

REASONS OF CURVATURE OF OIL AND GAS WELLS

D. Pobidynskiy¹, V. Herevych¹, A. Slauta¹, V. Khomenko^{1}, O. Pashchenko¹*

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

**Corresponding author: e-mail: intelldriller@gmail.com*

Abstract. When the curvature of wells significantly complicates the drilling process, reduces the reliability of the data obtained when calculating reserves and construction of sections, increases the cost of drilling. Therefore, the distortion of wells must be combated by studying the causes and patterns, developing tools to combat it. The whole set of various factors that cause distortion of wells can be classified by distinguishing three main groups of technical, technological and geological.

The reasons for the initial curvature should include: mismatch of the axes of the tower, the rotor table and the mine direction; non-horizontal rotor table; curvature of the leading pipe; eccentric drilling of well shafts during the transition from a larger diameter to a smaller one or when expanding wells; eccentric or skewed connection of individual elements of the BHA with each other and with a bit; use of curved drill pipes.

Factors of geological order are associated with the influence on the distortion of the strength properties of rocks and the conditions of their occurrence. The main reasons for this group are the anisotropy of the properties of rocks, interleaving in hardness, angles of incidence, strength, and fracture. These are objective reasons that cannot be eliminated - you can only take into account their impact and reduce the negative consequences.

The technological reasons for the curvature of wells include factors related to the influence of the drilling method, the design of the rock-destroying tool, the regime parameters.

Key words: curvature of wells, inclined-directional drilling, anisotropy of rock properties

ПРИЧИНИ ВИКРИВЛЕННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Д. Побідинський¹, В. Геревич¹, А. Слаута¹, В. Хоменко^{1}, О. Пащенко¹*

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

**Відповідальний автор: e-mail: intelldriller@gmail.com*

Анотація. При викривленні свердловин значно ускладнюється процес буріння, знижується достовірність отриманих даних при підрахунку запасів і побудові розтинів, підвищується вартість бурових робіт. Тому з викривленням свердловин необхідно боротися, вивчаючи причини і закономірності, розробляючи засоби боротьби з ним. Весь комплекс різноманітних факторів, що викликають викривлення свердловин, можна класифікувати виділивши три основні групи технічні, технологічні і геологічні.

До причин початкового викривлення слід віднести: неспівпадіння осей вишки, столу ротора і шахтного напрямку; негоризонтальність столу ротора; викривленість ведучої труби; ексцентричне забурювання стволів свердловин при переході з більшого діаметру на менший або при розширенні свердловин; ексцентричне або з перекосом з'єднання окремих елементів КНБК між собою та з долотом; використання викривлених бурильних труб.

Чинники геологічного порядку пов'язані з впливом на викривлення міцнісних властивостей порід і умов їх залягання. Основні причини цієї групи – анізотропія властивостей гірських порід, перемежування по твердості, кути падіння, міцність, тріщинуватість. Це об'єктивні причини, усунути які не представляється можливим – можна лише врахувати їх вплив і понизити негативні наслідки.

До технологічних причин, що обумовлюють викривлення свердловин, можна віднести чинники, пов'язані з впливом способу буріння, конструкції породоруйнівного інструменту, режимних параметрів.

Ключові слова: викривлення свердловин, похило-скероване буріння, анізотропія властивостей гірських порід.

Вступ.

Під викривленням розуміють відхилення свердловини від первісно заданого напрямку. Викривлення часто призводить до таких негативних наслідків:

- порушення щільності сітки свердловин;
- збільшення довжини свердловин;
- збільшення витрат потужності на обертання бурильної колони;
- збільшення вірогідності виникнення ускладнень і аварій під час буріння;
- погіршення стану стовбуру свердловини;
- підвищення зносу бурового інструменту, бурильних і обсадних труб;
- труднощі з кріпленням свердловини обсадними трубами тощо.

Таким чином, при викривленні свердловин значно ускладнюється процес буріння, знижується достовірність отриманих даних при підрахунку запасів і побудові розтинів, підвищується вартість бурових робіт. Тому з викривленням свердловин необхідно боротися, вивчаючи причини і закономірності, розробляючи засоби боротьби з ним. Використовуючи закономірності викривлення свердловин і змінюючи штучно його інтенсивність, практично можна управляти просторовим положенням свердловини і проводити її вибій в задану точку.

Таким чином, метою статті є дослідження причин викривлення нафтових і газових свердловин.

Для цього потрібно вирішити такі завдання:

- ідентифікувати чинники, які впливають на викривлення свердловин;
- дослідити механізм їх впливу на процес викривлення свердловин.

Методика.

Під час дослідження використовувались загальнонаукові та спеціальні методи дослідження: діалектичний, формально-логічний, компаративістичний, системно-структурний і системно-функціональний.

Результати та обговорення.

Відхилення свердловини від проектного положення в просторі може відбуватися з двох причин:

- а) внаслідок неправильного закладення (орієнтування) осі свердловини при її забурюванні (початкове відхилення);
- б) внаслідок викривлення свердловини в процесі буріння під впливом технічних, технологічних і геологічних чинників.

У першому випадку діють суб'єктивні причини, які досить легко можуть бути усунені, в другому – в основному об'єктивні причини або чинники, що викликають природне викривлення.

Таким чином, весь комплекс різноманітних факторів, що викликають викривлення свердловин, можна класифікувати виділивши три основні групи технічні, технологічні і геологічні (табл. 1) [1].

Сучасні уявлення про механізм викривлення свердловин пов'язані з впливом геологічних і техніко-технологічних чинників і зводяться, в основному, до трьох положень:

- вісь бурового снаряду утворює кут з віссю свердловини внаслідок перекосу компоновки або її вигину;
- породоруйнівний інструмент при бурінні підробляє стінку свердловини переважно в одному напрямі, збільшуючи кут незгоди між осями бурового снаряду і свердловиною;
- буровий снаряд реалізує у свердловині вид руху, при якому перекошений торець породоразруйнівного інструменту більшу частину часу орієнтується в одному напрямі, що призводить до асиметричного руйнування вибою.

Таблиця 1 – Класифікація причин і факторів, які викликають викривлення свердловин (за С.С. Сулакшиним)

Основні причини викривлення свердловин	Чинники, що обумовлюють напрям і інтенсивність викривлення свердловин			
	Діючі закономірно		Діючі незакономірно	
	Що визначають просторове положення і інтенсивність викривлення свердловин	Що визначають тільки інтенсивність викривлення	Що змінюють просторове положення і інтенсивність викривлення	Що змінюють тільки інтенсивність викривлення
Геологічні	<p>1. Анізотропія гірських порід.</p> <p>2. Закономірне розташування площин подільності, окремоті, шаруватості, розсланцювання, кліважу, тріщинуватості; прожилків, жил.</p> <p>3. Текстура і структура порід; закономірне орієнтування породоутворюючих мінералів, флюїдальність, трахітоїдність та ін.</p> <p>4. Структурно-тектонічні умови залягання шарів порід (складчастість, тектонічні порушення)</p> <p>5. Закономірне перешарування порід різної твердості.</p>	<p>1. Міра анізотропії породи.</p> <p>2. Величина кута зустрічі свердловини з площинами подільності, окремоті, шаруватості, тріщинуватості та ін.</p> <p>3. Частота перемежовуваності шарів порід різного характеру або інших геолого-структурних елементів, міра розсланцюватості, тріщинуватості і так далі.</p>	<p>1. Зустріч включень з твердістю (валунів або брил твердих порід), що різко відрізняється, або порожнеч, каверн, відкритих тріщин, зон порушень та ін.</p> <p>2. Незакономірна зміна геолого-структурних умов буріння.</p> <p>3. Неспівпадання напрямку дії геологічних чинників (геолого-структурних і текстур ознак).</p>	<p>1. Нерівномірна зміна геолого-структурних або тектонічних умов буріння свердловин.</p>
Технічні	<p>1. Спосіб буріння.</p> <p>2. Конструкція (тип) породоруйнівного інструменту.</p> <p>3. Кут нахилу свердловини.</p> <p>4. Характер бурильної колони.</p>	<p>1. Величина перекосу бурового снаряда у свердловині, визначувана: величиною зазору між стінками свердловини і буровим снарядом (трубами), довжиною бурового снаряду і його жорсткістю.</p> <p>2. Компонування низу бурильної колони і бурового снаряда (наявність ОБТ, центраторів, розширювача та ін.).</p> <p>3. Форма, розміщення і вихід різців.</p> <p>4. Діаметр свердловин</p> <p>5. Спосіб створення осьового навантаження на забій.</p>	<p>1. Неправильна установка бурового снаряда і направляючої труби</p> <p>2. Зміна діаметру свердловини (зменшення або збільшення)</p> <p>3. Аварії і ускладнення у свердловині.</p>	<p>1. Неспіввісність елементів бурового снаряду.</p> <p>2. Неспіввісність в з'єднаннях бурильних труб.</p> <p>3. Погнутість, овальність і різностінність колонкових труб.</p> <p>4. Розробка ствола свердловини.</p>

Основні причини викривлення свердловин	Чинники, що обумовлюють напрям і інтенсивність викривлення свердловин			
	Діючі закономірно		Діючі незакономірно	
	Що визначають просторове положення і інтенсивність викривлення свердловин	Що визначають тільки інтенсивність викривлення	Що змінюють просторове положення і інтенсивність викривлення	Що змінюють тільки інтенсивність викривлення
Технологічні	1. Спосіб буріння свердловини, з чим пов'язані величина і напрями дії сил, що відхиляють буровий снаряд 2. Напрямок і характер обертання бурового снаряда 3. Нерівномірне руйнування породи	1. Міра розробки ствола свердловини залежно від технологічних параметрів 2. Параметри режиму буріння: осьове навантаження, частота обертання снаряда, інтенсивність промивання 3. Якість промивальної рідини 4. Величина механічної швидкості буріння	1. Зміна геолого-технічних умов буріння 2. Збільшення глибини свердловини	1. Зміна параметрів режиму буріння 2. Вимір механічної швидкості буріння

Для визначення перспективних напрямків з розробки засобів і методів керування природнім викривленням свердловини розроблена класифікація факторів викривлення свердловин по принципу можливості їх контролю і керування (табл. 2) [2].

Таблиця 2 – Фактори викривлення свердловин, по принципу їх керованості (за В.С. Щербачовим, І.Є. Данильченко)

Основні чинники	Некеровані		Частково керовані	Керовані
	Контрольовані	Неконтрольовані		
Геологічні	Коефіцієнт анізотропії порід Кут падіння пластів Азимут простягання пластів Частота перемежаної порід по твердості	Тріщинуватість порід Кут між шаруватістю і розсланцюванням Різниця твердості шарів порід, що контактують	Інтенсивність природного викривлення свердловин в і зенітній азимутній площинах Кут зустрічі осі свердловини з нашаруванням порід в розрізі і плані	
Технічні	Аварійні ситуації: розбурювання керна, обхід або знищення металу на забої		Жорсткість низу бурового снаряда Співісність різьбових з'єднань Жорсткість і прямолінійність колонкових труб	Точність установки бурового снаряда Якість нарізки різьб колонкових труб
Технологічні			Спосіб буріння Тип і діаметр породоруйнівного інструменту Параметри режиму буріння	Застосування спеціальних компонентів низу бурового снаряда Напрямок обертання бурового снаряда Перехід на менший діаметр породоруйнівного інструменту

Технічні причини викривлення свердловин

До причин початкового викривлення слід віднести:

- неспівпадіння осей вишки, столу ротора і шахтного напрямку;
- негоризонтальність столу ротора;
- викривленість ведучої труби.

Вплив перерахованих причин особливо сильно позначається на бурінні в початкових інтервалах і може призводити до істотного відхилення свердловин від проектного напрямку, як по зенітному куту, так і по азимуту.

Також до технічних причин відносять:

- ексцентричне забурювання стволів свердловин при переході з більшого діаметру на менший або при розширенні меншого діаметру на більший;
- використання породоруйнуючих інструментів і елементів компоновання низу бурильної колони (КНБК), не передбачених режимно-технологічною картою;
- ексцентричне або з перекосом з'єднання окремих елементів КНБК між собою та з долотом, що обумовлює неспіввісне розташування КНБК та свердловини;
- використання викривлених бурильних труб та неспівпадіння їх осей з осями з'єднувальних елементів (муфт і замків).

Всі ці причини викликають асиметричне, нерівномірне руйнування вибою і відхилення свердловини від проектного напрямку.

Геологічні причини викривлення свердловин

Викривлення свердловин визначаються взаємодією породоруйнівного інструменту і гірської породи. Першопричина викривлення при такій взаємодії – нерівномірність руйнування вибою і стінок свердловини в різних точках.

Чинники геологічного порядку пов'язані з впливом на викривлення міцнісних властивостей порід і умов їх залягання. Основні причини цієї групи – анізотропія властивостей гірських порід, перемежування по твердості, кути падіння, міцність, тріщинуватість. Це об'єктивні причини, усунути які не представляється можливим – можна лише врахувати їх вплив і понизити негативні наслідки.

Основним геологічним чинником є анізотропія властивостей гірських порід. Більшість гірських порід в результаті дії на них горотворних процесів піддавалося значним змінам і набуло різних фізико-механічних властивостей у взаємно перпендикулярних напрямках. Анізотропія гірських порід обумовлюється їх мінералогічним складом, оскільки вона властива багатьом породоутворюючим мінералам. Орієнтоване розташування таких мінералів визначає анізотропію і самих порід.

Анізотропія проявляється, передусім, у відмінності механічних властивостей і, отже, буримості порід у різних напрямках. Найбільшою мірою анізотропія проявляється при бурінні порід із структурою, що характеризується паралельними площинами, смужчатістю, сланцюватістю. Часто ці площини або шари розташовуються відповідно до площин або шарів порід, що складають усю товщу. Опірність таких порід руйнуванню при бурінні в напрямі, перпендикулярним цим площинам, виявляються, як правило, менше, ніж в будь-якому іншому напрямі. Анізотропію можуть мати і товщі порід без видимої шаруватості, коли нерівномірність властивостей може бути пов'язана з орієнтацією часток в процесі осадконакопичування або мінералів. В цьому випадку напрями мінімальної і максимальної міцності гірських порід орієнтовані відносно площин нашарування усєї товщі.

Кількісно анізотропні властивості порід оцінюються показником (коефіцієнтом) анізотропії по співвідношенню межі міцності породи на стискування, виміряного в напрямі, перпендикулярному і паралельному площині нашарування.

$$\left[\frac{\delta_{сж}^\perp}{\delta_{сж}^\parallel} \right] \leq 1 = a \quad (1)$$

a – коефіцієнт анізотропії.

Значення показника анізотропії може змінюватися від 0,4 (дуже анізотропні породи) до 1,0 – ізотропні породи, коли їх властивості однакові на всіх напрямках.

Площина, співпадаюча з вектором максимальної міцності порід, називається головною площиною анізотропії.

Відношення мінімальної і максимальної швидкості буріння в двох взаємно перпендикулярних напрямках називається коефіцієнтом бурової анізотропії.

$$\frac{V_{\min}}{V_{\max}} = b \quad (2)$$

Найбільша швидкість досягається в напрямі перпендикулярному головній площині анізотропії (площини нашарування), а мінімальна – в паралельному напрямі.

При бурінні вибій свердловини руйнується асиметрично: більшою мірою – в напрямі, перпендикулярному площині нашарування, і свердловина прагне викривитися у бік найменшого опору порід руйнуванню. Крім того, при асиметричному руйнуванні вибою стовбура свердловини набуває овальної форми перерізу, витягнутої в напрямі, перпендикулярному до лінії найменшого опору породи руйнуванню (напрямок простягання шарів). Така форма привибійної частини стовбура свердловини, що буриться в анізотропній породі, призводить до фіксованого перекосу або вигину бурового снаряда, напрям якого сприяє викривленню свердловини у бік найменшого опору гірських порід руйнуванню.

Інтенсивність викривлення свердловин при бурінні анізотропних породах залежить від величини кута зустрічі γ свердловиною площини нашарування. Найбільша інтенсивність спостерігається при кутах зустрічі в межах від 30 до 60°, досягаючи максимуму при 45°.

При малих кутах зустрічі площини залягання міцних порід свердловина може ковзати по контакту. Величина кута зустрічі, при якій припиняється ковзання породоруйнівного інструменту по контакту і починається його впровадження в тверду породу, називається критичним кутом зустрічі. Величина цього кута залежить від різниці в твердості контактуючих порід, виду породоруйнівного інструменту, жорсткості бурового снаряда і інших чинників і коливається в межах 15-18°.

При чергуванні гірських порід по міцності, інтенсивність викривлення зростає. Це пояснюється тим, що при зустрічі контакту міцних порід, що похило залягають, на торець породоруйнівного інструменту діє перекидний момент сил, що виникає із-за відмінності в силі реакції вибою на контакті між твердою і м'якою породою. Це призводить до перекосу снаряда і викривленню у напрямі повстання пластів. При виході в м'яку породу ділянка стовбура, пройдена в твердому пласті, утримує буровий снаряд від перекосу у зворотний бік. Тому при чергуванні твердих і м'яких прошарків свердловина в цілому викривляється в напрямі перпендикулярному площині напластування.

Розглянуті причини обумовлюють як зенітне, так і азимутне викривлення свердловин.

Технологічні причини викривлення свердловин

До технологічних причин, що обумовлюють викривлення свердловин, можна віднести чинники, пов'язані з впливом способу буріння, конструкції породоруйнівного інструменту, режимних параметрів.

Спосіб буріння визначає швидкість руйнування забою і розробку стінок свердловини. Із збільшенням механічної швидкості буріння викривлення знижується, оскільки зменшується час дії несприятливих чинників. Чим більше проміжок між снарядом і свердловиною, тим більше викривлення.

Режимні параметри впливають на механічну швидкість і умови роботи бурового снаряда. Підвищення осьового навантаження однозначно призводить до зростання викривлення.

Із збільшенням частоти обертання виникають відцентрові сили, діючі на буровий снаряд, що зменшує довжину півхвилі вигину і створює умови для викривлення свердловини. Але при високих частотах обертання створюються сприятливі умови для обертання снаряда навколо

осі свердловини, що знижує викривлення. В цілому зростання частоти обертання зазвичай сприяє зменшенню інтенсивності викривлення.

Витрата промивальної рідини позначається на викривленні тільки при бурінні м'яких, таких, що розмиваються, порід.

Тип і конструкція породоруйнівного інструменту значною мірою визначають інтенсивність, а у ряді випадків – і напрям викривлення свердловин. Це пов'язано з ефективністю руйнування породи (швидкість просування вибою або інтенсивність розробки стінок свердловини). Напрямок викривлення свердловини в цьому випадку істотно залежить від форми вибою і міри анізотропії породи.

Залежно від геометричної форми торця долота і розміщення різців форма вибою має, як правило, вигляд площини, розташованої перпендикулярно до осі інструменту або під кутом до неї. При перпендикулярному розташуванні площини вибою руйнування породи йде головним чином уздовж осі снаряда, а при похилому – уздовж осі і в ту або іншу сторону залежно від взаємного положення площин вибою і напрямку найменшого опору породи руйнуванню. У анізотропних породах руйнування йтиме переважно в цьому напрямі, що приведе до зміщення вибою і відхиленню стовбура свердловини. Максимальна інтенсивність викривлення спостерігатиметься при використанні долота з торцем у вигляді зворотного конуса або у вигляді півсфери, тоді як при роботі долота з плоским торцем або у вигляді прямого конуса викривлення свердловини відбуватиметься в найменшій мірі.

Висновки

1. В роботі ідентифіковані основні чинники, які впливають на викривлення свердловин.
2. Проаналізовані основні геологічні, технічні і технологічні причини викривлення свердловин на нафту і газ.

References

1. Сулакшин, С.С. (1987). Направленное бурение. М.: Недра.
2. Щербачев, В.С. & Данильченко, И.Е. (1990). Методы и средства направленного бурения глубоких скважин на твердые полезные ископаемые. М.: ВИЭМС.

References

1. Sulakshin, S.S. (1987) Napravlennoe burenie. M.: Nedra.
2. Scherbachev, V.S. & Danilchenko, I.E. (1990). Metodyi i sredstva napravlennogo bureniya glubokih skvazhin na tverdye poleznyie iskopaemyie. M.: VIEMS.