ОСОБЕННОСТИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ И ОСЛОЖНЕНИЙ МЕТОДОМ ЗАБУРИВАНИЯ НОВОГО СТВОЛА ПРИ СВЕРХГЛУБОКОМ БУРЕНИИ

FEATURES OF ACCIDENTS AND COMPLICATIONS ELIMINATION BY SIDE TRACKING METHOD WHILE ULTRADEEP DRILLING

Д. В. Карасев
D. V. Karasev

Пермский
научно-исследовательский
политехнический университет,
г. Пермь, Российская Федерация

Perm National Research Polytechnic
University,
Perm, Russian Federation

Н. Е. Щербинина
N. E. Shcherbinina

Пермский государственный
национальный
исследовательский университет,
г. Пермь, Российская Федерация

Perm State National
Research University,
Perm, Russian Federation

И. С. Хопта
I. S. Khopta

Пермский государственный
национальный
исследовательский университет,
г. Пермь, Российская Федерация

Perm State National
Research University,
Perm, Russian Federation

При строительстве сверхглубоких скважин часто возникает необходимость забуривания нового ствола в качестве способа ликвидации различных аварий и осложнений. В статье рассмотрен опыт бурения новых стволов при строительстве Тюменской (7502 м) и Ен-Яхинской (8250 м) сверхглубоких скважин на севере Западной Сибири. В процессе строительства основные осложнения, требующие бурения новых стволов, возникали из-за прихватов бурильной колонны на глубине ниже 6 км. В настоящее время для обычных глубин разработаны эффективные системы управления траекторией скважин — роторно-управляемые системы, однако по техническим характеристикам они не могут применяться при высоких давлениях и температурах больших глубин. Забуривание с моста, установленного с использованием предназначенного для жестких термобарических условий цемента УШЦ-2-200 и позволяющего создавать необходимую плотность цементного раствора, не увенчалось успехом, так как значения прочности пород в интервале забуривания составляли 51–118 МПа, превышая прочность цементного камня в 6–10 раз. Для обеспечения прочности опорного моста использовали арматуру из алюминиевых труб (АБТ) диаметром 147 мм с протекторными утолщениями, прочность алюминия на сжатие соответствует 320–350 МПа. При строительстве Тюменской скважины необходимость бурения нового ствола возникала три раза, Ен-Яхинской — один раз. Во всех случаях забуривание было успешно проведено.

While ultra-deep wells construction there is often a need to drill a new well as a way to eliminate various accidents and complications. The experience of drilling new wells during the construction of Tyumenskaya (7502 m) and Yen-Yakhinskaya (8250 m) ultra-deep wells in the north of Western Siberia is considered in the article. During the construction the main complications requiring drilling of new wells arose due to adherence of a drill string at a depth below 6 km. At present, for normal depths, effective well trajectory control systems have been developed — rotor-driven systems, but they cannot be used for technical purposes at high pressures and temperatures of ultra-deep horizons. Drilling from a cement plug installed with the use of the USHTS-2-200 cement, designed for high thermobaric conditions and allowing to create the necessary density of cement stone, was not successful, since the compressive strength values for rocks in the interval of drilling are 51–118 MPa, exceeding the strength of cement stone in 6–10 times. To ensure the strength of the supporting bridge, there were used aluminum pipe fittings (ABT) with a diameter of 147 mm with protective thickenings, the strength of aluminum for compression corresponds to 320–350 MPa. During the construction of the Tyumen well, the need to drill a new well occurred three times, Yen-Yakhinskaya — once. In all cases, the drilling was held successfully.

Ключевые слова

осложнения
при бурении,
сверхглубокая
скважина,
алюминиевые трубы,
прочность пород,
цемент, керн, долото

Key words

drilling
complications,
ultra-deep well,
aluminum pipes,
strength
of rocks, cement,
boring core, gab

При строительстве сверхглубоких скважин часто возникает необходимость забурирования нового ствола в качестве способа ликвидации различных аварий и осложнений, часто связанных с прихватами буровой колонны. В России эта проблема возникала при бурении практически всех известных сверхглубоких скважин: Кольской (12262 м), Тюменской (7502 м), Ен-Яхинской (8250 м) и др. В нефтегазоносных районах решение такой проблемы связано с особенностями геологического строения района проведения работ, а также часто присутствием аномально-высоких пластовых давлений (АВПД), высоких температур (выше 180 °С), газоводопрооявлениями и высокими прочностными характеристиками глубинных пород. В этом плане определенный интерес представляет опыт бурения Тюменской (СГ-6) и Ен-Яхинской (СГ-7) сверхглубоких скважин на севере Западной Сибири.

Основные причины возникновения осложнений при бурении СГ-6 и СГ-7 на больших глубинах заключались в следующем: несовпадение проектного и фактического геологических разрезов на больших глубинах; высокие пластовые температуры и давления и наличие высокопроницаемых коллекторов ниже 6 км; интенсивные газопрооявления; сложность регулирования параметров бурового раствора в жестких термобарических условиях. Отдельного внимания заслуживают газопрооявления в процессе проведения спуско-подъемных операций (СПО) при вскрытых газоводонасыщенных пластах на глубинах более 6 км. Такие осложнения происходили как при спусках, так и при подъемах буровой колонны. Для выявления причин этого явления и определения закономерности возникновения газоводопрооявлений еще при бурении Тюменской скважины было проведено моделирование изменений гидростатического и гидродинамического давлений в забойных условиях при выполнении различных технологических операций. В нижней части буровой колонны был установлен глубинный манометр и при

его нахождении на глубине 6140 м выполнены передвижения буровой колонны, совершаемые при СПО, бурении и промывке. После расшифровки записи глубинного манометра выяснилось, что при подъеме буровой колонны на высоту одной свечи (37 м) отрицательная составляющая гидродинамического давления (поршневание) составляет 15 МПа, причём давление восстанавливается до гидростатического более одного часа. Такие же колебания при меньшей амплитуде происходили и при дальнейшем подъеме, вследствие чего пластовое давление превышало давление в скважине, что, в свою очередь, приводило к поступлению флюида из пласта и, как следствие, к газоводопрооявлениям.

В процессе строительства СГ-6 в результате осложнений, связанных с прихватом буровой колонны, трижды возникала необходимость бурения новых стволов на глубинах 6330–6520 м [1]. По данным керна и ГИС данный интервал представлен переслаиванием песчаников, алевролитов и, реже, аргиллитов, а в нижней части сложен проницаемыми вулканогенными породами. При первых двух попытках цементные мосты не выдерживали нагрузки 0,5–0,6 кН. В силу этого попытки забурить новый ствол с этих мостов не удалось. В результате исследований установлено, что причиной этого явилась малая прочность цементного камня по отношению к породам интервала забурирования.

Для установки моста применялся цемент УЩЦ-2-200, предназначенный для жестких термобарических условий и позволяющий создавать необходимую плотность цементного раствора. С целью сопоставления с прочностными характеристиками пород были проведены определения прочности на сжатие цементного камня по методике, применявшейся для пород. Испытание на прочностные характеристики проводили в АО «КамНИИКИГС» в цилиндрическом эластичном контейнере после выдерживания при давлении 33 МПа и температуре 170 °С в течение более 30 ч. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения предела прочности на сжатие цементного камня

Показатель	№ испытания			
	1	2	3	4
Толщина обр., см	3,02	3,02	3,02	3,02
Площадь обр., см ²	6,35	6,74	6,63	5,70
Разруш. сила, кН	5,11	7,48	8,98	7,08
Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	8,05	11,10	13,54	12,42

Соответствующие значения прочности для пород в интервале забуривания составляют 51–118 МПа [2], то есть превышают прочность цементного камня в 6–10 раз.

Обычно при турбинном способе бурения забуривание производится с помощью установки опорного моста и последующего забуривания нового ствола с использованием искривлённого переводника и забойного двигателя. Если преобладает роторный способ бурения, то забуривание производят с использованием клина-отклонителя «Уипсток». Совершенно очевидно, что для забуривания нового ствола возникла необходимость использования отклоняющего устройства. Установка стального клина «Уипсток» для забуривания роторным способом исключалась, т. к. наличие магнитного материала оказывало бы влияние на результаты ГИС, а также существовала бы постоянная угроза проворота или скола клина от ударов замками бурильных труб при спуско-подъемных операциях, что могло привести к потере нового ствола или прихвату инструмента в результате заклинивания. Существенную роль играла также сложность и дороговизна изготовления отклонителя.

В настоящее время для обычных глубин разработаны эффективные системы управления траекторией скважин — роторно-управляемые системы (РУС) [3], однако пока они не

применяются при высоких давлениях и температурах. Эти обстоятельства ограничивают возможность их использования при бурении сверхглубоких скважин с жёсткими термобарическими условиями. Среди известных способов забуривания [4, 5] представляет интерес способ создания направления для бурового снаряда в скважине, основанный на создании искусственного забоя с увеличивающейся по глубине прочностью, для изготовления которого используются цемент, смолы и различные материалы. Было принято решение о забуривании нового ствола с помощью забойных двигателей, а для обеспечения прочности опорного моста использовать арматуру из алюминиевых труб (АБТ) диаметром 147 мм с протекторными утолщениями (рисунок 1). Прочность алюминия на сжатие соответствует 320–350 МПа. Для установки моста с арматурой была сконструирована специальная муфта-разъединитель, соединение труб между собой проводилось резьбами ОГ-ИМ.

Забуривание первого ствола осуществлялось на глубине 6480–6520 м, в пределах которой диаметр ствола близок к номиналу, прочность пород относительно ниже, чем в подстилающих отложениях и зенитный угол составил всего $1^{\circ}15'$. Температура в данном интервале составляет 180–185 °С, коэффициент аномальности давления превышает 1,8; плотность бурового раствора — 1930 кг/см³. Выбранный

Рисунок 1. Схема забуривания второго ствола. Тюменская сверхглубокая скважина

участок скважины также обеспечивал незначительный интервал перебуривания.

В первом случае удачного забуривания при установке моста АБТ были расположены в интервале 6521–6603 м. При этом применялись следующие компоновки: I рейс — бурголовка К 212,7/60 ТКЗ-ШО 195 α — 1°50' + ТВТ 195-2 секции + УБТ диаметр 178–70 мм, II рейс — та же компоновка; 3 рейс — долото К 212,7/60 ТКЗ + УБТ диаметр 197 мм — 7,5 м + УБТ диаметр 146 мм — 18 м + УБТ диаметр 178 мм — 67 м + СБТ. Номинальный диаметр скважины 215,9 мм.

В процессе забуривания осложнений не наблюдалось. Выход алюминиевой стружки прекратился после бурения первых 4-х метров. Подъем был произведен после проходки 8,6 м, в кернорвателе поднято 0,4 м керна, т. е. забуривание нового ствола состоялось (рисунок 1). Забуривание ствола с глубин 6485 и 6330 м проводилось аналогичным способом. Для этого использовались следующие компоновки:

1) интервал бурения 6485–6503 м — долото К 212,7/60 ТКЗ + ШО-195-1°50' + Д-2-190 + УБТ диаметр 178-67 м + СБТ;

2) интервал бурения 6503-6557 м — долото К 212,7/60 ТКЗ + УБТ диаметр 197 мм — 75 м + УБТ диаметр 146 мм — 18 м + УБТ диаметр 178 мм — 67 м;

3) интервал бурения 6557 м — до забоя — долото 215,9 СГВ + УБТ диаметр 165–78 м + СБТ.

Аналогично первому случаю выход алюминиевой стружки прекратился на первых метрах проходки, в кернорвателе поднят керн.

Траектории забуренных стволов представлены в таблице 2.

Третий ствол на глубине 6330 м был забурен также описанным способом.

Так как в интервале 6480–6760 м в основном стволе зенитный угол составляет не более 1°30', а азимут изменяется от 40° до 54°, то можно сделать заключение об эффективности приведенной технологии забуривания в условиях больших глубин, АВПД и высокой прочности глубинных пород. При этом отмечено, что тип забойного двигателя на успешность работ влияния не оказывает.

Опыт забуривания новых стволов в Тюменской СГ-6 использован при строительстве Ен-Яхинской скважины (СГ-7). С глубины 7020 м скважина СГ-7 осложнилась — начали проявляться негативные эффекты, явившиеся следствием формирования толстой корки на стенках скважины при экстремальных температурах и давлениях ($P_{\text{заб}} = 150$ МПа, $T = 195$ °С) в интервалах проницаемых пород. Формирование толстой корки приводило к затяжкам и посадкам буровой колонны, непрохождению геофизических приборов, проработкам ствола скважины, росту реологических характеристик бурового раствора и продолжительным работам по их регулированию. Скважину удалось углубить до 7075 м. В процессе дальнейших работ при проработке интервала 7048–7057 м произошел прихват буровой колонны, ликвидировать который не удалось. Был проведен отворот бурового инструмента на глубине 6835 м и с глубины 6797 м успешно забурен новый ствол, в основном по описанной выше технологии.

Таблица 2. Параметры траектории забуренных стволов

Забуривание 1			Забуривание 2		
Глубина, м	Зенитный угол	Азимут	Глубина, м	Зенитный угол	Азимут
6520	1°09'	61°	6480	1°39'	240°
6522	1°33'	66°	6490	1°13'	240°
6524	2°15'	38°	6500	0°53'	243°
6526	3°25'	34°	6510	2°45'	243°
6528	3°42'	33°	6520	4°44'	243°
6530	3°45'	36°	6530	4°59'	244°
6522	4°27'	32°	6540	5°45'	243°
6534	4°42'	31°	6550	5°36'	242°
6536	4°40'	28°	6560	5°34'	243°
6538	4°20'	25°	6570	5°44'	244°
6540	4°10'	25°	6600	4°49'	244°
6542	4°37'	26°	6660	4°27'	244°
6544	4°42'	25°	6700	2°57'	243°
			6760	1°42'	244°

Выводы

Таким образом, обоснована и успешно внедрена при бурении Тюменской и Ен-Яхинской сверхглубоких скважин эффективная технология забуривания новых стволов на больших

глубинах в жестких термобарических условиях при высокой прочности пород с использованием арматуры из АБТ для установки моста.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Карасев Д.В., Хахаев Б.Н., Оксенойд Е.Я. Проектирование и реализация конструкций Тюменской сверхглубокой скважины // Результаты бурения и исследования Тюменской сверхглубокой скважины: тезисы докладов совещания. Пермь, 1995. С. 5–6.

2. Карасев Д.В., Карасева Т.В. Закономерности изменения прочностных свойств горных пород на больших глубинах в нефтегазоносных районах // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. 2013. № 5. С. 115–130. URL: http://ogbus.ru/authors/KarasevDV/KarasevDV_1.

3. Фелцак Э., Торре А., Годвин Н.Д., Хоккинс Р., Слейден Ф. Гибридная роторная управляемая система // Нефтегазовое обозрение. 2011–2012. Т. 23, № 4. С. 50–62.

4. Летуновский Г.А., Филев В.Н., Спивак Е.Д. Забуривание нового ствола скважины на большой глубине с использованием отвесной компоновки // РНТС ВНИИОЭНГ. Сер.: Бурение. 1981. № 3. С. 23–25.

5. А.с. № 956728. Способ создания направления для бурового снаряда в скважине / О.Ю. Бергштейн, М.А. Великосельский, М.И. Ворожбитов и др. Опубл. 30.12.86; Бюл. № 48.

REFERENCES

1. Karasev D.V., Hahaev B.N., Oksenojd E.Ya. Proektirovanie i realizatsiya konstruktsii Tyumenskoi sverkhglubokoi skvazhiny [Design and Implementation of

Structures of the Tyumen Superdeep Borehole]. *Tezisy dokladov soveshchaniya «Rezultaty bureniya i issledovaniya Tyumenskoi sverkhglubokoi skvazhiny»* [Abstracts of the Conference «Results of Drilling and Exploration of the Tyumen Superdeep Well»]. Perm, 1995. pp. 5–6. [in Russian].

2. Karasev D.V., Karaseva T.V. Zakonomernosti izmeneniya prochnostnykh svoystv gornykh porod na bol'shikh glubinaх v neftegazonosnykh raionakh [Regularities in the Change in Strength Properties of Rocks at Great Depths in Oil and Gas Bearing Areas]. *Neftegazovoe delo — Oil and Gas Business*, 2013, No. 5. [in Russian]. pp. 115–130. Available at: http://ogbus.ru/authors/KarasevDV/KarasevDV_1.

3. Felcak E., Torre A., Godvin N.D., Hokins R., Slejden F. Gibridnaya rotornaya upravlyayemaya sistema [Hybrid Rotary Controlled System]. *Neftegazovoe obozrenie — Oil and Gas Review*, 2011–2012, Vol. 23, No. 4, pp. 50–62. [in Russian].

4. Letunovskij G.A., Filev V.N., Spivak E.D. Zaburivanie novogo stvola skvazhiny na bol'shoj glubine s ispol'zovaniem otvesnoj komponovki [Tapping New Borehole at Great Depths, Using the Steep Layout]. *RNTS VNIIOENG, seriya «Burenie» — RNTS VNIIOENG, Series of «Drilling»*, 1981, No. 3, pp. 23–25. [in Russian].

5. Bergshtejn O.Yu., Velikosejlskij M.A., Vorozhbitov M.I. Sposob sozdaniya napravleniya dlya burovogo snaryada v skvazhine [Way to Create Areas for Drilling Wells in]. Certificate of Authorship, No. 956728, 1986. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Карасев Д. В., канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазовых технологий, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

D. V. Karasev, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Technology Department Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

e-mail: mr.carasev@yandex.ru

Щербинина Н. Е., заведующая методическим кабинетом кафедры региональной и нефтегазовой геологии геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация

N. E. Shcherbinina, Head of Methodical Cabinet of Regional and Petroleum Geology Department of the Geological Faculty, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

e-mail: regional.PSU@yandex.ru

Хопта И. С., преподаватель кафедры региональной и нефтегазовой геологии геологического факультета Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, Российская Федерация

I. S. Khopta, Lecturer of Regional and Petroleum Geology Department of the Geological Faculty, Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

e-mail: khoptais@ya.ru