

УДК 622.24.002.2

**ОСОБЕННОСТИ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ БУРОВЫХ  
РАБОТ НА БОЛЬШИХ ГЛУБИНАХ**

**FEATURES COMPLICATIONS DURING DRILLING OPERATIONS  
AT GREAT DEPTHS**

**Карасев Д.В., Щербинина Н.Е., Карасева Т.В.**

**ФГБОУ ВПО Пермский научно-исследовательский  
политехнический университет,  
ФГБОУ ВПО Пермский государственный национальный  
исследовательский университет,  
г. Пермь, Российская Федерация**

**D.V. Karasev, N.E. Shcherbinina, T.V. Karaseva**

**FSBEI HPE Perm Research Polytechnic University,  
FSBEI HPE Perm State National Research University,  
Perm, the Russian Federation**

**e-mail: regional.psu@yandex.ru**

**Аннотация.** Недостаточный уровень бурения на большие глубины вызван многими технико-технологическими проблемами, но в большей степени осложнениями при вскрытии глубокозалегающих горизонтов, прогноз и предупреждение которых, а также способы ликвидации, разработаны недостаточно. Статья посвящена изучению особенностей развития осложнений при бурении на большие (ниже 5-6 км) глубины. Основные осложнения при бурении сверхглубоких скважин связаны с проявлением аномально-высоких пластовых давлений (АВПД) и высоких температур. Наиболее часто встречаются такие осложнения как искривление ствола скважины и в результате появление желобных

выработок, поглощение бурового раствора, неустойчивость глубинных пород, слагающих стенки скважин, потеря подвижности бурового инструмента под воздействием дифференциальных давлений, то есть прихваты буровых труб. Несмотря на то, на обычных и больших глубинах наблюдаются сходные виды осложнений, ликвидация их в условиях глубокопогруженных отложений значительно осложняется из-за действия специфических глубинных факторов, таких как высокие температуры, давление и напряженное состояние пород. Обобщение и анализ процессов, осложняющих бурение скважин на больших глубинах, позволяет дифференцировать осложнения на две группы: первую группу составляют осложнения, вызванные только геолого-геофизическими особенностями разреза, вторую - процессы и явления, возникающие при проведении буровых работ на больших глубинах. Сделан вывод о необходимости развития исследовательских работ в области изучения осложнений при сверхглубоком бурении, что позволит более активно проводить бурение на более глубокие горизонты в нефтегазоносных районах.

**Abstract.** Insufficient ultra-deep drilling caused by many technical and technological challenges, but more complications at the drilling of deep horizons, which forecasts and warnings are not developed enough. The article examines the characteristics of complications at ultra-deep drilling (deeper than 6 km). Major complications during drilling ultra-deep wells are connected with the manifestation of abnormally high reservoir pressures (AHRP) and high temperatures. The most common complications such as curvature of the borehole and the resulting emergence of gutter workings, lost circulation, the instability of deep rocks that form the wall of the well, the loss of mobility of the drilling tool under the influence of differential pressure, i.e. the drill pipe clamps. While in the shallow and deep horizons there are similar kinds of complications in terms of the elimination of deep-seated deposits significantly complicated by the action of specific ultra-deep factors, such as high temperature, pressure and the stress state of rock. Synthesis and analysis of

processes, complicating drilling at depths, allows to differentiate complications in two groups: the first group consists of the complications caused by only geological and geophysical features of the well section the second - the processes and phenomena that occur during drilling operations at depths. The conclusion about the need to develop research in the study of complications in ultradeep drilling, which will more actively pursue drilling to deep horizons in the oil and gas regions.

**Ключевые слова:** сверхглубокая скважина, сверхглубокое бурение, осложнения при бурении, температура, давление.

**Key words:** ultra-deep well, ultradeep drilling, complications during drilling, temperature, pressure.

В связи с тем, что многие нефтегазодобывающие районы России все более исчерпывают запасы нефти и газа в верхних горизонтах, значительное внимание в последние годы привлекают большие глубины, где часто прогнозируются высокие плотности ресурсов и залежи углеводородов. Решить проблему нефтегазоносности больших глубин можно только с помощью глубокого и сверхглубокого бурения, которое, кроме того, дает значительный объем научной информации о развитии тектонических, седиментационных, магматических, метаморфических и других процессов, управляющих возникновением и развитием месторождений минерального сырья. Однако, несмотря на то, что в России в кристаллическом щите пробурена самая глубокая в мире Кольская сверхглубокая скважина, бурение скважин в нефтегазоносных районах в основном ограничивается относительно небольшими глубинами. Недостаточный уровень бурения на большие глубины вызван многими технико-технологическими проблемами, но в большей степени осложнениями при вскрытии глубокозалегающих горизонтов, прогноз и

предупреждение которых, а также способы ликвидации, разработаны недостаточно.

Анализ результатов бурения глубоких и сверхглубоких скважин, таких как Кольская, Колвинская, Тимано-Печорская, Криворожская, Днепровско-Донецкая в России и СНГ, Берта Роджерс в США, КТБ, Гравберг в Германии и других свидетельствует о разнообразии проявления осложнений, связанных с бурением ниже 5-6 км (таблица 1). Следует отметить, что практически все эти скважины из-за осложнений не были доведены до проектных глубин.

Таблица 1. Примеры основных осложнений при бурении сверхглубоких скважин в России и за рубежом

Скважина	Забой, м	Основные осложнения
Кольская (Россия)	12262	Искривление ствола, повышенная дробимость керна (самозаклинивание), кавернообразование
Ен-Яхинская СГ-7 (Россия)	8250	Искривление ствола, осыпи, обвалы, прихваты
Тюменская СГ-6 (Россия)	7502	Искривление ствола, осыпи, обвалы, кавернообразование, прихваты бурового инструмента
Колвинская (Россия)	7052	Искривление ствола, повышенное содержание сероводорода в призабойной зоне
Тимано-Печорская (Россия)	6904	Искривление ствола
Уральская (Россия)	6100	Искривление ствола, осыпи, обвалы
Берта Роджерс (США)	9583	Прихват бурильных труб из-за поступления расплавленной серы в ствол скважины.
Юниверсити (США)	8686	Прихваты бурильной колонны
Биг Хорн (США)	7583	Обвалы стенок скважины, искривление ствола
КТБ-Оберпфальц (Германия)	9101	Искривление ствола, кавернообразование
Сильян Ринг (Швеция)	6800	Искривление ствола, кавернообразование

Основные осложнения при бурении сверхглубоких скважин связаны с проявлением аномально-высоких пластовых давлений (АВПД), высоких температур, а также искривлением ствола и, как следствие, появлением желобных выработок, поглощением буровых растворов, неустойчивостью пород, слагающих стенки скважин, флюидопроявлениями, потерей

подвижности бурового инструмента под воздействием дифференциальных давлений, то есть прихватами.

Несмотря на то, на обычных и больших глубинах наблюдаются сходные виды осложнений, ликвидация их в условиях глубоководных отложений значительно осложняется из-за действия специфических глубинных факторов, таких как высокие температуры, давления и напряженное состояние пород. Следует отметить, что высокие температуры и давления в ряде случаев препятствуют проведению детальных исследований разрезов, в частности, испытанию продуктивных пластов и проведению геофизических работ в скважинах из-за выхода приборов из строя.

В Кольской скважине помимо проблемы искривления ствола и значительного кавернообразования с глубины 7000 м наблюдалась повышенная дробимость керна, которая приводила к эффекту самозаклиниваний в керноприемном устройстве. Постепенно с глубиной дробимость керна увеличивалась и ниже 9000 м высота столбиков составляла единицы сантиметров и доходила до размеров буровой мелочи. Однозначного объяснения этому явлению до сих пор не найдено [1,6].

Искривление ствола скважины - одна из проблем, осложнивших бурение сверхглубокой скважины Гравберг (КТБ) в Германии, что потребовало трижды проводить коррекцию ствола разными способами [10]. Эта же проблема возникла и при бурении Уральской сверхглубокой скважины: уже при бурении опережающего ствола с глубины 2500 м искривление достигало  $28^\circ$  на глубине 4000 м, что привело к невозможности дальнейшего углубления и необходимости проведения дополнительных мероприятий [9].

На сверхбольших глубинах могут возникнуть и абсолютно неординарные условия, связанные с особенностями разреза, приводящие к прекращению бурения. Например, скв. Берта-Роджерс 1 была остановлена при забое 9583,2 м из-за поступления в ствол расплавленной серы, которая

при снижении температуры до 120 °С затвердевала [5,12], что привело к прихвату бурильной колонны. Аралсорская скважина в Прикаспийской впадине, достигшая глубины 6806 м, в которой открытый ствол в интервале 6000-6806 м был успешно закреплен обсадной колонной диаметром 127 мм, была прекращена бурением, так как при подготовке к дополнительному креплению верхней части ствола произошло нарушение установленной колонны со смещением [4].

Проблема сохранения устойчивости ствола возникала при бурении Кольской, Криворожской, Уральской, КТБ, а также и других сверхглубоких скважин в различной степени. Существенную роль в обеспечении устойчивости стенок скважины играет тип и качество применяемого бурового раствора. Определяющими факторами при анализе устойчивости ствола являются глубина, литология пород, кривизна скважины и поровое давление. На базе лабораторного моделирования французские исследователи [1,2] установили этапность в развитии неустойчивости ствола с глубиной: реверсивная нагрузка на стенки скважины (линейная и нелинейная); необратимая деформация, но стенки ствола еще остаются устойчивыми; разрыв - образование трещин; обрушение стенок скважины.

Одни из самых тяжелых осложнений в сверхглубоком бурении - прихваты, возникающие под действием перепада давления в системе скважина-пласт. На севере Западной Сибири, где проводилось бурение Тюменской и Ен-Яхинской сверхглубоких скважин, дифференциальные прихваты являются частым явлением; на больших глубинах они осложняются действием высоких температур и АВПД.

При бурении Тюменской сверхглубокой скважины особенно интенсивные осложнения, связанные с прихватами и интенсивным нарастанием фильтрационной корки (уменьшение проходного сечения ствола скважины), наблюдались в процессе бурения на глубине 6600-7502 м. Породы в интервале оказались представленными в основном

интенсивно переработанными метасоматическими процессами магматическими образованиями, не предусмотренными проектом [7]. Наличие в разрезе насыщенных углеводородным газом коллекторов с высокой пористостью (до 20%) и проницаемостью (до 13 фм<sup>2</sup>) высокие температуры (до 220 °С) и АВПД (коэффициент аномальности до 1,8) обусловили проблемы с изменением параметров бурового раствора, регулированием фильтрации, возникновением прихватов бурильных труб и сложностью проведения спуска колонны диаметром 245 мм. В последующем при бурении Ен-Яхинской сверхглубокой скважины со сходным глубинным разрезом был учтен опыт вскрытия глубоких горизонтов Тюменской скважиной, и ряд осложнений были предотвращены.

Следует отметить, что высокие температуры и давления в большинстве случаев препятствуют проведению детальных исследований разрезов скважин, в частности. Испытанию продуктивных горизонтов и проведению геофизических работ в скважинах из-за выхода приборов из строя.

Обобщение и анализ процессов, осложняющих бурение скважин на больших глубинах, позволяет дифференцировать осложнения на две группы.

Первую группу составляют осложнения, вызванные только геолого-геофизическими особенностями разреза, среди которых выделяются высокие температуры и давления, наличие высокопроницаемых газоводоносных пластов, напряжённое состояние горных пород и анизотропия их физических свойств. К проблемам, вызванным только влиянием высоких температур и давлений, следует отнести осложнения, связанные с потерей заданных реологических свойств буровых растворов в забойных условиях, ограничения на применение забойных двигателей и геофизических приборов.



Вторую группу составляют процессы и явления, возникающие при проведении буровых работ на больших глубинах. К ним относятся существенные разнонаправленные воздействия давления бурового раствора на стенки скважин при проведении спуско-подъемных операций и восстановлении циркуляции, которые с увеличением глубины приобретают высокие значения, увеличение времени взаимодействия бурового раствора со стенками скважины. Сами по себе эти факторы не всегда приводят к значительным осложнениям, но в комплексе со сложными геолого-геофизическими факторами создают длительные задержки процесса строительства скважин. Наличие на больших глубинах газоводонасыщенных интервалов с АВПД затрудняет работы по проведению геофизических исследований скважин, так как требуются значительно большие перерывы в промывке скважины из-за увеличения глубин. В тех же интервалах постоянно существует опасность дифференциальных прихватов, так как контролировать перепад давлений в системе скважина - пласт и толщину глинистой корки в забойных условиях весьма затруднительно.

Во многих странах активно ведутся научные разработки для повышения эффективности сверхглубокого бурения. Разрабатываются новые буровые растворы с использованием нанотехнологий (PYRO-DRILL, CARBO-DRILL, MAGMA-TEQ и др.), устойчивые легкие буровые трубы с применением титановых сплавов, новые модификации долот PDC. Рассматриваются даже вопросы принципиально новых способов бурения, например, бесконтактного разрушения пород с применением плазменной энергии. В США в связи с большим риском бурения на глубокие горизонты с 2003 года принята национальная программа Дип Трек («DeepTrek») для создания технических средств и технологий сверхглубокого бурения, одной из задач которой является перенос космических достижений в сверхглубокое бурение. Значительные успехи при выполнении программы были достигнуты в разработке электронных



средств и устойчивых модулей для регистрации параметров забойной зоны в процессе бурения, высокотемпературных гибких полиамидных компактных материалов для электронных систем бурения. Для решения проблем бурения на большие глубины в рамках национальной лаборатории энергетических технологий («National Energy Technology Lab.») Департамент энергетики США организовал лабораторию экстремального бурения («Extreme Drilling Lab.») [11]. Созданный в данной лаборатории испытательный стенд позволяет проводить изучение в условиях высоких температур (до 250 °С), давлений (более 200 МПа) комплексных эффектов, связанных с частотой вращения долота, осевой нагрузкой, свойствами и суммарным, гидростатическим, гидродинамическим давлением бурового раствора, а также свойствами пород, поровым давлением и гидравлическими эффектами. Стенд оборудован многоканальной системой слежения за детальной информацией о происходящих процессах. В российской практике таких работ не проводится, а последняя сверхглубокая скважина (Ен-Яхинская), подтвердившая высокие перспективы газоносности ниже 6 км в районе Большого Уренгоя, закончена в 2007 году.

## **Выводы**

Таким образом, современное развитие техники и технологии позволяет осуществлять бурение на значительные глубины, однако недостаточное развитие исследовательских работ в области изучения осложнений при таком бурении в большой степени ограничивает развитие сверхглубокого бурения, а следовательно, освоение нефтегазового потенциала глубокопогруженных отложений.

## Список используемых источников

1 Вене В., Анри Ж.П. Моделирование явления разрыва колонки керна на диски для оценки напряжения в глубоководном породном массиве / Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. М.: Мир. 1994. С. 157-166.

2 Гено А., Сантарелли Ф.Ж. Устойчивость ствола скважины: новый подход к решению старой проблемы // Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. М.: Мир. 1994. С. 50-57.

3 Гено А., Сантарелли Ф.Ж. Влияние температуры бурового раствора на поведение ствола глубокой скважины/ Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти. М.: Мир. 1994. С. 108-118.

4 Иванников В.К. Прихваты бурового инструмента в скважинах// Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море.1996. № 1-2. С. 42-48.

5 Кинчелло Р.Л., Скотт Дж. Бурение скважины глубиной 9590 м// Инженер-нефтяник. 1974. № 7. С. 15-18.

6 Кольская сверхглубокая / Под ред. Е.А. Козловского. М.: Недра. 1984. 490 с.

7 Карасев Д. В. Особенности возникновения прихватов под действием перепада давлений на больших глубинах //Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 1996. № 3-4. С. 15-18.

8 Об эффективности зарубежного опыта глубокого и сверхглубокого бурения в нефтегазоносных районах / Карасева Т.В. [и др.]. //Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 7. С. 8-12.

9 Опыт крепления 426 мм промежуточной колонной Уральской сверхглубокой скважины/Горбунов В.И.[и др.] /Научное бурение в России. Ярославль. 1994. вып.1. С.38-39.

10 Chur C. KTB Pilot hole -Results and experiences/ Superdeep Cont. Drilling- Springer Verlag-Berlin-1990-p. 180-191.

11 Lyons K.D. Honeygan S., Mroz T. Netl extreme drilling laboratory studies high pressure high temperature drilling phenomena/ U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2008. 6 p.

12 McLean M.R. Wellbore stability analyses / Ph.D. Thesis University of London.1989. 511 p.

## References

1 Vene V., Anri ZH.P. Modelirovanie yavleniya razryva kolonki keria na diski dlya ocenki napryazheniya v glubokozalegayushchem porodnom passive / Mekhanika gornyh porod primenitel'no k problemam razvedki i dobychi nefi. M.: Mir. 1994. S. 157-166. [in Russian].

2 Geno A., Santarelli F.ZH. Ustojchivost' stvola skvazhiny: novyj podhod k resheniyu staroj problemy // Mekhanika gornyh porod primenitel'no k problemam razvedki i dobychi nefi. M.:Mir. 1994. S. 50-57. [in Russian].

3 Geno A., Santarelli F.ZH. Vliyanie temperatury burovogo rastvora na povedenie stvola glubokoj skvazhiny/ Mekhanika gornyh porod primenitel'no k problemam razvedki i dobychi nefi. M.: Mir. 1994. S. I08-II8. [in Russian].

4 Ivannikov V.K. Prihvaty buril'nogo instrumenta v skvazhinah// Stroitel'stvo neftyanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more.1996. № 1-2. S. 42-48. [in Russian].

5 Kinchello R.L., Skott Dzh. Burenie skvazhiny glubinoj 9590 m// Inzhener-neftyanyk. 1974. № 7. S. 15-18. [in Russian].

6 Kol'skaya sverhglubokaya / Pod red. E.A. Kozlovskogo. M.: Nedra. 1984. 490 s. [in Russian].

7 Karasev D. V. Osobennosti vzniknoveniya prihvatov pod dejstviem perepada davlenij na bol'shih glubinah //Stroitel'stvo neftyanyh i gazovyh skvazhin na sushe i na more. 1996. № 3-4. S. 15-18. [in Russian].

8 Ob ehffektivnosti zarubezhnogo opyta glubokogo i sverhglubokogo bureniya v neftegazonosnyh rajonah/ Karaseva T.V., Gorbachev V.I., Koryakin S.YU., Karasev D.V., Anikeenko O.M. //Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanyh i gazovyh mestorozhdenij.2014.№7.S.8-12. [in Russian].

9 Opyt krepleniya 426 mm promezhutochnoj kolonnoj Ural'skoj sverhglubokoj skvazhiny/Gorbunov V.I., Kanyukov N.F., Hahaev B.N. i dr. /Nauchnoe burenie v Rossii. Yaroslavl'. 1994. v. 1. S. 38-39. [in Russian].

10 Chur C. KTB Pilot hole -Results and experiences/ Superdeep Cont. Drilling- Springer Verlag-Berlin-1990-p. 180-191.

11 Lyons K.D. Honeygan S., Mroz T. Netl extreme drilling laboratory studies high pressure high temperature drilling phenomena/ U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory, 2008. 6p.

12 McLean M.R. Wellbore stability analyses / Ph.D. Thesis University of London.1989. 511p.

### **Сведения об авторах**

#### **About the authors**

Карасев Д.В. канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазовых технологий, ФГБОУ ВПО ПНИПУ, Пермь, Российская Федерация

D.V. Karasev, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair Petroleum Technology, FSBEI NPE PNIPU, Perm, the Russian Federation

e-mail: mr.carasev@yandex.ru

Карасева Т.В. д-р геол-мин. наук, профессор, зав. кафедрой региональной и нефтегазовой геологии, ФГБОУ ВПО ПГНИУ, Пермь, Российская Федерация

T.V. Karaseva, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of the Chair Regional and Petroleum Geology, FSBEI NPE PSNRU, Perm, the Russian Federation

e-mail: regional.PSU@yandex.ru

Щербинина Н. Е., Зав. метод. кабинетом кафедры региональной и нефтегазовой геологии, ФГБОУ ВПО ПГНИУ, Пермь, Российская Федерация

N.E. Shcherbinina, Head Methodical Cabinet of the Chair of Regional and Petroleum Geology, FSBEI HPE PSNRU, Perm, the Russian Federation

e-mail: regional.PSU@yandex.ru