даних, наведених в таблиці 2, свідчить, що за інтенсивності викривлення стовбура свердловини понад  $0,9^\circ/10\text{м}$  і зенітного кута  $65^\circ$  перші ознаки втрати стійкості стінок свердловини в інтервалах залягання нестійких гірських порід з'являються через 5-6 діб з моменту їх розкриття. Ці ознаки проявляються в недоходженні бурового інструменту до вибою свердловини, в затягуванні інструменту, що вимагає його розходжування, в заклинюванні елементів низу бурильної колони і т.п. А вже через 15-18 діб попри належне дотримання параметрів режиму буріння похило-скерованого стовбура, як свідчить досвід буріння свердловин 545, неминуче настає момент втрати циркуляції бурового розчину з подальшим прихопленням бурового інструменту, вивільнити який не вдалось у жодному з описаних похило-скерованих стовбурів.

В цей же час у пілотному стовбурі і четвертому похило-скерованому стовбурі свердловини №545 на тих самих інтервалах залягання нестійких гірських порід величини зенітного кута не досягли критичного значення, а інтенсивність викривлення не перевищила  $0,9^\circ/10\text{м}$ . Це дало змогу за 10 діб завершити процес буріння пілотного стовбура, а ще через 2 дні установити цементний міст вище інтервалу залягання нестійких порід за стабільного задовільного стану стовбура свердловини.

Що стосується четвертого похило-скерованого стовбура свердловини 545 Бугруватівська, то тут при плавному збільшенні кута нахилу стовбура з  $47$  до  $63,8$ , не досягаючи, однак, критичного значення, і за максимальної інтенсивності викривлення –  $0,9^\circ/10\text{м}$ , буріння стовбура під проміжну обсадну колону було завершено за 5 діб, а ще через 2 доби була успішно опущена і зацементована обсадна колона діаметром  $114\text{ мм}$ .

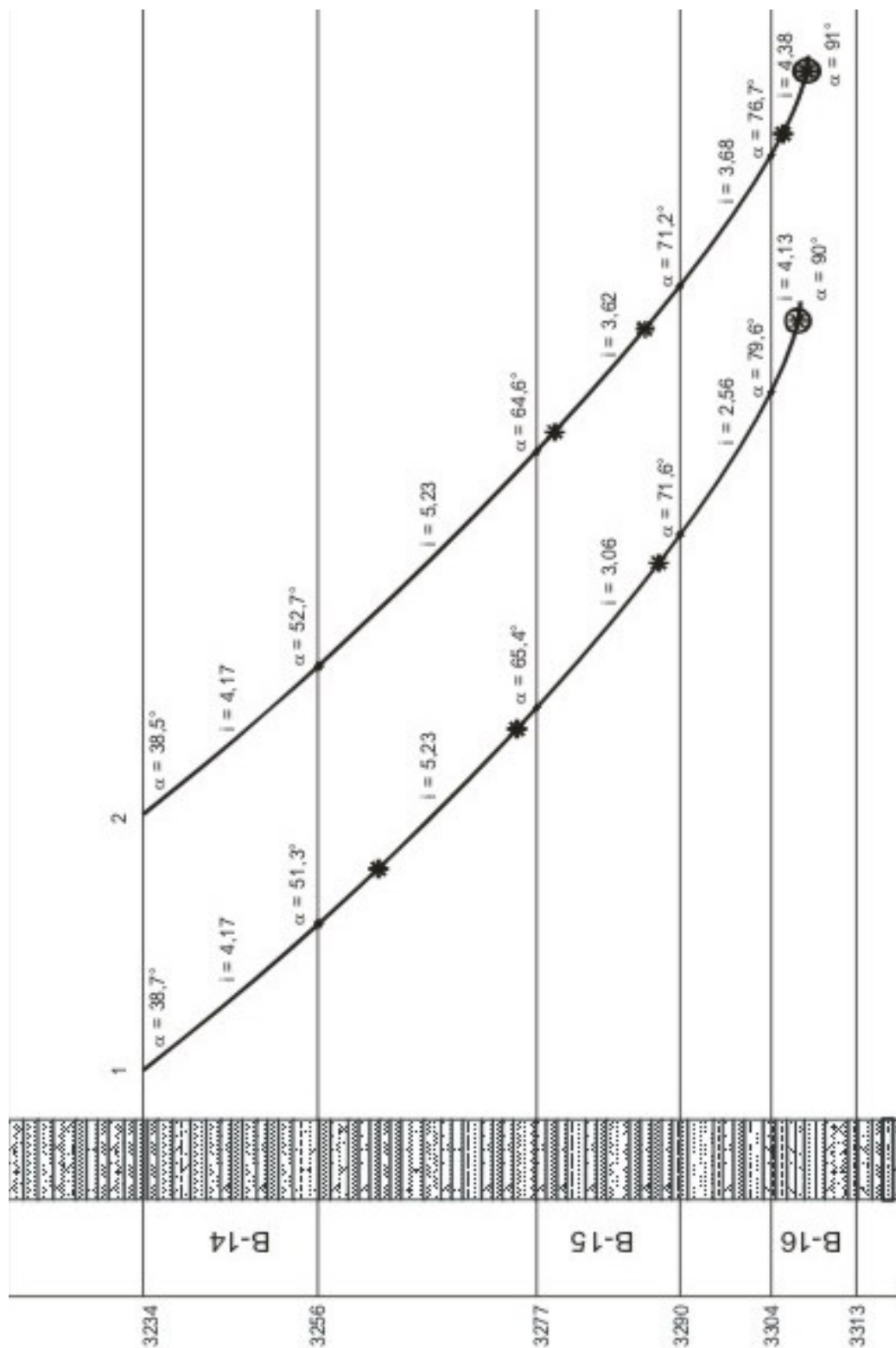
Ці часові обмеження залежать, в першу чергу, від організації бурових робіт, усунення простоїв бурової установки, уникнення непродуктивних витрат часу і, насамперед, від механічної швидкості буріння в інтервалах залягання нестійких гірських порід.

У процесі буріння свердловини 545 – Бугруватівська під час поглиблення стовбура за зростаючих зенітних кутів викривлення у I, II і III похило-скерованих стовбурах спостерігалось помітне зменшення механічної швидкості буріння (табл. 1 і рис. 4).

Як видно з таблиці 1 і рисунка 5, збільшення інтенсивності викривлення I, II і III похило-скерованих стовбурів свердловин і різкі зміни її величини в коротких інтервалах глибин створюють умови для «зависання» бурового інструменту, що перешкоджає доведенню розрахункового осьового навантаження до бурового долота і, як наслідок, призводить до зменшення механічної швидкості буріння. Цей процес ускладнюється ще й тим, що в похилому стовбурі колона бурильних труб згідно з законами гравітації щільно прилягає до нижньої стінки свердловини, унеможливаючи промивання стовбура по кільцевому простору і залишає для промивання лише верхній сегмент поперечного перерізу стовбура свердловини. Це спричиняє неповне винесення вибуреної породи буровим розчином і сприяє прилипанню бурильних труб. У цей же час у процесі буріння

**Таблиця 1 – Залежність механічної швидкості буріння від зенітного кута відхиленуа і інтенсивності викривлення стовбурів свердловини № 545 Бугруватівська**

Горизонт	Глиб. по верт.	Пілотний стовбур			Стовбур 1			Стовбур 2			Стовбур 3			Стовбур 4		
		Кут <sup>0</sup>	Інтенс. град/10м	Мех.шв м/ГОД	Кут <sup>0</sup>	Інтенс. град/10м	Мех.шв м/ГОД	Кут <sup>0</sup>	Інтенс. град/10м	Мех.шв м/ГОД	Кут <sup>0</sup>	Інтенс. град/10м	Мех.шв м/ГОД	Кут <sup>0</sup>	Інтенс. град/10м	Мех.шв м/ГОД
В-14	3194-3200	53,3	0,8	2,3	51,2	1,4	1,2	59,3	0,9	1,3	59,8	0,7	1,4	53,5	0,8	2,5
	3200-3208	53,3	0	2,0	52,8	1,3	1,3	60,1	0,8	1,3	60,3	0,3	1,3	54,7	0,9	2,2
	3208-3216	53,3	0	2,1	54,3	1,3	0,8	60,2	0,1	1,2	61,1	0,6	1,3	55,8	0,9	2,1
	3216-3222	53,3	0	2,0	56,0	1,5	1,0	61,3	1,1	1,2	61,8	0,6	1,4	57,0	0,9	2,1
	3222-3230	53,3	0	1,8	57,3	1,2	1,1	62,1	1,0	1,0	63,0	1,2	1,2	58,1	0,9	1,8
В-15	3230-3236	53,3	0	1,9	58,9	1,5	0,9	62,4	0,2	1,1	64,5	1,3	1,0	59,2	0,8	1,4
	3236-3243	53,3	0	1,9	60,4	1,2	1,0	63,1	1,0	1,1	66,0	1,4	1,0	60,0	0,8	1,7
	3243-3247	53,3	0	1,9	61,6	2,2	0,8	64,0	1,3	0,9	66,8	1,1	1,0	60,5	0,9	1,6
	3247-3250	53,3	0	1,7	63,4	3,7	0,9	65,7	2,8	0,7	67,3	0,9	0,8	61,2	0,9	1,6
	3250-3255	53,3	0	1,6	66,0	2,8	0,6	67,5	2,0	0,8	68,4	1,1	1,1	62,1	0,9	1,5
Покрівля В-16	3255-3259	53,3	0	1,6	68,6	3,1	0,5	69,1	2,1	0,7	69,1	1,0	0,7	63,0	0,9	1,4
	3259-3263	53,3	0	1,4	69,9	1,6	0,4	70,0	1,0	0,5	71,5	2,5	0,6	63,6	0,8	1,2
	3263-3265	53,3	0	1,8	70,1	1,3	0,5	70,2	1,0	0,6	71,7	1,0	0,7	63,7	0,6	1,4



1,2 – стовбури свердловини №553 Бугруватівського родовища;

\* – Місця оснащення, обвалювання та прихоплення; ⊗ – Місце кінцевого прихоплення інструменту з втратою циркуляції бурового розчину

Рисунок 3 — Відображення результатів проведення, ускладнень та аварій похило-скерованих стовбурів у нестійких породах Бугруватівського родовища від величини зенітного кута відхилення від вертикалі та інтенсивності викривлення стовбура

Таблиця 2 – Граничний час стійкості стінок похило-скерованих стовбурів свердловини № 545-Бугруватівська

Час буріння від розкриття комплексу нестійких порід до:	Пілотний стовбур	Похило – скеровані стовбури			
		I	II	III	IV
- появи першого ускладнення;	-----	5 діб	6 діб.	6 діб.	-----
- прихоплення бурового інструменту;	-----	15 діб.	18 діб.	15 діб.	-----
- завершення буріння похило-спрямованого стовбура;	10 діб.	-----	-----	-----	5 діб.
- завершення процесу кріплення інтервалу залягання нестійких порід;	-----	-----	-----	-----	7 діб.
- розкриття інтервалу під кутом 65 град.	–	+	+	+	–
Максимальне значення інтенсивності викривлення, $\frac{\text{град}}{10\text{м}}$ .	0,8	3,7	2,8	2,5	0,9

пілотного і частково похило-скерованого стовбурів, де середня інтенсивність набору кривизни менша 10/10м, механічна швидкість буріння у півтора рази вища, ніж під час буріння I, II і III похило-скерованих стовбурів, де середня інтенсивність набору кривизни перевищує 1,50/10м за максимальних її значень 2,8-3,70/10м.

Викладені результати буріння похило-скерованої з горизонтальним закінченням свердловини 545-Бугруватівська свідчать про те, що успішне проведення такого типу свердловин в складно побудованих геологічних об'єктах з комплексами нестійких гірських порід вимагає застосування спеціальних техніко-технологічних заходів, що забезпечують стійкість стінок похило-скерованих і горизонтальних ділянок стовбура свердловини.

В результаті проведеного аналізу за результатами буріння свердловин на Бугруватівському родовищі, впливу техніко-технологічних чинників на можливість і успішність буріння похило-скерованих і горизонтальних стовбурів свердловин у зонах залягання нестійких порід на великих глибинах родовищ ДДЗ, можна зробити наступні висновки і подати рекомендації.

### Висновки

1. Достатньою кількістю фактичних даних підтверджена наявність попередньо теоретично обґрунтованого [1] критичного zenітного кута нахилу стовбура свердловини на стійкість її стінок, який складає близько  $\alpha=650$ .

2. Виявлено, що для нестійких порід існує критична, з точки зору стійкості свердловин і швидкості механічного буріння, величина інтенсивності викривлення ( $i$ , град/м), яка для даних умов складає близько 10/10м.

3. Встановлені промислово-експериментальні залежності впливу величин zenітного кута нахилу стовбура свердловини ( $\alpha_0$ ) і величини інтенсивності викривлення ( $i$ , град/м) на величину механічної швидкості буріння.

4. Успішним закінченням свердловини №545 Бугруватівська доведено, що у разі пов-

ного врахування і впливу встановлених чинників на стійкість стінок свердловин і технічні показники буріння, можна успішно бурити похило-скеровані і горизонтальні стовбури свердловин в найскладніших геолого-технічних умовах і великих глибинах родовищ ДДЗ з використанням вітчизняних техніки і технологій.

### Рекомендації

1. Для забезпечення безаварійного з високими техніко-економічними показниками будівництва похило-скерованих і горизонтальних свердловин необхідно проектувати і здійснювати в практиці бурових робіт проходження небезпечних з точки зору втрати стійкості стінок свердловини інтервалів за відносною стабілізації zenітного кута відхилення стовбура від вертикалі, а набір кривизни проводити вище або нижче інтервалу залягання нестійких гірських порід. Особливо слід уникати інтенсивного викривлення стовбура свердловини в зоні залягання нестійких гірських порід за кутів нахилу стовбура, близьких до критичної величини 650.

2. Досвід буріння похило-скерованих і горизонтальних свердловин на Бугруватівському нафтовому родовищі в нестійких гірських породах верхньовізейського під'ярусу в межах продуктивних горизонтів В-14, В-15 і В-16 та перемичок між ними свідчать, що інтенсивність викривлення стовбура свердловини в цих відкладах необхідно обмежувати величиною, що не перевищує 0,90/10м, а краще намагатись проходити нестійкі комплекси гірських порід за нульової інтенсивності набору zenітного кута.

3. Для мінімізації фізико-хімічної дії бурового розчину і механічної дії торців замків бурильних труб у ході спуско-підймальних операцій на стінки свердловини в процесі буріння в нестійких гірських породах необхідно досягати шляхом скорочення часу дії і зменшення числа спуско-підймальних операцій, тобто підвищенням швидкості буріння. Для підвищення швидкості буріння в нестійких породах не допускати перевищення інтенсивності викривлення стовбура свердловини більше за критичну величину.



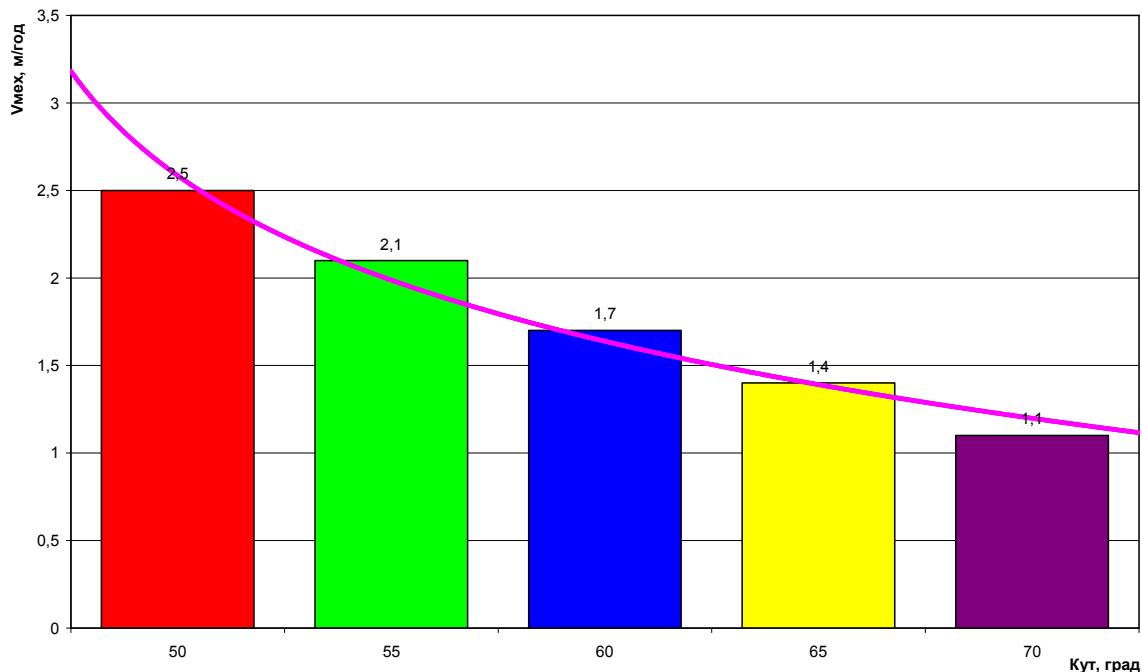


Рисунок 4 — Залежність механічної швидкості буріння від величин зенітного кута відхилення стовбура свердловини від вертикалі

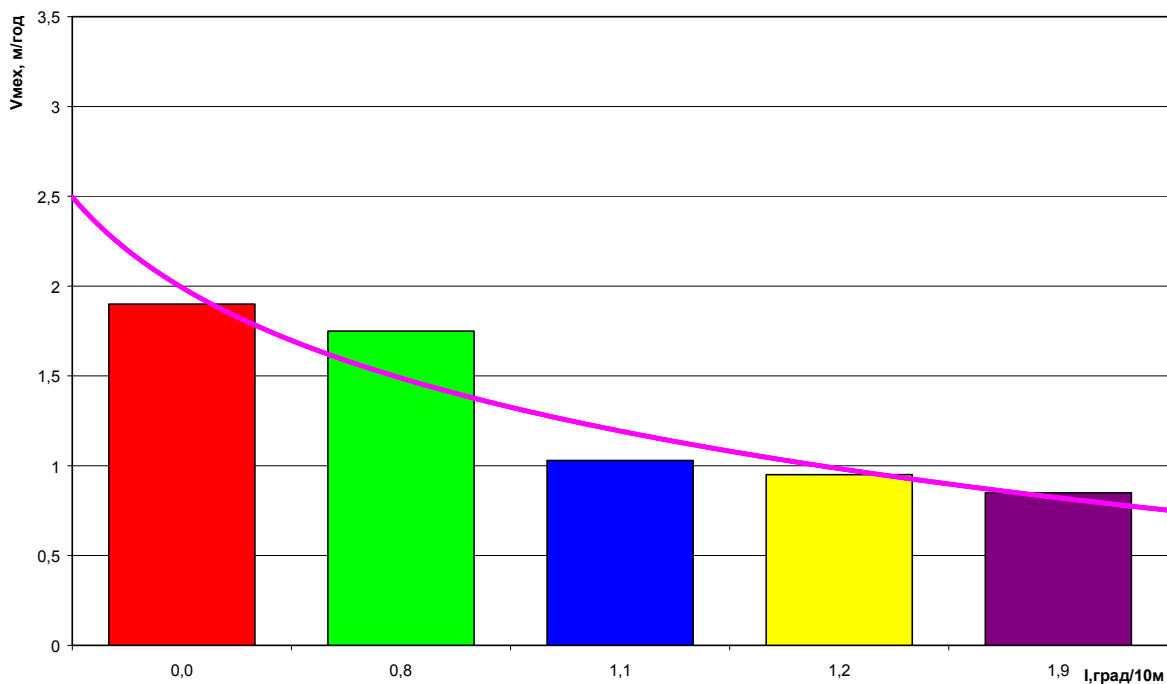


Рисунок 5 — Залежність механічної швидкості буріння від інтенсивності викривлення стовбура

**Література**

1 Кунцяк Я. В. Особливості буріння похило-скерованих ділянок горизонтальних свердловин / Я.В. Кунцяк, Р.Я. Кунцяк // Нафтова і газова промисловість. – 2006. – №1. – С. 34-35.

2 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 ІФТУНГ. – 2005. – №2(11). – С. 37-41.

3 Кунцяк Я.В. Буровые растворы для сложных горно-геологических условий Украины. / Я.В. Кунцяк, Ю.В. Лубан // Технологии ТЭК. – Декабрь 2006. – С. 36-38.

Стаття постуила в редакційну колегію  
12.01.10  
Рекомендована до друку професором  
**Я. С. Коцкуlichem**