

## Литература

1. Справочник по бурению геологоразведочных скважин / Под ред. П. П. Пономарева, Г. А. Блинова. – С.-Пб: ООО Недра, 2000. – 712 с.
2. Кожевников А. А., Гошовский С. В., Мартыненко И. И., Вырвинский П. П. Разрушение горных пород при колонковом бурении геологоразведочных скважин: Монография. – К.: УкрГГРИ, 2006. – 146 с.

Поступила 12.05.16

УДК 622. 233.4

Я. С. Коцкулич, д-р техн. наук<sup>1</sup>, В. Г. Вітрик, канд. техн. наук<sup>2</sup>, А. М. Лівінський<sup>2</sup>

## ЗАСТОСУВАННЯ РОТОРНО-КЕРОВАНИХ СИСТЕМ ПРИ СПОРУДЖЕННІ ПОХИЛО-СКЕРОВАНИХ СВЕРДЛОВИН

<sup>1</sup>Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

<sup>2</sup>Науково-технічне підприємство, ТОВ «Бурова техніка», Україна

*Розглянуто особливості та технічну характеристику роторно-керованих систем і вибійних двигунів. Висвітлено їх переваги і недоліки. Наведено основні складові систем та схарактеризовано принцип їх роботи. З урахуванням результатів аналізу промислових даних обґрунтовано доцільність використання роторно-керованих систем, описано моторизовані роторно-керовані системи.*

**Ключові слова:** свердловина, похило-скероване буріння, профіль свердловини, роторно-керована система, гвинтовий вибійний двигун, геофізичні дослідження, долото PDC.

### Вступ

Буріння свердловин складної траєкторії найближчими роками стане основним в Україні, як і більшості інших країн світу. Практичне впровадження технології буріння свердловин складно і просторової орієнтації потребує попередніх розрахунків, проектування траєкторій свердловин та використання сучасної техніки і новітніх технологій для їх прокладання [1].

За оцінками 23% світового обсягу похило-скерованого буріння здійснюється за допомогою роторно-керованих систем (РКС). А це 3,5 млрд дол. від розрахункового обсягу ринку, що становить 15 млрд дол. І ця частка збільшуватиметься у зв'язку з підвищенням попиту на скероване буріння [2].

### Основний матеріал

Застосування РКС забезпечує підвищення швидкості прокладання, зниження звивистості, крутильних і осьових навантажень, а також явища підклинювання-провертання (*Stick&Slip*) порівняно з похило-скерованим бурінням з використанням гвинтових вибійних двигунів (ГВД). Із використанням РКС забезпечується можливість буріння довших інтервалів з рівномірним діаметром стовбура, що полегшує спускання обсадних колон. У практиці буріння поширені РКС таких провідних компаній як «Schlumberger» (рис. 1), «Weatherford», «Cinematx».



Рис. 1. Загальний вигляд (схематичний) РКС, Power Drive фірми «Schlumberger»: 1 – гнучкий патрубок; 2 – калібратор; 3 – модуль системи керування; 4 – відхиляючий модуль

Роторно-керована система «Power Drive» компанії «Schlumberger» складається з таких основних елементів:

гнучкого патрубку для зниження жорсткості КНБК, можливості зміни параметрів траєкторії свердловини; це канал зв'язку між РКС і телесистемою;

калібратора, що є третьою точкою контакту зі стінкою свердловини і забезпечує контроль параметрів кривизни. Існують три типи калібраторів: колонний, інтегрований і рукавного типу, що дає змогу варіювати положення і розміри для забезпечення необхідного дизайну КНБК;

модуля управління – комплекту геостаціонарної електроніки, що складається з електронних датчиків (антен) всередині немагнітних обважнених бурильних труб (НОБТ). Основне призначення – контроль за розташованим нижче відхиляючим (наддолотним) модулем;

розташованого безпосередньо над долотом відхиляючого (наддолотного) модуля, який призначений для перетворення гідравлічної енергії бурового розчину на механічну енергію, необхідну для прокладання стовбура свердловини згідно з проектною траєкторією (рис. 2).

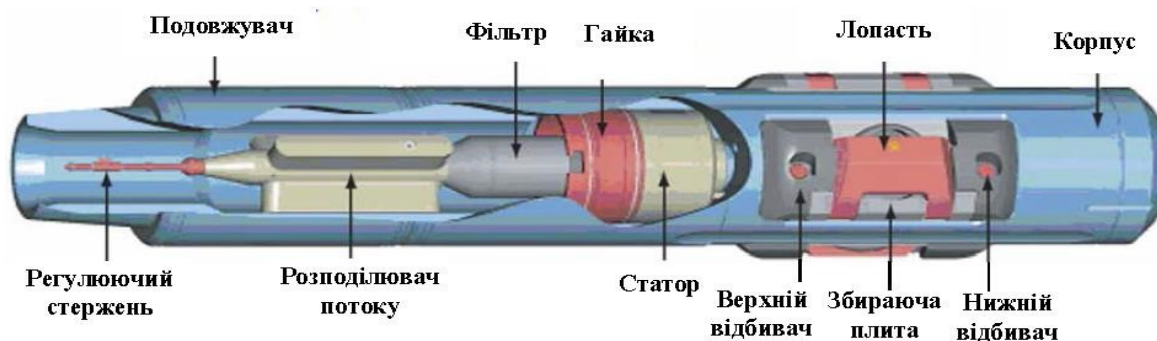


Рис. 2. Схема механічної частини відхиляючого (наддолотного) модуля РКС «Power Drive» «Schlumberger»

До нового покоління РКС належить система «Revolution» компанії «Weatherford». За допомогою цієї системи ефективно контролюють викривлення стовбура, при цьому забезпечується плавність його вигину, зменшує жолобоутворення. Основна перевага цієї конструкції полягає в тому, що в системі міститься статичний (нерухомий) центратор, довжиною 1,3 м, – без внутрішніх частин – що рухаються та елементи, які можуть бути перекриті частинками породи чи кольматантами. При бурінні інтервалів стабілізації в модуль електроніки задають значення зенітного кута та азимуту і РКС «перебирає керування на себе», і тим самим, за потреби, самостійно корегує траєкторію. Параметри траєкторії стовбура свердловини оновлюються кожні 10 с, що уможливило уникнення уступів при корегуванні [3]. Технічну характеристику системи наведено в таблиці.

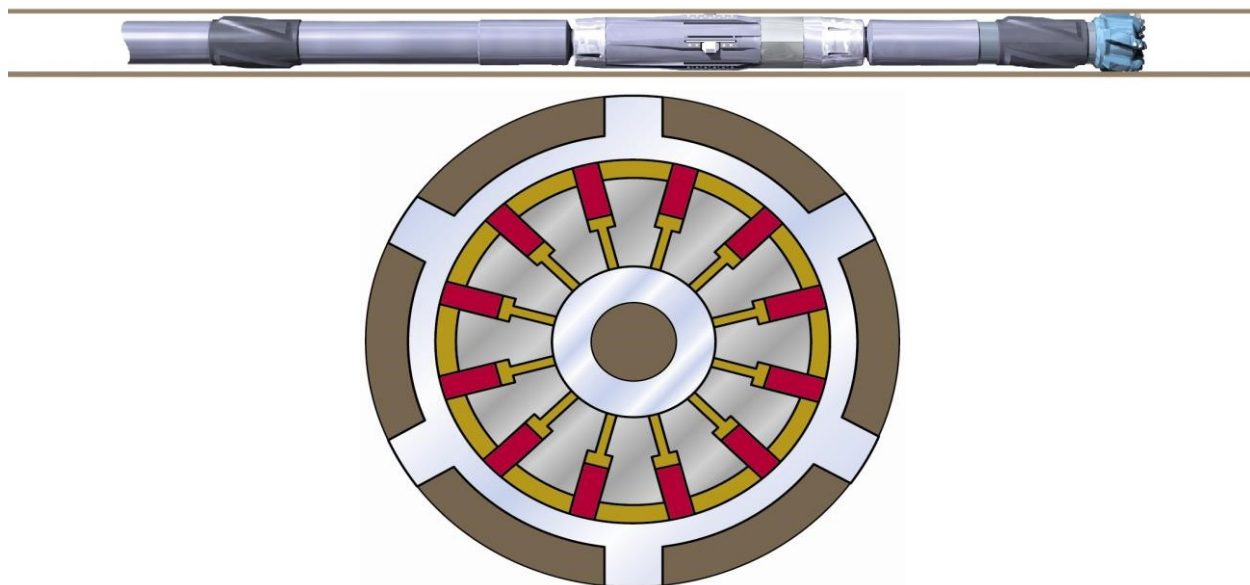
До складу компоновки РКС «Revolution» входять п'ять основних елементів:

- відхилювач (нерухомий);
- НОБТ;
- модуль електроніки;
- акумулятор;
- наддолотний калібратор.

**Технічна характеристика РКС «*Revolution*» компанії «*Weatherford*»**

Характеристика РКС	120 мм	172 мм	210 мм
Діаметр долота, мм	149,23–171,45	212,73–250,83	269,88–463,55
Інтенсивність викривлення, °/30 м	0-10	0–10	0–7,5
Частота обертання, с <sup>-1</sup>	0,83–4,16	0,83–4,16	0,83–4,16
Максимальна витрата насосів, м <sup>3</sup> /с	0,022	0,047	0,094
Максимальне навантаження на долото, кН	113	227	430
Максимальний тиск, МПа	173	173	173
Максимальна температура, ° С	175	175	175
Максимальне навантаження на розтяг, кН	1134,0	1588,0	3176,0

При бурінні інтервалів стабілізації, РКС працює в нейтральному положенні, за якого вал розміщено по центру пристрою (рис. 3).



*Рис. 3. Схема РКС «Revolution» при бурінні інтервалів стабілізації*

Для набірання траєкторії гідропоршні відхиляють вал від центральної осі, тим самим відхиляючи вісь обертання долота у протилежному напрямку (рис. 4).

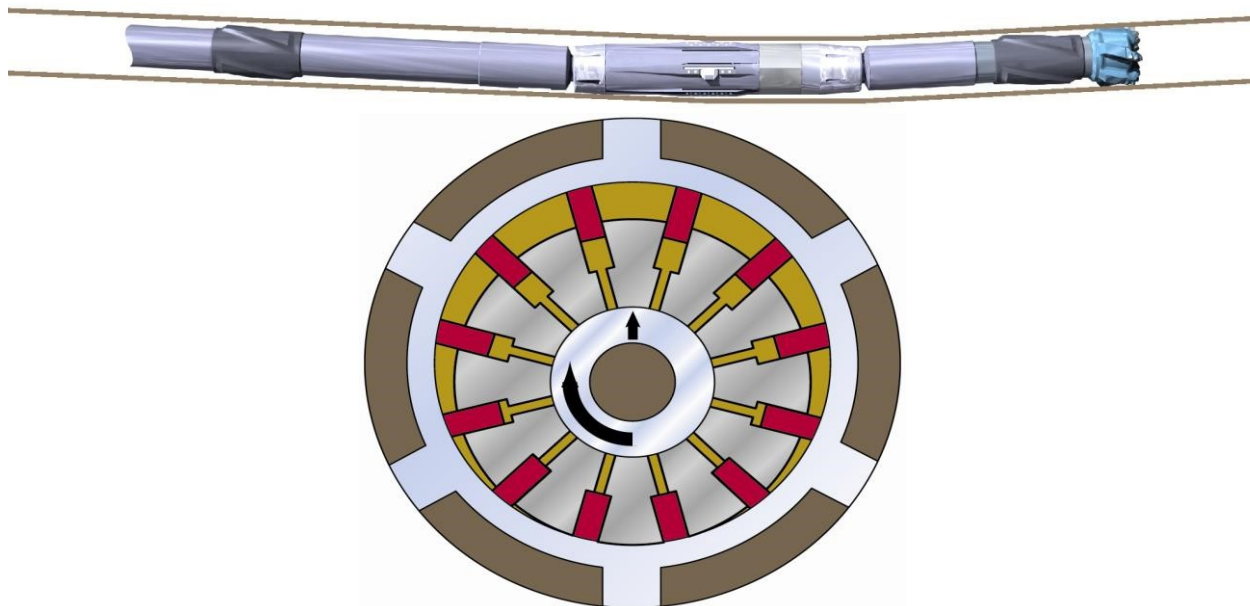


Рис. 4. Схема РКС «Revolution» при бурінні інтервалів набору кривизни

Слід зазначити, що для буріння похило-скерованих свердловин використовували високопродуктивні ГВД, що економічно ефективно. Про те через проблеми, що ускладнюють завершення буріння свердловин, можливі значні втрати часу і великі витрати. Зазвичай проблеми при похило-скерованому бурінні з використанням ГВД виникають через нерівномірність діаметра стовбура і мікрвикривлення. Існує також постійний ризик прихоплення під час буріння довгих горизонтальних ділянок, внаслідок чого при збільшенні довжини ділянки контролювати положення відхилювача двигуна стає дедалі важче. При «слайдингу» бурильна колона не обертається, буровий розчин перебуває у статичному стані, тому шлам належно не виноситься на поверхню і може накопичуватись навколо бурильної колони, у результаті чого відбувається прихоплення; при проштовхуванні долота двигуном без обертання колони сила тертя збільшується.

Роторно-керовані системи, які використовують для керування напрямку долота (*point-the-bit*), здатні попередити можливі проблеми, що виникають при відхиленні долота вибійним двигуном (*push-the-bit*). У системі не використовують режим «слайдингу» для контролю напрямку свердловини, а постійно обертають долото за заданою траєкторією. Обертання всієї бурильної колони запобігає прихопленню і спіральному скручуванню труб, забезпечуючи передавання необхідного навантаження на долото для оптимізації швидкості проходження, економії часу і коштів.

Забезпечення точного оцінювання властивостей пласта при економії часу, витрат і збереженні ефективності буріння є ключовою складовою розроблення родовища. Останніми роками значно підвищилась складність геофізичних вимірювань, а дані ГДС при бурінні (*LWD*) широко застосовують і вважають не розкішшю, а надійним інструментом, який часто використовують підставу для прийняття важливих геологічних рішень. КНБК з приладами ГДС при бурінні *LWD* стали частиною цілісної системи буріння та вимірювання, за потреби чіткого дотримання технологічних і операційних вимог, що у свою чергу сприяє прийняттю оптимального рішення при бурінні свердловини. Прилади *LWD* відіграють дедалі значнішу роль в детальній оцінці пласта, особливо при бурінні складних за профілем похило-скерованих і горизонтальних свердловин.

Один з таких пристроїв розміщений безпосередньо над системою РКС і є комбінацією сучасної системи телеметрії і ГДС, забезпечуючи гамма-каротаж і визначення питомого опору оточуючих порід (рис. 5) [4].





Рис. 5. Схема сучасної системи телеметрії та ГДС при бурінні

У разі застосування РКС разом з *LWD* отримують якісні азимутальні геофізичні дані про пласт завдяки незмінності діаметра стовбура, що забезпечується в результаті використання РКС. Геофізичні дані щодо якості дають змогу геофізикам виконувати геонавігацію у пластах малої товщини. Наприклад, отримати точну азимутальну густину і опір стовбура, використовуючи геонавігацію при бурінні вибійними двигунами, неможливо з огляду на відсутність обертання при «слайдингу». Разом з тим безперервне обертання РКС отримують високоякісні дані про гладкі і рівні стовбури, з гарантуванням проведення свердловини в центральній частині продуктивного горизонту.

Роторно-керована система виявилась едєктивною при бурінні похило-скерованого інтервалу свердловини в Північному морі.

Відповідно до плану при першому спусканні пробурили 3370–718 м за мінімальної інтенсивності набирання кута  $1,5^\circ/30$  м з мінімально можливим крутним моментом. При другому спусканні пробурили складний інтервал довжиною 1209 м з тривимірною траєкторією за точного контролю з інтенсивністю набориння кута  $3,5^\circ/30$  м. За ефективністю РКС значно перевершила високопродуктивні вибійні двигуни. З того часу компанія-замовник рекомендує використовувати технологію роторно-керованого буріння з використанням обладнання для ГДС при бурінні (*LWD*).

Аналогічну технологію використовували для буріння свердловини у пласті Олмос у Південному Техасі з досягненням світового рекорду за загальною довжиною проходження завершального рейсу, що – 2872 м. КНБК з РКС використовували для буріння інтервалу 1753–4666 м. Свердловину пробурили з випередженням графіка на шість днів; обсадну колону спустили без жодних ускладнень [4].

У результаті еволюції РКС з'явилися моторизовані роторно-керовані системи. Технологією передбачається встановлення ГВД у РКС для пришвидшення обертання долота при збереженні точного контролю траєкторії стовбура свердловини.

Роторно-керована система з силовим приводом – це високоефективна система, з повністю інтегрованим силовим приводом, у вигляді високомоментного вибійного двигуна, що перетворює гідравлічну енергію розчину на механічну [5]. Ця енергія в поєднанні з обертанням від верхнього приводу бурової установки значно підвищує потужність, що надходить на долото, що уможливорює використання для буріння долота РДС і найоптимальніше застосування навантаження на долото, що сприяє підвищенню механічної швидкості проходження. Інтегрована силова секція обертає долото з великою швидкістю, за якої знижується швидкість обертання основної частини бурильної колони, а також торсійні вібрації та інші їх види, що характерні для традиційного роторного буріння.

Так, в Австрії моторизовану РКС було спущено в свердловину для буріння інтервалу 1148–1932 м. Швидкість проходження підвищилась з 5 до 15 м/год в порівняно із сусідніми свердловинами, де використовувались традиційні РКС. За цією технологією, було пробурено стовбур, що на 132 м був довший, ніж раніше досягнутий максимальний відхід, за успішного виконання завдань скерованого буріння та повного контролю напрямку траєкторії свердловини.

Роторно-керовані системи широко застосовують при бурінні вертикальних свердловин у складних гірничо-геологічних умовах на родовищах, що перебувають на початковій стадії розроблення, коли за інформаційної невизначеності дані про фізико-механічні властивості гірських порід ще невідомі. Так, при бурінні розвідувальної свердловини *Aibawk-1*, *MZ-3* (Індія, штат *Mizoram*) для забезпечення вертикальності

використовували РКС «Power Drive X6» компанії «Schlumberger». Схеми КНБК, які

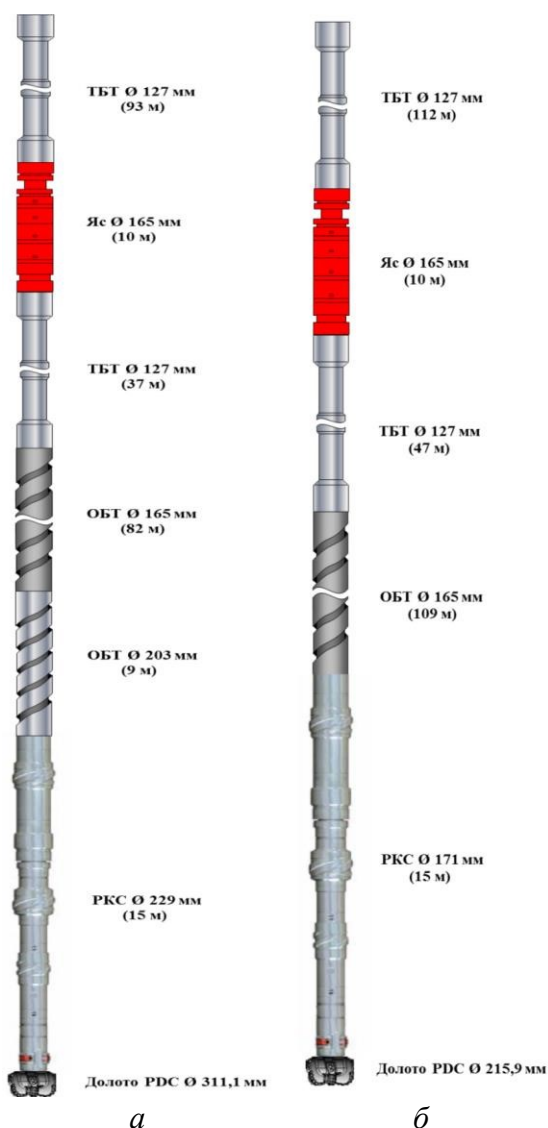


Рис. 6. КНБК для буріння свердловини Aibawk-1, MZ-3: а – під проміжну колону; б – під експлуатаційну колону

використовувались для буріння під проміжну та експлуатаційну колони, показано на рис. 6.

Наведені приклади підтверджують високу ефективність та надійність РКС. Технологія роторно-керованого буріння ефективна для продуктивних горизонтів малої товщини, за потреби виключно точного контролю траєкторії свердловини.

За певних умов ГВД здатні забезпечити значну економію, хоча технологія роторно-керованого буріння має певні переваги порівняно з вибійними двигунами, в окремих ситуаціях, останні є оптимальнішим рішенням. При порівнянні РКС з ГВД важливо точно оцінити економію, одержувану від використання РКС, з урахуванням усіх робіт, а також ремонту високовартісного обладнання і витрат у результаті втрати інструменту у свердловині. Наприклад, якщо РКС буде прихоплено у свердловині при бурінні, вартість його заміни може перевищити 1 млн дол., тоді як вартість заміни ГВД становить близько 200 тис. дол.

Високопродуктивні вибійні двигуни на відміну від РКС сумісні з усіма типовими долотами. З огляду на властивості пласта, який потрібно пробурити, використання долота з РКС може бути неможливе. Крім того,

у разі неправильного вибору долота може знизитись швидкість проходження.

Ефективність РКС залежить від наземної бурової установки для надання їй необхідної швидкості обертання. Малопотужні бурові установки не

забезпечують швидкості, необхідної для максимальної ефективності РКС, зводячи до мінімуму її переваги. Моторизована РКС придатна забезпечити високу швидкість обертання, за одночасного збільшення загальної вартості робіт. Висока швидкість обертання РКС може спричинити знос обсадної колони і пошкодити бурильну колону.

Високопродуктивні вибійні двигуни оснащено вдосконаленими гумовими еластомірами, що забезпечують підвищений крутний момент, достатню потужність і високу ефективність. Водночас вони здатні досягати вищої інтенсивності набирання кута в порівняно з РКС.

Правильно спроектована конструкція свердловини і оцінювання КНБК у комплексі з високопродуктивним вибійним двигуном сприяє отриманню кращих результатів ніж РКС. Гвинтовий вибійний двигун використовували на шельфі Катару для зменшення вібрації за

режиму «слайдингу». Интервал довжиною 1033 м пробурили в інтервалі набирання зенітного кута з 33° до 55° із середньою швидкістю проходження 38,7 м/год. Двигун перевершив очікувану швидкість проходження. У такий спосіб було встановлено новий рекорд для цього інтервалу. Із застосуванням розробленої конструкції КНБК зменшилась потреба в бурінні в режимі «слайдингу» до 4% загального інтервалу зі збереженням проектною траєкторії свердловини.

### **Висновки**

З аналізу результатів буріння свердловин виявили, що РКС мають певні переваги, порівняно з ГВД забезпечують збереження постійного діаметра стовбура свердловини, одержання точнішої геофізичної інформації та вищої механічної швидкості буріння.

Застосування моторизованих РКС у комплексі з ГВД забезпечує підвищення потужності на долоті, а також підвищення механічної швидкості буріння. Інтегрована силова секція обертає долото з великою швидкістю за зниженої швидкості обертання основної частини бурильної колони, що зменшує ймовірність ускладнень під час буріння.

*Рассмотрены особенности и техническая характеристика роторно-управляемых систем и забойных двигателей. Раскрыты их преимущества и недостатки. Приведены основные составляющие систем и охарактеризован принцип их работы. С учетом результатов анализа промышленных данных обоснована целесообразность использования роторно-управляемых систем. Описаны моторизованные роторно-управляемые системы.*

**Ключевые слова:** скважина, наклонно-направленное бурение, профиль скважины роторно-управляемая система, винтовой забойный двигатель, геофизическое исследование, долото PDC.

### **USING ROTARY-CONTROL SYSTEMS IN THE CONSTRUCTION OF OBLIQUELY-DIRECTED WELLS**

*Considered features, technical specification and submitted comparing the advantages and disadvantages of rotary steerable systems RSS and mud motors. The basic components of systems were described. Taking into account the results of the analysis of industrial data grounded the feasibility of using RSS and was described motorized rotary steerable systems.*

**Key words:** well, directional drilling, well profile, rotary steerable systems RSS, mud motors, logging, PDC bit.

### **Література**

1. Мислюк М. А., Рибчич І. Й., Яремійчук Р. С. Буріння свердловин: довідник. Т. 3: Вертикальне та скероване буріння. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2004. – 294 с.
2. Прохоров Л. В., Гордеев М. М. Преимущества и недостатки РУС // Oil and gas eurasia. – 2013. – № 5. – С. 29–30;
3. Роторная управляемая система Revolution [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=e9HV5-VC-B8>.
4. Результаты применения новых технологий в бурении при разработке сложного месторождения Восточной Сибири – Верхнечонского нефтегазоконденсатного месторождения / К. Уилсон, И. М. Шокарев, Дж. Смолл Э. Ахундов // Нефтегазовая Вертикаль. – 2011. № 2. – С. 54–55.
5. Al-Yami, A. Kubaisi, K. Nawaz, A. Awan, J. Verma, S. Ganda.: “Powered Rotary Steerable System Offer a Step Change in Drilling Performances” статья SPE 115491 представлена на 2008 SPE Asia Pacific Oil & Gas Conference & Exhibition, Австралия, Перт, 20-22 Октября 2008.

Надійшла 27.05.16