

10. Serebryakov O. I., Almamedov Ya. L. Neftegazonosnost Volgo-Akhtubinskogo mezhdurechya [Tectonic structure of the Volga-Akhtuba interfluve]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 3 (46), pp. 49–56.
11. Serebryakov O. I., Mercheva V. S., Smirnova T. S., Serebryakova V. I., Isenbulatova R. R. Otsenka geoeologicheskogo vozdeystviya na obekty okruzhayushchey sredy v rayone neftegazovykh mestorozhdeniy Kaspiyskogo shelfa [Evaluation of Geocological Processes Acting on an Object within a Caspian Field Site]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no.4 (47), pp. 81–88.
12. Serebryakov O. I. Sovremennye tekhnologii obezrazhivaniya pitevykh vod vzamen khimicheskogo opasnogo zhidkogo khloro [Modern drinking water disinfection technologies instead of chemical hazards of liquid chlorine]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 3 (46), pp. 123–126.
13. Serebryakov O. I., A. Ya. L. Ogly, D. K. Titov Utochnenie geologicheskoy modeli i optimizatsii geologorazvedochnykh rabot v Volgo-Akhtubinskom mezhdureche [Specification of a Geological Model and Optimization of Prospecting Works in the Volga-Akhtubinsk Flood Plain]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 4 (47), pp. 31–36.
14. Chudnenko K. V. *Termodinamicheskoe modelirovanie v geokhimii: teoriya, algoritmy, programmnnoe obespechenie, prilozheniya* [Thermodynamic modeling in geochemistry: theory, algorithms, software, applications], Novosibirsk, GYeO Publ., 2010. 287 p.
15. Ellanskiy M. M. *Povyshenie informativnosti geologo-geofizicheskikh metodov izucheniya zalezhey nefi i gaza pri ikh poiskakh i razvedke* [More informative geological and geophysical methods to study oil and gas deposits in their prospecting and exploration], Moscow, «Tekhnika» gruppа TUMM Publ., 2003. 112 p.

## **НАКЛОННО-НАПРАВЛЕННОЕ РАЗВЕДОЧНОЕ БУРЕНИЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА, ПРОБЛЕМЫ И СПОСОБЫ ИХ РЕШЕНИЯ**

*Савоськин Сергей Владимирович*, магистрант

Астраханский государственный университет  
414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1  
E-mail: sergei-savoskin@mail.ru

*Шведова Ирина Николаевна*, старший преподаватель

Астраханский государственный университет  
414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1  
E-mail: inshvedova@mail.ru

Способ наклонно-направленного бурения, в том числе и его разновидность – горизонтальное бурение, в настоящее время получает всё большее распространение в мире. Бурение таким способом во многих случаях имеет большие преимущества перед вертикальным бурением. Однако его применение связано с большими трудностями как в техническом и технологическом плане, так и в подготовке персонала. В настоящей статье рассматриваются основные проблемы, возникающие при наклонно-направленном бурении, а также способы их решения. Подробно описаны преимущества и недостатки бурения скважин этим методом в сравнении с методом вертикального бурения. В этом контексте рассматриваются проблемы экологии, экономический аспект подготовки и эксплуатации скважин. Описаны также приёмы цементирования скважин, особенности проведения цементажки и трудности, возникающие при этом. Дана оценка и рассмотрены аспекты проведения очистки ствола скважины. Затронуты проблемы эквивалентной циркуляционной плотности (ЭЦП), которая является одним из ключевых моментов при бурении скважин и серьёзно влияет на безопасность проведения работ. Приводятся факторы, влияющие на

эффективность бурения наклонно-направленных скважин, такие как: ошибки в планировании, ошибки в практическом выполнении бурения, ошибки в принятии решений. Рассмотрены основные способы предотвращения проблем при использовании данного способа бурения. Содержание статьи представляет научный и практический интерес для широкого круга читателей, заинтересованных во внедрении наклонно-направленного бурения в своей практической и теоретической деятельности.

**Ключевые слова:** наклонно-направленное бурение, очистка скважины, цементирование ствола скважины, проблемы эквивалентной циркуляционной плотности (ЭЦП)

### **EXTENDED REACH PROSPECTING DRILLING: ADVANTAGES, PROBLEMS AND WAYS OF SOLVING**

*Savoskin Sergey V.*

Undergraduate

Astrakhan State University

1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation

E-mail: sergei-savoskin@mail.ru

*Shvedova Irina N.*

Senior Lecturer

Astrakhan State University

1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation

E-mail: inshvedova@mail.ru

Extended reach drilling is becoming predominant in the world nowadays. This method has great advantages over vertical drilling. However, its use is associated with great difficulties in technical and technological terms and staff training. This article deals with the main problems in extended reach drilling and ways of their solving. The methods of wells cementing and cleaning and problems of equivalent circulating density are described in details. The factors influencing the effectiveness of extended reach drilling are considered. The paper discusses the main ways to prevent problems when using this method of drilling. The article deals with ecology and economics of preparing and exploitation of wells, the ways of cementing, estimation and aspects of wells' cleaning, and problems of equivalent circulating density. This article is of great scientific and practical interest for a wide range of readers interested in implementing of extended reach drilling in their practical and theoretical activities.

**Keywords:** extended reach drilling, well cleaning, well cementing, problems of equivalent circulating density

Наклонно-направленное бурение – это способ сооружения скважин с отклонением от вертикали по заранее заданному направлению. Если зенитный угол наклонно-направленной скважины превышает  $85^\circ$ , и она имеет горизонтальный участок профиля большой протяжённости, то такая скважина называется горизонтальной.

В настоящий момент Россия не является лидером по бурению горизонтальных скважин, несмотря на то, что именно в нашей стране, а точнее в Советском Союзе, ещё в 60-е гг. прошлого столетия по методу А.М. Григоряна были успешно проведены работы по бурению скважин этим методом. Однако в последствии, по некоторым объективным причинам Россия утратила лидерство в данном направлении. В последние годы метод горизонтального буре-

ния вновь получает всё более широкое применение в нашей стране. Это связано с тем, что данный метод во многих случаях даёт существенные преимущества перед другими [5].

Во-первых, стоит отметить, что при использовании метода горизонтального бурения дебит на большинстве месторождений увеличивается по сравнению с вертикальными скважинами в несколько раз (а иногда и в десятки). К примеру, при использовании данного метода на месторождении Распо-Маре (Италия) дебит нефти в 15 раз превысил дебит на горизонтальных скважинах того же месторождения.

Во-вторых, на многих месторождениях, эксплуатирующихся продолжительное время, объёмы добычи существенно падают, а при использовании метода горизонтального бурения удаётся поддерживать эти объёмы, а в некоторых случаях даже увеличивать их.

В-третьих, во всём мире растут требования по экологической безопасности нефтегазовых объектов, особенно на шельфе. Жесткие экологические требования зачастую становятся условием для разработки месторождений. Горизонтальное бурение в некоторых случаях является единственно возможным способом экологически безопасного бурения. Для примера можно привести использование метода горизонтального бурения под озёрами и реками (под озером Самотлор).

В-четвёртых, метод горизонтального бурения может существенно сократить затраты на разработку и эксплуатацию месторождений. Этот метод позволяет с одной буровой площадки бурить до нескольких десятков скважин на большом удалении. В результате в разработку включаются и удалённые участки месторождений, что при использовании метода вертикального бурения потребовало бы сооружения нескольких буровых площадок. Кроме того, данный метод позволил при обустройстве шельфовых месторождений на Сахалине производить подобные действия с береговых буровых площадок, что не потребовало установки морских платформ [2].

Однако, при всех преимуществах использования горизонтального бурения, этот метод сопряжён со многими проблемами. В данной статье раскрываются некоторые проблемы при бурении горизонтальных скважин и способы их устранения [6].

В январе 2011 г. на проекте Сахалин – 1 была пробурена скважина ОР-11 на месторождении Одопту. Она достигла общей глубины по стволу 40.502 фута (12.345 м или 7,67 миль), установив мировой рекорд бурения с большим отходом от вертикали (БОВ).

Эта скважина – рекордсмен, однако горизонтальных скважин в мире пробурено не одна сотня. Общеизвестный факт – бурение скважин с отходом сопряжено с большими трудностями, а также в большинстве случаев намного дороже скважин с вертикальным бурением. Такие скважины требуют больше времени на проектирование – иногда не менее одного года; больше специфического оборудования – приборы для наклонно-направленного бурения, оборудование и оснастка для заканчивания скважины, специальный бурильный инструмент, контрольно-измерительная аппаратура; больше специфических методов и приёмов, таких как, специальные методы очистки ствола и спуско-подъёмных операций. Стоимость некоторых таких скважин может достигать ста миллионов долларов и более [7].

При бурении наклонно-направленных скважин возникает много технологических проблем связанных с:

- очисткой ствола скважины;
- управлением ЭЦП;
- неустойчивостью ствола скважины;
- выбором дизайна КНБК;
- выбором долота и оптимизации МСП;
- со спуско-подъёмными операциями и шаблонировкой ствола;
- свойствами бурового раствора;
- параметрами бурения;
- оценкой состояния скважины;
- цементажом и контролем скважины.

Кроме того, возникают и проблемы, связанные с человеческим фактором, такие как:

- ошибки в планировании;
- ошибки в практическом выполнении бурения;
- ошибки в принятии решений.

Большинство ошибок, связанных с человеческим фактором, связаны с так называемым образом мышления «вертикальной скважины». Чаще всего персонал, работающий на бурении таких скважин, раньше бурил вертикальные скважины и поэтому переносит свой предыдущий опыт. Однако бурение наклонно-направленных скважин – достаточно специфическая задача, и многие приёмы вертикального бурения применять не только не совсем правильно, но и может привести к серьёзным осложнениям и даже авариям. К примеру, при цементаже скважин с большим отходом возникают специфические проблемы, такие как: образование каналов в цементном камне (на нижней и верхней стенках); проблемы центрирования – обсадная колонна расположена в стволе более эксцентрично; использование растворов на нефтяной основе или синтетических растворов затрудняет сцепление цементного камня с колонной; трудности в расхаживании и вращении бурильных труб [3].

Так почему же такие скважины бурят?

Основными причинами для бурения наклонно-направленных скважин являются:

- ограничения по размещению буровой;
- снижение затрат на инфраструктуру;
- увеличение площади контакта с пластом.

Примером ограничения на размещение буровой может служить проект Сахалин – 1. Разработка месторождений на этом проекте, используя метод наклонно-направленного бурения, позволила получить доступ к данным месторождениям, расположенным на шельфе, с берега. Это, в свою очередь, снизило издержки на инфраструктуру, риски и трудности логистики [13].

Ещё одним примером снижения затрат на инфраструктуру является бурение скважин с большим отходом в ОАЭ. Применение данной технологии позволило там разрабатывать месторождение с 3–4 точек в сравнении с более чем 30 при вертикальном бурении [8].

Снижение количества площадок для бурения при разработке месторождения Западная Курна в Ираке российской компанией Лукойл позволит со-

кратить их количество почти в десять раз, что существенным образом скажется на экономических затратах.

Примером увеличения площади контакта с пластом является бурение длинных боковых стволов (три тысячи метров и более) в комбинации с гидроразрывом пласта в Северной Дакоте (США). Это позволило реанимировать нефтяную промышленность штата.

Таким образом, при разработке многих месторождений, наклонно-направленные скважины являются если не единственно возможным вариантом, то наиболее экономически целесообразным [1].

Проведение качественного цементации скважины является одной из проблем при бурении скважин с большим отходом от вертикали. Общеизвестно, что без качественного цементации скважины её функционирование становится небезопасным. Цементирование применяется для крепления скважины путём цементирования затрубного пространства. Это технически и технологически достаточно трудный процесс, а при проведении его на скважинах с большим отходом от вертикали эти трудности многократно возрастают [9].

Известны следующие проблемы цементирования скважин с большим отходом от вертикали:

- трудности, связанные с наклоном скважины;
- проблемы внутреннего и наружного вытеснения;
- центрирование;
- буферные и промывочные жидкости;
- планировка вращения хвостовика.

Существует большое количество факторов, которые затрудняют проведение цементации в скважинах с большим наклоном. К ним относятся:

- расположение обсадной колонны в стволе менее опцендровано (эксцендрично);
- большая вероятность образование каналов из-за динамики течения жидкостей и поведения цементного раствора;
- трудности при использовании растворов на нефтяной основе или синтетических растворов, что затрудняет сцепление цементного камня с колонной;
- трудности при необходимом движении труб (расхаживании или вращении).

Для проведения качественного цементации используется несколько инструментов: химическая «энергия»; гидравлическая энергия и механическая энергия [15].

В первую очередь рассмотрим химическую «энергию». В большинстве скважин с большим отходом от вертикали используются растворы на нефтяной (РНО) или синтетической основе (РСО). Это сильно затрудняет проведение цементирования. Так как цементный раствор – жидкость на водной основе, и он не будет сцепляться со сталью или породой, поскольку данные вещества становятся гидрофобными. Для устранения гидрофобности необходимо сделать поверхности гидрофильными, очистить их от нефти и синтетики. С этой целью в скважинах используются так называемые «буферные» жидкости – ПАВ (поверхностно-активные вещества). Они предназначены для подготовки ствола к цементу. Имеются различные виды буферных жидкостей, но наиболее важными из них являются мыльные буферы (на основе ПАВ) и турбулентные буферы [4].

При использовании мыльных буферов важно учитывать то, что очистка такими растворами не проходит моментально, и поэтому нужно время для контакта раствора с обрабатываемой поверхностью. Как правило, это не меньше 10 минут. Обычно очистка достигается при медленной закачке рас-

твора. Однако при большой скорости вытеснения необходим достаточно большой объем буферного раствора. Кроме того, при контакте с обрабатываемой поверхностью мыльный раствор расходуется, что также надо учитывать при определении объема закачки.

Турбулентный буфер используется для создания турбулентного течения с целью отмыть ствол скважины и удалить остатки. Для его эффективной работы необходима высокая скорость вытеснения и низкая реология раствора.

Эффективно достаточно часто использовать комбинацию обеих буферов. В этом случае турбулентный буфер идет первым (небольшим объемом и с высокой скоростью вытеснения), а затем мыльный буфер (с обязательным контактом со всеми участками не менее 10 минут и чаще всего с низкой скоростью вытеснения).

В идеале механизм движения буферов можно представить как равномерное движение «пакета» буфера вниз по обсадной колонне, а затем вверх по затрубному пространству. Но на практике этого достичь невозможно из-за ламинарного течения жидкостей в обсадной колонне (жидкость в центре движется быстрее, чем жидкость возле стенок). Это приводит к сильному загрязнению и порче буферов уже при достижении открытого ствола. Для достижения приемлемого внутреннего вытеснения используется так называемое «пакетирование» буферов – то есть применение нескольких цементировочных пробок для разделения жидкостей. При использовании этого метода жидкости остаются незагрязненными вплоть до башмака [10].

Для эффективного наружного вытеснения необходимо бороться с каналами, образуемыми при цементировании. В горизонтальных скважинах каналы образуются в двух местах – наверху ствола из-за оседания цемента (часто с плёнкой воды сверху) и на дне ствола из-за того, что там не был удалён шлам, ил, фильтрационная корка и т.п. Для предотвращения образования каналов (особенно на нижней стенке ствола) применяется центрирование. При центрировании используются центраторы различных видов: неразъёмные; невращающиеся твердотельные; двухдуговые пружинные [14].

Гидравлическая энергия является главным инструментом, позволяющим получить хороший цементаж. С её помощью создаётся турбулентное течение вокруг обсадной колонны. Однако во многих скважинах с большим отходом от вертикали создание турбулентного течения невозможно из-за ограничений по ЭЦП (в горизонтальных скважинах она в большинстве случаев высокая, что приводит к поглощению на устье). Избежать высокого ЭЦП на скважинах с большим отходом от вертикали достаточно тяжело, а во многих случаях практически не реально. Это приводит к плохому цементированию подобных скважин и возрастанию рисков осложнений и аварий. В некоторых случаях можно снизить ЭЦП используя несколько способов:

- качественное проектирование скважины;
- использование специально разработанного оборудования (например, специальной конструкции хвостовиков);
- подготовка персонала к данной проблеме.

Рассмотрим механическую энергию. В этом контексте нас интересует движение трубы при отсутствии турбулентности. В данном случае вращение трубы является единственным способом хорошего цементирования. При

вращении создается вязкое сцепление, которое тянет за собой весь цемент вокруг всей трубы. Чтобы обеспечить хорошее вращение необходимо:

- провести хороший инженерный расчет;
- обучить персонал данной технологии;
- использовать оборудование с излишней прочностью.

Несмотря на все трудности, возникающие при цементировании скважин с большим отходом от вертикали, при правильной организации процесса и обученности персонала его можно провести безаварийно и качественно [2].

Ещё одной из проблем является проведение очистки таких скважин. Очистка скважины является одной из важнейших операций при бурении. Плохая очистка скважины может привести к прихватам. Например, в вертикальных скважинах около 30 % всех прихватов связаны с очисткой, а в скважинах с большим отходом от вертикали – около 80 %. Поэтому понимание процесса очистки ствола скважины является необходимым условием по предотвращению прихватов, потери времени и больших финансовых затрат.

При очистке ствола присутствуют следующие факторы, влияющие на его эффективность:

- скорость вращения/проходки;
- расход, реология и удельный вес раствора;
- диаметр ствола и бурильных труб;
- расхаживание труб;
- каверны;
- зенитный угол;
- турбулентное или ламинарное течение;
- размер частиц шлама и степень его дисперсности;
- устойчивость ствола;
- твёрдая фаза раствора;
- степень дисперсности частиц шлама.

Существует достаточно много элементов очистки ствола скважины, однако основными из них являются следующие:

- свойства бурового раствора (реология, ингибирование глин, коллоидная твёрдая фаза);
- конструкция долота и КНБК (допустимые обороты и процент бурения с вращением, площадь отверстий для выноса шлама, скорость проходки);
- гидравлика (доступная производительность насосов, предел по давлению на стояке, допустимая ЭЦП, требования и ограничения по КНБК, пропускная способность вибросит);
- системы буровой установки (ограничения для верхнего привода, контроль содержания твёрдой фазы в растворе, насосы, электроснабжение).

Существует два механизма очистки ствола скважины: механическое удаление и диспергирование.

При механическом удалении шлам выносится потоком жидкости, движущейся вверх по затрубному пространству. Такой процесс (движение жидкости вверх) называется «скорость потока в затрубе». При этом на поднимаемый шлам действует сила притяжения или так называемая «скорость осаждения», которая приводит к тому, что шлам поднимается с меньшей скоростью, чем жидкость. Если бы частичка шлама была одна, она не могла бы

быть в подвешенном состоянии и соответственно подняться вверх. Однако из-за того, что таких частиц много – происходит процесс «затруднённого осаждения», т.е. на каждую падающую частицу шлама есть другая, которую вытесняемая падающей частицей жидкость толкает вверх. Это происходит из-за того, что падающая частица шлама вытесняет вверх свой собственный объём жидкости. Однако такой процесс может быть равномерным и эффективным только при использовании в вертикальных скважинах. При очистке на средних углах наклона ствола и при горизонтальных стволах возникают сложности, приводящие этот эффект («затруднённого осаждения») к минимуму или вообще к нулю. Рассмотрим это более подробно.

При очистке горизонтального ствола течение жидкости направлено горизонтально, а сила тяжести тянет вниз. Таким образом, направление жидкости теперь не противоположно направлению силы гравитации и не противодействует осаждению. В связи с этим шлам падает на дно через одну–две свечи. При очистке средненаклонных скважин скорость жидкости частично действует против силы тяжести, но этого всё равно не достаточно, чтобы он находился во взвешенном состоянии и выносился на поверхность. Кроме того, выпадающий на наклонные стенки скважины шлам может лавинообразно упасть. Эффект лавины не протекает сам по себе, к нему может привести накопление большого слоя шлама (большая скорость проходки в течение большого времени) или если шлам потревожить (спуско-подъёмные операции).

Суммируя вышесказанное, можно сделать вывод, что от наклона скважины зависит эффективность очистки при ламинарном потоке жидкости – в вертикальных скважинах он эффективен, в средненаклонных скважинах наклон малоэффективен и может привести к лавинному эффекту, а в горизонтальных скважинах он приводит к накоплению неподвижного слоя шлама. Из этого следует, что при очистке средненаклонных и горизонтальных скважин необходимо создавать вращательное движение инструмента.

Вращение инструмента создаёт область активного течения, которая расположена в верхней части ствола, а труба и шлам лежат вдоль нижней части. Поэтому само по себе вращение не способно привести к необходимой очистке ствола. Для этого требуется постоянное взбалтывание, приводящее к подъёму частичек шлама в поток жидкости в верхней части ствола. С этой целью используются специальные жидкости, которые при вращении создают «плёнку» вокруг буровой трубы. Такая плёнка называется «вязкостное сцепление», она поднимает шлам со дна и подбрасывает его в зону высокоскоростного потока.

При создании вращения, которое обеспечит эффективную очистку ствола, критически важна скорость вращения инструмента. При повышении скорости вращения происходит скачкообразное изменение эффективности (особенно на 120 об/мин и на 180 об/мин). Поэтому высокие обороты – это ключ к эффективной работе «транспортёра» и, соответственно, механического способа удаления шлама из скважин с большим отходом от вертикали.

Однако, следует понимать, что в скважине с большим отходом от вертикали течение шлама происходит по принципу сальтационного течения, то есть в стволе движется только верхний слой, а нижний является неподвижным. Нижний неподвижный слой накапливается до равновесной высоты и не размывается, пока верхний слой присутствует и движется. При возрастании скорости проходки верхний слой становится толще, а при замедлении – верх-



ний слой становится тоньше, но нижний слой заметно не вычищается. Когда верхний слой полностью удалён, нижний не может быть вычищен полностью – он просто утончается до нового равновесного слоя. Следовательно, какой-то слой шлама есть всегда [11].

Диспергирование позволяет в некоторых случаях добиться нужной очистки ствола скважины. Дисперсная система – система, в которой одно вещество (дисперсная фаза) распределено в среде другого (дисперсионная среда) так, что между частицами дисперсной фазы и дисперсионной средой есть граница раздела фаз. Характерным признаком дисперсионной среды является ее непрерывность. При этом шлам фактически растворяется в растворе. Этот способ достаточно эффективен при очистке неглубоких секций большого диаметра, буримых на растворе на водной основе, а также в секциях очень большого диаметра (таких как 444,5 мм). Часто этот метод используется при бурении под кондуктор [3].

Проблема с эквивалентной циркуляционной плотностью – это ещё один вопрос, который мы рассмотрим в данной статье. ЭЦП (эквивалентная циркуляционная плотность) является одним из основных показателей, учитываемых при бурении скважин. Она представляет собой плотность на забое с учётом динамической составляющей или дополнительный «удельный вес» бурового раствора, воспринимаемый скважиной. Создаётся ЭЦП при потере давления в затрубном пространстве при циркуляции и/или колебаниями давления, создаваемыми движением труб в скважине. На ЭЦП влияют следующие факторы:

- длина затрубного пространства или скважины;
- кольцевые зазоры (диаметры бурильных труб/обсадных колонн);
- свойства бурового раствора;
- скорость потока;
- вращение бурильной колонны;
- противодействие в отводной системе на поверхности;
- скорость проходки;
- движение труб (нагнетание и разряжение, создаваемое поршневым эффектом).

Для скважин с большим отходом от вертикали ЭЦП является серьёзной проблемой, так как она намного выше, чем в средненаклонных и вертикальных скважинах. Связано это со следующими причинами:

- более значительным отношением глубины по стволу к глубине по вертикали;
- такие скважины имеют низкую прочность пород при малой вертикальной глубине;
- использованием бурильных труб большого диаметра;
- неподходящие свойства бурового раствора;
- использование для очистки ствола более агрессивных параметров.

Из-за проблем с ЭЦП было потеряно огромное количество скважин с большим отходом от вертикали.

Эквивалентная циркуляционная плотность (ЭЦП) напрямую создаёт следующие проблемы:

- потеря циркуляции (превышение забойного давления над градиентом гидроразрыва, нефтегазоводопроявления при высоком давлении околоскважинной зоны);
- использование слишком низкого удельного веса бурового раствора;
- неустойчивость стенок ствола скважины (гидравлические удары, усталостные разрушения);

- раздувание или «дыхание» ствола (при превышении ЭЦП давления трещинообразования возникают поглощения);
- высокий уровень свабирования (может привести к выбросу);
- повреждение коллекторов/пластов в скважинах с законченным открытым стволом.

Кроме вышеперечисленных, ещё одной проблемой является то, что ЭЦП не остаётся одной и той же величиной по всей длине скважины (в отличие от вертикальной скважины). Поэтому при бурении скважин с большим отходом от вертикали необходима выработка так называемой «дорожной карты» бурильщика. В данной карте указываются ЭЦП чистой скважины, чтобы понимать, что такое «нормальное» значение ЭЦП. Главной особенностью такой карты является то, что рост ЭЦП не является линейным (в зависимости от глубины скважины, как при вертикальном бурении) – то есть ЭЦП в горизонтальной скважине будет расти при том, что глубина не растёт.

При заканчивании горизонтальной скважины существуют большие риски при цементировании интервала перед пластом и работ по гидроразрыву в интервале входа в пласт. Для заканчивания с цементированием, которое затем предполагает гидроразрыв, крайне важным вопросом является подъём цемента обратно до интервала над входом в пласт. Но в горизонтальных скважинах из-за большого ЭЦП могут происходить большие потери раствора на конечном забое, что приводит к большим сложностям по поднятию цемента. В этом случае качественный цементаж будет не по всей глубине, и гидроразрывы около входа в пласт пойдут по «пути наименьшего сопротивления», то есть к предыдущим трещинам. Поэтому важной задачей является постоянный контроль за ЭЦП. В этих целях применяют несколько различных методов контроля, к которым относятся: контроль за геометрией ствола скважины, контроль за послойным изменением реологии раствора, использование прибора PWD и другие. Влиять на значение ЭЦП можно также при помощи использования комбинированных бурильных колонн, а также при выборе конструкции КНБК [1].

Ещё одним важным моментом является контроль ЭЦП при очистке скважины. Как известно, эффективно очистить скважины с большим отходом от вертикали можно только при вращении инструмента. Однако высокая скорость вращения (единственно эффективная) в стволе малого диаметра приводит к существенному росту ЭЦП. Поэтому для влияния на ЭЦП при очистке скважины должна применяться толстая труба при тонком стволе [12].

Несмотря на многие проблемы при наклонно-направленном бурении, данный способ бурения получает всё большее распространение в мире. Связано это с большой эффективностью такого способа. А во многих случаях он является чуть ли не единственным способом, позволяющим эксплуатировать месторождения углеводородов. В нашей работе мы рассмотрели не только основные проблемы, возникающие при бурении наклонно-направленным способом, но и эффективные способы недопущения их. Большинство этих проблем можно решить, используя технические и технологические приёмы. Однако основную роль в этом играет подготовленность персонала, позволяющая отказаться от многих наработанных приёмов, выработанных за долгие годы бурения вертикальных скважин. Современные подходы к данной проблеме, отказ от «шаблонов», новое видение процесса бурения наклонно-направленных скважин позволит широко и эффективно использовать этот

метод для разработки и эксплуатации как новых месторождений, так и месторождений, эксплуатация которых ведётся продолжительное время. Можно с уверенностью сказать, что метод наклонно-направленного бурения – будущее буровой техники.

#### Список литературы

1. Абрамов Г. С. Опыт эксплуатации и перспективы развития забойных инклинометрических систем с электромагнитным каналом связи / Г. С. Абрамов, А. В. Барычев, Ю. М. Камнев, А. А. Молчанов, А. А. Сараев, А. Н. Сараев // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2001. – № 1–2. – С. 30–33.
2. Булатов А. И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин : учебник / А. И. Булатов, Ю. М. Проселков, С. А. Шаманов. – Москва : ООО "Недра-Бизнесцентр", 2003. – 1007 с.
3. Вадецкий Ю. В. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю. В. Вадецкий. – Москва, 1967.
4. Гилязов Р. М. Бурение нефтяных скважин с боковыми стволами / Р. М. Гилязов. – Москва : ООО Недр-Бизнесцентр, 2002. – 255 с.
5. Григорян Н. А. Бурение наклонных скважин уменьшенных и малых размеров / Н. А. Григорян. – Москва : Недра, 1974. – 240 с.
6. Евченко В. С. Разработка нефтяных месторождений наклонно направленными скважинами / В. С. Евченко, Н. П. Захарченко, Я. М. Каган. – Москва : Недра, 1986. – 278 с.
7. Ежов И. В. Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин : учебное пособие / И. В. Ежов. – Волгоград : Ин-фолио, 2009. – 304 с.
8. Инструкция по бурению наклонных скважин с кустовых площадок на нефтяных месторождениях Западной Сибири. – Тюмень : Сибирский научно-исследовательский институт нефтяной промышленности, 1986. – 138 с.
9. Калинин А. Г. Бурение наклонных и горизонтальных скважин : справочник / А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодкий, Б. З. Султанов. – Москва : Недра, 1997. – 648 с.
10. Мухаметшин М. М. Современные технологии бурения наклонно-направленных скважин / М. М. Мухаметшин // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2003. – № 3. – С. 11–14.
11. Савоськин С. В. Очистка скважины при бурении с большим отходом от вертикали: проблемы механической очистки / С. В. Савоськин // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире : материалы IV Международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : Информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего». – Том 1. – С. 154–156.
12. Савоськин С. В. Проблемы эквивалентной циркуляционной плотности скважины с большим отходом от вертикали / С. В. Савоськин // Эволюция научной мысли : сборник статей Международной научно-практической конференции: в 2 ч. – Уфа : Башкирский государственный университет, 2014. – Часть 2. – С. 135–136.
13. Савоськин С. В. Скважины с большим отходом от вертикали / С. В. Савоськин // Achievement of high school : материалы за 9-а международна научна практична конференция. – София : «БялГРАД-БГ» ООД, 2013. – Том 38. Экология. География и геология. – С. 93–95.
14. Савоськин С. В. Цементирование скважин с большим отходом от вертикали / С. В. Савоськин // Общество, наука и инновации : сборник статей Международной научно-практической конференции : в 4 ч. – Уфа : Башкирский государственный университет, 2013. – Часть 3. – С. 245–247.
15. Шенбергер В. М. Проектирование профилей наклонно-направленных, пологих и горизонтальных скважин и расчет усилий на буровом крюке : учебное пособие / В. М. Шенбергер, Г. А. Кулябин, В. Г. Долгов, А. А. Фролов, П. В. Овчинников. – Тюмень : Вектор БУК, 2003. – 85 с.

#### References

1. Abramov G. S., Barychev A. V., Kamnev Yu. M., Molchanov A. A., Saraev A. A., Saraev A. N. Opyt ekspluatatsii i perspektivy razvitiya zaboynnykh inklinometricheskikh sistem s elektromagnitnym kanalom svyazi [Operating experience and prospects of development of downhole directional systems with electromagnetic communication channel]. *Avtomatizatsiya, telemekhanizatsiya i svyaz v*

*neftyanoy promyshlennosti* [Automation and remote control of the connection to the oil industry], 2001, no. 1–2, pp. 30–33.

2. Bulatov A. I., Proselkov Yu. M., Shamanov S. A. *Tekhnika i tekhnologiya bureniya neftnyanykh i gazovykh skvazhin* [Technique and technology of drilling oil and gas wells], Moscow, OOO "Nedra-Biznestsentr" Publ., 2003. 1007 p.

3. Vadetskiy Yu. V. *Burenie neftnyanykh i gazovykh skvazhin* [The drilling oil and gas wells], Moscow, 1967.

4. Gilyazov R. M. *Burenie neftnyanykh skvazhin s bokovymi stvolami* [Oil drilling sidetrack], Moscow, OOO Nedra-Biznestsentr Publ., 2002. 255 p.

5. Grigoryan N. A. *Burenie naklonnykh skvazhin umenshennykh i malykh razmerov* [The drilling of wells and the small size of the thumbnail], Moscow, Nedra Publ., 1974. 240 p.

6. Yevchenko V. S., Zakharchenko N. P., Kagan Ya. M. *Razrabotka neftnyanykh mestorozhdeniy naklonno napravlennymi skvazhinami* [Oil development slant wells], Moscow, Nedra Publ., 1986. 278 p.

7. Yezhov I. V. *Burenie naklonno-napravlennykh i gorizontalnykh skvazhin* [The drilling directional and horizontal wells], Volgograd, In-folio Publ., 2009. 304 p.

8. *Instruktsiya po bureniyu naklonnykh skvazhin s kustovykh ploshchadok na neftnyanykh mestorozhdeniyakh Zapadnoy Sibiri* [Instructions for drilling directional wells from pads on the oil fields of Western Siberia], Tyumen, Siberian Research Institute of Petroleum Industry Publ. House, 1986. 138 p.

9. Kalinin A. G., Nikitin B. A., Solodkiy K. M., Sultanov B. Z. *Burenie naklonnykh i gorizontalnykh skvazhin* [The drilling deviated and horizontal wells], Moscow, Nedra Publ., 1997. 648 p.

10. Mukhametshin M. M. *Sovremennye tekhnologii bureniya naklonno-napravlennykh skvazhin* [Modern technology drilling directional wells]. *Vestnik Assotsiatsii burovykh podryadchikov* [Bulletin of the Association of Drilling Contractors], 2003, no. 3, pp. 11–14.

11. Savoskin S. V. *Ochistka skvazhiny pri burenii s bolshim otkhodom ot vertikalii: problemy mekhanicheskoy ochistki* [The cleaning when drilling with ERD: problems of mechanical cleaning]. *Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya v sovremennom mire : materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Fundamental and Applied Research in the Modern World. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference], Saint-Petersburg, Informatsionnyy izdatelskiy uchebno-nauchnyy tsentr «Strategiya budushchego», vol. 1, pp. 154–156.

12. Savoskin S. V. *Problemy ekvivalentnoy tsirkulyatsionnoy plotnosti skvazhiny s bolshim otkhodom ot vertikalii* [Problems equivalent circulating density wells with ERD]. *Evolutsiya nauchnoy mysli : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Evolution of Scientific Thought. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], Ufa, Bashkir State University Publ. House, 2014, part 2, pp. 135–136.

13. Savoskin S. V. *Skvazhiny s bolshim otkhodom ot vertikalii* [Wells with ERD]. *Achievement of high school : materialy za 9-a mezhdunarodna nauchna praktichna konferentsiya* [Achievement of High School. Proceedings of the 9 International Scientific and Practical Conference], Sofiya, «ByalGRAD-BG» OOD Publ., 2013, vol 38. Ecology. Geography and Geology, pp. 93–95.

14. Savoskin S. V. *Tsementirovanie skvazhin s bolshim otkhodom ot vertikalii* [The well cementing with ERD]. *Obshchestvo, nauka i innovatsii : sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Society, Science and Innovation. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], Ufa, Bashkir State University Publ. House, 2013, part 3, pp. 245–247.

15. Shenberger V. M., Kulyabin G. A., Dolgov V. G., Frolov A. A., Ovchinnikov P. V. *Proektirovanie profiley naklonno-napravlennykh, pologikh i gorizontalnykh skvazhin i raschet usilii na burovom kryuke* [Design profiles directional, flat and horizontal wells and settlement efforts on drilling hook], Tyumen, Vektor BUK Publ., 2003. 85 p.