

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №5, Том 10 / 2018, No 5, Vol 10 <https://esj.today/issue-5-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/75SAVN518.pdf>

Статья поступила в редакцию 13.10.2018; опубликована 01.12.2018

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Козьмина Е.Д., Балабуха А.В., Анисимова Е.Ю., Цыбуля И.И., Панасенко Н.Л., Вязкова Е.А. Технология строительства скважин с применением внутрискважинного оборудования управления отклонением от вертикали // Вестник Евразийской науки, 2018 №5, <https://esj.today/PDF/75SAVN518.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Kozmina E.D., Balabukha A.V., Anisimova E.Yu., Tsybulya I.I., Panasenko N.L., Vyazkova E.A. (2018). Well construction technology using downhole vertical deviation control equipment. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 5(10). Available at: <https://esj.today/PDF/75SAVN518.pdf> (in Russian)

УДК 622.23.05

ГРНТИ 52.47.15

**Козьмина Екатерина Дмитриевна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 1-го курса магистратуры кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – магистр  
E-mail: kozmina-96@mail.ru

**Балабуха Алексей Владимирович**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 1-го курса магистратуры кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: dein500@mail.ru

**Анисимова Екатерина Юрьевна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: anisimova.eiu@mail.ru

**Цыбуля Ирина Игоревна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: irinatsybulya0205@mail.ru

**Панасенко Наталья Леонидовна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: natasha-0@mail.ru

**Вязкова Елизавета Андреевна**

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия  
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии» – бакалавр  
E-mail: vyazkova.elizaweta@yandex.ru

**Технология строительства скважин  
с применением внутрискважинного оборудования  
управления отклонением от вертикали**

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы, связанные с историей разработки технологии строительства скважин с большим отклонением от вертикали и в том числе горизонтальных скважин, а также полученный в ходе разработки коммерческий результат. Кроме того, в представленной работе обозначены основные технические и экономические преимущества, и недостатки существующей на сегодняшний день технологии строительства скважин с отклонением от вертикали. В статье описана система контроля траектории скважины с указанием международной системы координат в которой производится построение трехмерной модели траектории скважины и основных ее компонентов, таких как колонна насосно-компрессорных труб, обсадная колонна и цемент. Основной акцент в работе делается на используемое в настоящее время внутрискважинное оборудование для изменения курса скважины и отслеживания ее траектории в трёхмерной системе отсчета. Главной темой настоящей работы является избыточное использование на практике внутрискважинного оборудования за счет установки отдельных направляющих и мониторинговых внутрискважинных инструментов. В работе предлагается разработка и применение нового образца внутрискважинного устройства для создания отклонения и контроля траектории скважины. Разработка и применение подобного технического решения позволит существенно снизить капитальные вложения на этапе строительства как добывающих, так и разведывательных скважин в секции скважин с отклонением от вертикали, так как зачастую именно строительство таких секций влечет за собой наибольшие риски и объемы инвестиций в строительство скважин, что впоследствии сказывается на стоимости получаемой продукции и нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** отклонение скважины; траектория скважины; внутрискважинное оборудование; экономика строительства скважин; контроль траектории скважины; система координат при бурении; управление отклонением

## Введение

На раннем этапе развития нефтедобывающей отрасли первые скважины на земле строились вертикально вниз до продуктивного пласта. Несмотря на то, что такие скважины считались вертикальными на практике идеально вертикальную скважину чрезвычайно сложно построить. Некоторое отклонение от вертикали всегда будет происходить в стволе скважины за счет свойств формирующих месторождение пластов и изгиба буровой колонны [1, 2].

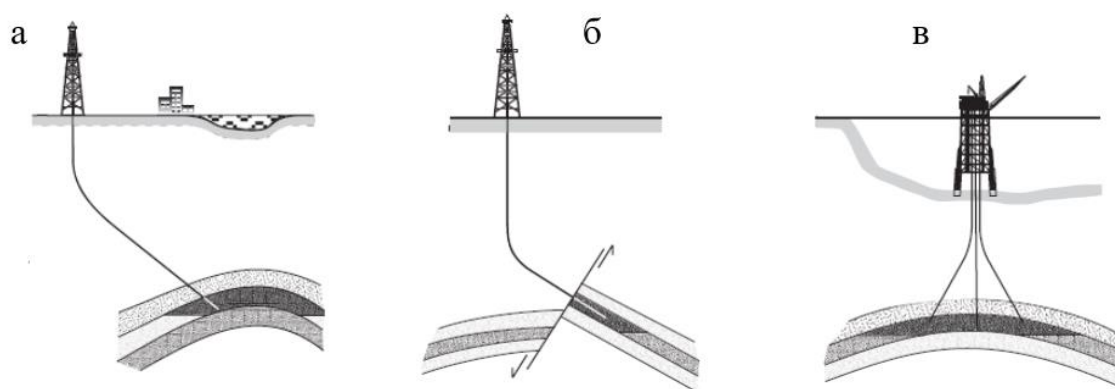
Первое свидетельство создания скважины с преднамеренным отклонением от горизонтали датируется 1930-м годом<sup>1</sup>. Эта скважина была построена на месторождении в штате Калифорния, США. Обоснованием проекта этой скважины стала возможность разработки месторождения, находящегося за пределами береговой линии под водами Тихого океана. Проект строительства такой скважины подразумевал множество дорогостоящих технических решений таких как: строительство причалов в открытом океане и установка буровой платформы на пристани, однако несмотря на столь сложные условия первые скважины с отклонением от вертикали были пробурены.

С тех пор были предложены новые методы и специализированное оборудование для контроля направления ствола скважины. На практике нефтяные компании, занимающиеся разработкой месторождения, нанимают подрядные компании, которые обслуживают секции направленного бурения для разработки проекта скважины, поставки специализированного оборудования и оказания помощи на буровой платформе при работе с этим оборудованием. Также зачастую нанимается отдельная геодезическая компания, занимающаяся отслеживанием наклона и направления скважины во время бурения [3, 4].

В статье будут рассмотрены применение наклонно-направленного бурения, дизайн скважины с отклонением от горизонтали и методы, используемые для бурения скважины контролируемым отклонением от горизонтали. Кроме того, предложены методы для определения положения скважины (трёхмерное положение всех точек ствола скважины относительно устья).

На сегодняшний день строительство скважин с отклонением от горизонтали позволяет достичь ряд преимуществ [4, 5] (рисунок 1):

- Строительства большого количества скважин с одной буровой платформы. Это становится особенно критично при разработке морских месторождений. Например, в Северном море, где разработка месторождений экономически целесообразна только в том случае, если есть возможность строительства большого количества (от 40 до 60) скважин и одного места (буровой платформы). Отклонение скважины от вертикали позволяет охватить большую площадь месторождения [6].
- Бурение через разлом. В случае попадания скважины в разлом обсадная колонна может быть повреждена при проскальзывании. Возможность повреждения обсадной колонны можно свести к минимуму путем параллельного бурения до разлома, а затем изменить направление скважины, чтобы обогнуть разлом и достичь продуктивного пласта.
- Захват недоступных участков месторождения. Доступ вертикальных скважин к зоне добычи часто затрудняется различными видами препятствий (речное устье, горный массив, населенный пункт и т. д.) В этом случае появляется возможность направления скважины от площадки буровой платформы, находящейся на определенном расстоянии от вертикали требуемой точки входа в резервуар.



**Рисунок 1.** Применение наклонно-направленного бурения:

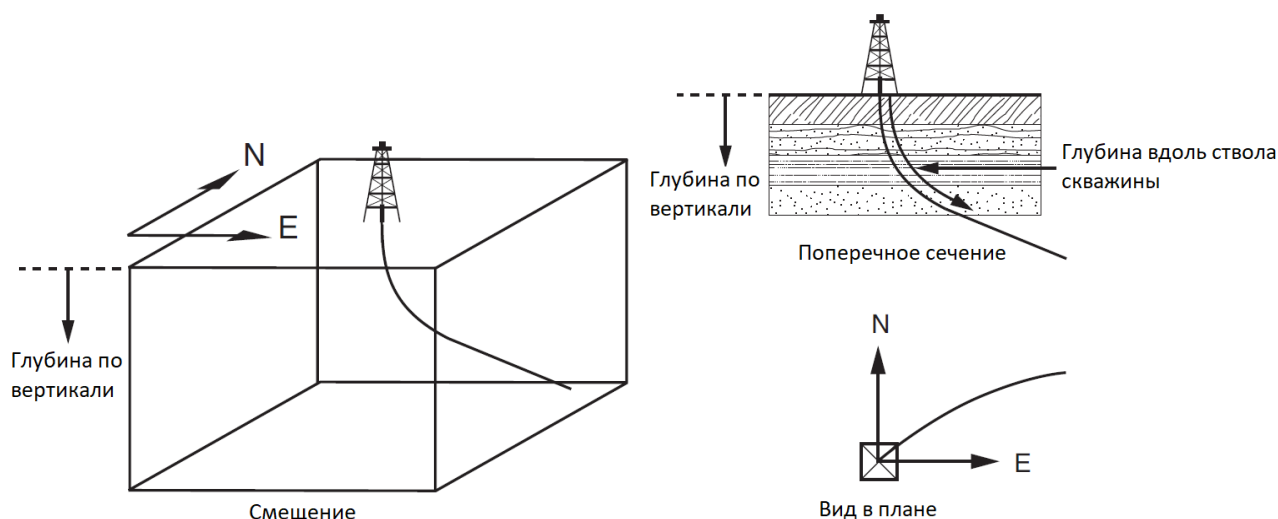
*а – захват недоступных участков месторождения; б – бурение через разлом;  
в – бурение нескольких скважин с одной платформы [4]*

### Система определения глубины и географического положения

Траектория бурения наклонно-направленной скважины должна быть спланирована так, чтобы достичь место назначения в продуктивном пласте при наименьшей энергоёмкости и времени строительства скважины, то есть достичь максимальную экономическую эффективность [6, 7, 8]. При проектировании, а впоследствии и при бурении, положение всех точек скважины должно рассматриваться в трех измерениях (рисунок 2). Это значит необходима трехмерная система отсчета, которая для каждой точки скважины включает в себя:

- Вертикальную глубину точки ниже определенной контрольной отметки.

- Горизонтальное расстояние, пройденное от устья скважины в северном направлении.
- Расстояние, пройденное от устья скважины в восточном направлении.



**Рисунок 2.** Система определения глубины и географического положения (составлено авторами)

### Проектирование профиля скважины

На сегодняшний день на практике применяются преимущественно 3 типа профилей скважин с отклонением от вертикали<sup>2</sup> (рисунок 3):

- Профиль сборки и удержания. Является наиболее распространенной траекторией для скважин с отклонением от вертикали.
- S-образная скважина сложнее, но часто требуется для обеспечения проникновения в целевое образование вертикально при этом огибая нежелательный участок. Такой тип траектории скважины часто требуется для разведки и оценки месторождения, так как на практике легче оценить потенциальную производительность разведочной скважины или эффективность методов стимуляции, когда продуктивный пласт проходится вертикально, под прямым углом к плоскости залегания пласта [10].
- Глубинный начальный профиль требуется при строительстве горизонтальных скважин. Такой профиль является наиболее сложной для бурения траекторией, так как подразумевает инициацию отклонения в более глубоких и уплотненных формациях.

### Параметры, определяющие траекторию скважины

Точка начала отклонения. Наиболее отдаленные цели достигаются путем выбора точки начала отклонения на небольшой глубине, в то время как достижение более близко расположенных точек предусматривает расположение точки начала отклонения в непосредственной близости от цели на зачастую большой глубине [9].

Скорость роста и скорость проникновения. Эти параметры, определяющие степень искривленности скважины, обычно измеряются в градусах на 100 метров. Эти параметры

выбираются на основе опыта бурения и наличия доступных инструментов создания отклонения.

### Буровое долото

При строительстве скважин с отклонением от вертикали применяют оба самых распространенных типа (шарошечные и поликристаллические алмазные) бурового долота.

Однако, важным показателем при строительстве наклонно-направленных скважин является время длины, проходимая одним буровым долотом за раз, так как в силу сложной геометрии и большой глубины наклонно-направленных скважин замена бурового долота является чрезвычайно трудоемкой операцией.

В связи с этим, наибольшее распространение нашли именно поликристаллические алмазные долота в силу их высокой износостойкости. В то же время важно отметить, что такой тип бурового долота в условиях повышенных температур внутри скважины предусматривает тщательный контроль циркуляции бурового раствора не столько для выноса выработанной породы, сколько для охлаждения рабочей поверхности и резцов долота.

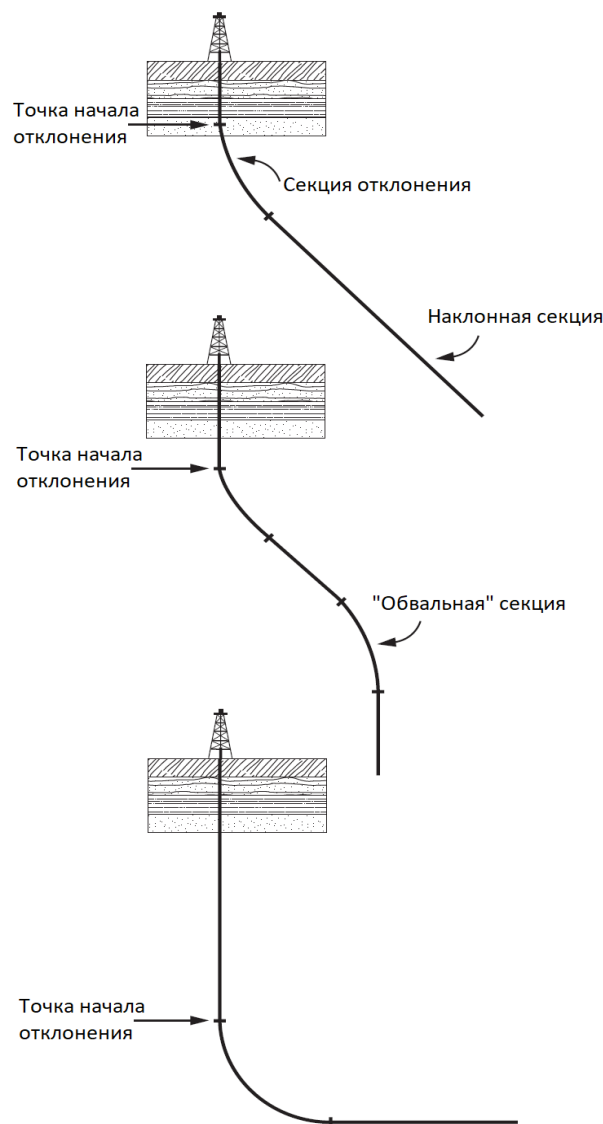
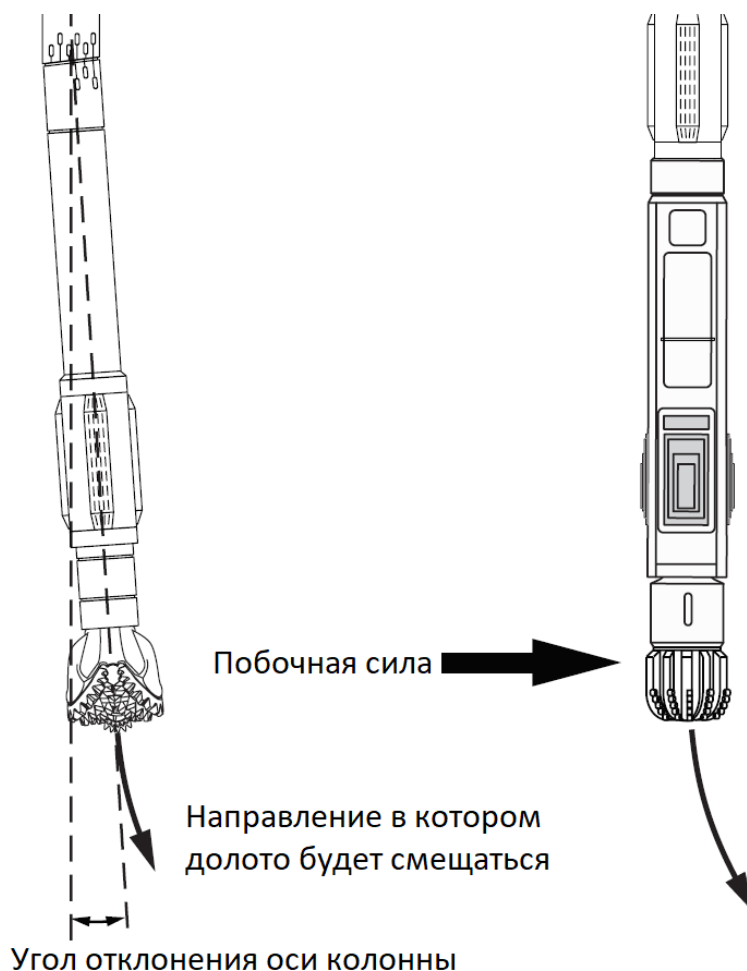


Рисунок 3. Профили скважин с отклонением от вертикали (составлено авторами)

### Оборудование для отклонения скважины от горизонтали

Существует ряд инструментов и методов, которые позволяют создать отклонение во время бурения. Все инструменты и методы по созданию отклонения основаны на применении одного из двух принципов. Первый принцип заключается в создании угла наклона бурового долота на буровой колонне немного выше долота. Второй принцип предусматривает создание побочной силы для отклонения всей колонны (рисунок 5) [8, 9].

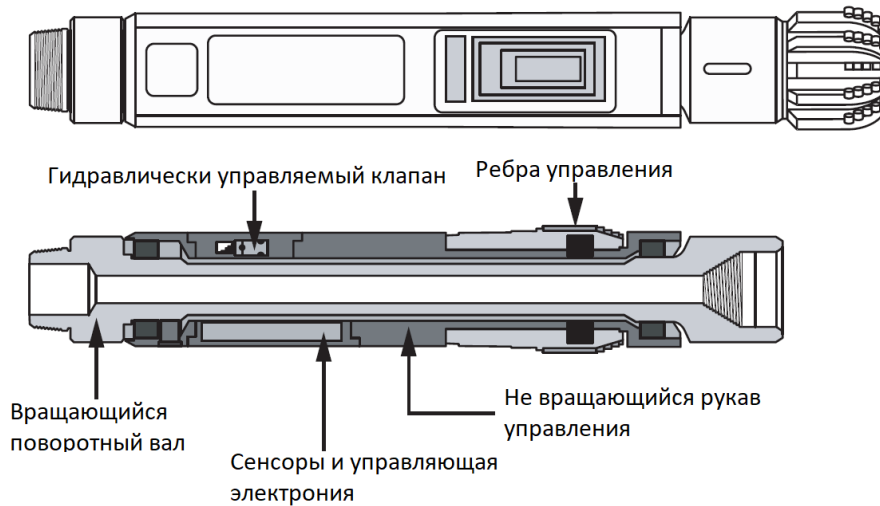


**Рисунок 4.** Отклонение буровой колонны и побочная сила (составлено авторами)

Основные средства, используемые в настоящее время для этой цели:

- Двигатель с загнутым подводом и положительным смещением.
- Не вращающиеся управляемые бурильные системы.
- Ротационная система рулевого управления.
- Направленные нижние отверстия сборки перед буровым долотом.

Рулевой механизм, содержащийся внутри не вращающегося рукава управления, задает направление бурового долота. Приводной вал проворачивает долото через не вращающуюся секцию сборки. Эта секция отсоединена от приводного вала и, следовательно, не зависит от вращения буровой колонны. Рукав устройства содержит 3 гидравлических ребра, инклинометр, измеряющий степень отклонения и управляющую электронику. Поршни управляются гидравлически, создавая необходимое давление для управления каждым из рулевых ребер. Таким образом создается вектор силы, регулируемый комбинацией электронного управления в скважине и гидравлических импульсов с поверхности [6].



**Рисунок 5.** Внутрискважинное оборудование управления отклонением (составлено авторами)

Главным отличием предлагаемого устройства от существующих аналогов является дополнение его конструкции инклинометрами в корпусе устройства, что позволяет исключить их как отдельный элемент внутрискважинной сборки, заменив их обычным сегментом буровой колонны.

Применение обозначенного устройства позволит сократить количество внутрискважинного оборудования вблизи бурового долота. Инструмент обеспечит передачу данных о положении скважины внутри продуктивного пласта или же на пути к его достижению в режиме реального времени. Используя две частоты и два передатчика устройство обеспечивает качественную передачу данных при различных условиях работы. Система обеспечивает измерения с высоким разрешением. При бурении горизонтально показания могут дать возможность определить границы контакта вода-нефть, вода-газ и газ-нефть. В горизонтальном приложении это позволяет буровой команде предвидеть границы раздела сред более чем на 75 м впереди бурового долота.

Для анализа получаемых с помощью предлагаемого внутрискважинного оборудования данных на поверхности на площадке буровой платформы располагается компьютерная система, которая переводит сигналы оператора в код, принимаемый инструментом для контроля отклонения скважины. Также система декодирует сигналы, получаемые от внутрискважинного оборудования, то есть производит обратный процесс, для интерпретации данных, полученных с помощью инструмента. Система должна быть снабжена всеми необходимыми каналами передачи данных для связи с центром управления бурения, который может находиться за несколько тысяч километров, особенно в случае с месторождениями, находящимися на шельфе.

В целом система предусматривает центральный процессор и блок декодирования сигналов. Блок клапана байпаса передает команды во внутрискважинный инструмент через пульсации бурового раствора. Привод системы соединен с напорной линией системы циркуляции бурового раствора, следовательно, система имеет возможность создания серии отрицательных импульсов в буровой колонне за счет снижения давления бурового раствора.

Инструмент обладает возможность воспринимать столь незначительные в масштабах внутрискважинного давления импульсы пониженного давления и обрабатывать их в соответствии с собственной программой. Полный цикл передачи команды в такой системе может занимать до 10 минут в зависимости от глубины скважины и условий ее прокладки.

После получения и обработки программы внутрискважинный инструмент отправляет информацию о подтверждении принятия команды и перенастраивается для выполнения поставленной задачи.

Такая система позволяет производить контроль траектории скважины без прерывания буровых работ.

Экономическая эффективность работы предлагаемого инструмента складывается из вывода из состава внутрискважинной призабойной сборки инклинометров как отдельно взятого инструмента и замены его секцией буровой колонны. Однако, следует отметить, что внедрение предлагаемого устройства в работу предусматривает разработку проекта, изготовление и испытание прототипов, а также внедрение в производство нового образца. В связи с этим становится очевидным, что внедрение в процесс строительства скважин такого элемента будет иметь определенный срок окупаемости, который подвержен влиянию многих факторов.

### Выводы

Применение подобного устройства позволит значительно сократить стоимость внутрискважинного оборудования за счет сведения к минимуму количества отдельно взятых устройств.

Предложенная комплектация оборудования позволит убрать из призабойной зоны оборудование для отслеживания угла отклонения от горизонтали путем установки датчиком на предлагаемое устройство.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Youssef Hashash & Jamie Javier. University of Illinois at Urbana-Champaign, "Evaluation of Horizontal Directional Drilling", November 2011.
2. Ariaratnam, S.T., & Woodroffe, N.J. (2008). Cost and Risk Evaluation for Horizontal Directional Drilling versus Open Cut in an Urban Environment. ASCE.
3. Strickland, R. (2009, April 1). Drilling Through the Clay. Trenchless Technology.
4. Савоськин С.В. Наклонно-направленное разведочное бурение: преимущества, проблемы и способы их решения / С.В. Савоськин, И.Н. Шведова – Геология, география и глобальная энергия. 2014. № 4 (55). С. 57-68.
5. Ежов И.В. Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин: учебное пособие / И.В. Ежов. – Волгоград: Ин-фолио, 2009. – 304 с.
6. Капаев Р.А. Формирование ствола скважины на границе инженерно-геологических элементов при строительстве трубопроводов методом ННБ / Р.А. Капаев – Экспозиция Нефть Газ. 2018. № 1 (61). С. 56-60.
7. Гилязов Р.М. Бурение нефтяных скважин с боковыми стволами / Р.М. Гилязов – Москва: ООО Недр-Бизнесцентр, 2002. – 255 с.
8. Мухаметшин М.М. Современные технологии бурения наклонно-направленных скважин / М.М. Мухаметшин – Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2003. – №3. – С. 11-14.
9. Flair, John D. 1991. Analysis of Subsurface Pressures Involved With Directionally Controlled Horizontal Drilling. Proceedings, Pipeline Crossings Spécidity Conference, Idarch 25-27, Denver, Colorado. American Society of Civil Engineers, New York, New York.
10. А.Г. Калинин. Бурение наклонных и горизонтальных скважин: справочник / А.Г. Калинин [и др.]. – М.: Недра, 1997.



**Kozmina Ekaterina Dmitrievna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: kozmina-96@mail.ru

**Balabukha Aleksei Vladimirovich**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: dein500@mail.ru

**Anisimova Ekaterina Yuryevna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: anisimova.eiu@mail.ru

**Tsybulya Irina Igorevna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: irinatsybulya0205@mail.ru

**Panasenko Natalia Leonidovna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: natasha--0@mail.ru

**Vyazkova Elizaveta Andreevna**

Far Eastern federal university, Vladivostok, Russia  
E-mail: vyazkova.elizaveta@yandex.ru

## Well construction technology using downhole vertical deviation control equipment

**Abstract.** The article deals with issues related to the history of well construction technology with a large deviation from the vertical, including horizontal wells, as well as the commercial result obtained during the development. In addition, in the present work, the main technical and economic advantages, and disadvantages of the existing technology of well construction with deviation from the vertical, are indicated. The article describes a well trajectory control system with an indication of the international coordinate system in which a three-dimensional model of a well trajectory and its main components, such as tubing string, casing and cement, are built. The main focus of the work is on the currently used downhole equipment for changing the course of the well and tracking its trajectory in a three-dimensional reference system. The main theme of this work is the excess downhole equipment used in practice due to the installation of separate guide and monitoring downhole tools. The paper proposes the development and application of a new model of a downhole device to create deviations and control the well trajectory. The development and application of such a technical solution will significantly reduce capital investments at the construction stage of both production and exploration wells in the section of wells with deviations from the vertical, since it is often the construction of such sections that entails the greatest risks and investment volumes affects the cost of the products and petroleum products.

**Keywords:** well deviation; well trajectory; downhole equipment; well construction economics; well trajectory control; drilling coordinate system; deviation control