



РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-42-51>**Методы и технические решения повышения надежности удержания трассы геотехнологической скважины**

Д. Н. Молдаши

АО «Волковгеология» (НАК «Казатомпром»), г. Алматы, Республика Казахстан

✉ priemnaya@vg.kazatomprom.kz**Аннотация**

С увеличением глубины разведочных и технологических скважин при малых диаметрах бурения многократно возрастает вероятность отклонения трассы скважин от заданной траектории, т.е. происходит искривление трассы скважины по зениту и отклонение по азимуту. Поэтому применение способов удержания трассы скважины по вертикали при бурении более глубоких горизонтов рудных тел – вопрос очень актуальный. В работе представлены результаты разработки новой компоновки низа буровой колонны для бурения скважин в мягких горных породах с использованием винтовых центраторов, позволяющих обеспечить хорошие стабилизирующие и центрирующие воздействия, необходимые для уменьшения горизонтального смещения оси скважины от заданного направления, и уменьшение искривления трассы скважины по вертикали (зенитного угла) при сохранении достаточной гибкости буровой колонны. Разработанные технические решения отличаются простой конструкции и возможностью адаптации к широкому диапазону горно-геологических и технологических условий бурения. Обоснованы возможность изготовления центраторов собственными производственными мощностями и технологическая возможность быстрого и легкого соединения с другими элементами низа буровой колонны. Эффективность производства доказана использованием в армировке центраторов недорогих по стоимости и износостойких материалов, в качестве которых были применены твердосплавные вольфрам-кобальтовые или титан-кобальтовые вставки. Кроме того, преобладающий объем бурения скважин в мягких горных породах позволил предусмотреть использование сменных центрирующих элементов, а также возможность ремонта и реставрации для увеличения срока службы, производственного ресурса и повторной эксплуатации. Изготовленный центратор имеет низкую себестоимость производства за счет простоты конструкции и применения недорогого износостойкого материала и составит достойную конкуренцию на рынке буровых инструментов и технических средств для стабилизации бурильной колонны. Экономический эффект от внедрения центраторов собственного производства на 1 (одну) скважину составил более 170 000 тенге.

Ключевые слова

горные породы, бурение, разведочные скважины, технологические скважины, добыча урана, Казахстан

Для цитирования

Молдаши Д. Н. Методы и технические решения повышения надежности удержания трассы геотехнологической скважины. *Горные науки и технологии*. 2021;6(1):42–51. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-42-51>

MINERAL RESOURCES EXPLOITATION

Research article

Methods and technical solutions for keeping the path of a geotechnological borehole

D. N. Moldashi

Volkovgeologia JSC (NAC Kazatomprom), Almaty, the Republic of Kazakhstan

✉ priemnaya@vg.kazatomprom.kz**Abstract**

With increasing depth of exploration and process boreholes (at small drilling diameters), the probability of deviation of the borehole path from design trajectory increases many times; i. e. zenith curvature and azimuth deviation of the borehole path occur. Therefore, developing methods for keeping vertical path of the borehole when drilling deeper horizons of ore bodies is a very topical issue. The paper presents the results of developing a new bottom-hole assembly for drilling boreholes in soft rocks using screw



casing centralizers, which provide good stabilizing and centering effects to mitigate horizontal departure of the hole axis from the design direction and minimize vertical curvature of the hole path (zenith angle) while maintaining sufficient drill string flexibility. The developed technical solutions provide simplicity of design and ability to adapt to wide range of mining, geological and technological drilling conditions. The feasibility of manufacturing the centralizers by own efforts and the technological feasibility of quick and easy connecting the centralizer with other elements of the bottom-hole assembly have been substantiated. The manufacture efficiency is proved by the use of inexpensive and wear-resistant materials in the centralizer armouring, for which tungsten-cobalt or titanium-cobalt hard-alloy inserts were used. In addition, prevailing volume of borehole drilling in soft rocks allowed using replaceable centering elements, as well as their repair and restoration to increase their service life. The manufactured centralizer has a low production cost due to the design simplicity and the use of inexpensive wear-resistant material and will compete in the market of drilling tools and technical devices for drill string stabilization. The economic effect from the introduction of the self-produced centralizers amounted to more than 170,000 tenge per a borehole.

Key words

rocks, drilling, exploration borehole, technological borehole, uranium mining, Kazakhstan

For citation

Moldashi D. N. Methods and technical solutions for keeping the path of a geotechnological borehole. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(1):42–51. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-42-51>

Введение

АО «Волковгеология» как современная эффективная и передовая компания в геологоразведочной отрасли – постоянно проводит разработку и внедрение новых типов буровой техники и технологий. В рамках инновационной деятельности разработаны и внедрены усовершенствованные установки освоения скважин, оснащенные новыми типами технологического инструмента и приспособлений, такими как струйные аппараты и гидроимпульсные системы с применением полимерных растворов для бурения технологических и разведочных скважин. Изобретены и внедрены в производство бентонитовые гильзы, заменившие классическую гидроизоляцию затрубного пространства с использованием цемента, и обеспечивающие высокое качество гидроизоляции и значительное сокращение затрат различные типы фильтров и гравий-гильз. Разрабатываются и внедряются современные типы породоразрушающих инструментов нового поколения.

Увеличение темпов буровых работ, наращивание объемов бурения в условиях жесткой конкурентной среды на рынке услуг по бурению в АО «НАК «Казатомпром» ставят перед буровой и геологической службой АО «Волковгеология» сложные задачи по сохранению лидирующих позиций по обеспечению высоких темпов буровых и геологоразведочных работ. На сегодняшний день АО «Волковгеология» осуществляет полный комплекс геологоразведочных работ высокого качества на все виды твердых полезных ископаемых в соответствии с мировыми стандартами.

АО «Волковгеология» занимает лидирующие позиции в отрасли по объему геологоразведочных работ, объему бурения и по количеству парка буровых установок не только в Казахстане, но и во всем СНГ. За последние пять лет деятельностью компанией выполнен колоссальный объем геологоразведочных работ, пробурено 16 млн 66 тыс. пог. м технологических и разведочных скважин [1].

Общая характеристика скважин, используемых на рудниках подземного скважинного выщелачивания урана

Подземное скважинное выщелачивание – это сложный физико-химический процесс, протекающий в геологической среде. Динамика этого процесса, его особенности определяются фациально-литологическими свойствами рудовмещающих горизонтов, руд и всего разреза в целом. При подземном выщелачивании проницаемых рудных тел месторождение вскрывается системой технологических скважин, располагаемых (в плане) рядами, многоугольниками, кольцами [2–6]. В закачные скважины подают растворитель, который, фильтруясь по пласту, выщелачивает полезные компоненты. Продуктивный раствор откачивается через другие (откачные) скважины. Для поисков и разведки месторождений урана в соответствии с проектными решениями бурится комплекс поисковых и разведочных скважин. Разведочные скважины бурятся на всех стадиях геологоразведочных работ – от поисковых до эксплуатационно-разведочных. Для добычи уранового сырья методом ПСВ по всей площади месторождения проводятся горно-подготовительные работы, включающие бурение скважин, различающихся своим назначением. Технологические скважины предназначены для подачи в недра рабочих растворов, закачные (нагнетательные) – для подъема технологических растворов на поверхность, откачные (разгрузочные) обеспечивают выполнение ещё одной важнейшей функции – через них осуществляется регулирование гидродинамического режима в продуктивном пласте, определяющего пути и скорости фильтрации рабочих растворов [7–11].

АО «Волковгеология» на всех месторождениях урана также бурит гидрогеологические, барражные, контрольные, эколого-мониторинговые и наблюдательные скважины. В процессе ПСВ буровые скважины выполняют широкий комплекс различного рода функций: геологическая разведка; вскрытие и подготовка запасов; отработка запасов; управление дви-



жением технологических растворов в продуктивной толще путем создания в эксплуатационном блоке гидродинамической обстановки, обеспечивающей формирование такой структуры фильтрационного потока растворов, которая в максимальной степени благоприятствовала бы течению физико-химических процессов ПСВ; контроль количества и качества откачиваемых и закачиваемых растворов, создание противofильтрационных завес; контроль гидродинамических и физико-химических параметров ведения процесса ПСВ; контроль полноты извлечения урана из руд; охрана окружающей среды от возможного физико-химического загрязнения [12].

Геологический анализ продуктивных горизонтов, регламентов бурения и факторов, влияющих на искривление трассы скважины

Геологический разрез поисковых площадей и месторождений урана представлен горными породами осадочного комплекса – от четвертичных, неогеновых, палеогеновых до меловых отложений. В литологическом плане разрез представлен «наносами» – горизонтально или пологозалегающими перемежающимися осадочными толщами – песками разной зернистости, глинами с прослоями алевроитов, алевролитов, песчаников, гипсов, известняков и других прослоев осадочных горных пород. Горные породы месторождений относятся к II–VII категории по буримости, средняя категория пород по буримости IV [13].

Месторождения урана Шу-Сарысуйской и Сырдарьинской уранорудных провинций относятся к гидрогенному пластово-инфильтрационному типу. Продуктивные (рудные) горизонты чаще всего состоят из неоднородными песчаными толщами – от тонко- и среднезернистых до крупнозернистых песков, с включением глинистых частиц и карбонатных обломков коренных горных пород (известняки, алевролиты, алевроиты, гипсы и т.п.). Все продуктивные горизонты повсеместно обводнены. Продуктивные горизонты имеют горизонтальное или пологонаклонное залегание. С учетом пространственного расположения продуктивных горизонтов все скважины бурятся вертикально. Разведочные скважины бурятся вертикально с целью определения истинной мощности рудных горизонтов, что очень важно для точного подсчета запасов руды в продуктивном горизонте и в целом на месторождении. Соответственно, технологические скважины бурятся также вертикально с целью вскрытия, подготовки и отработки запасов. Бурение производится в соответствии с утвержденными заказчиком (уранодобывающими предприятиями) регламентами бурения и сооружения технологических скважин, которыми предусмотрено бурение вертикальных скважин, с допустимыми отклонениями трассы скважины не более 1 % на каждые 100 м. Бурение скважин ведется отработанными технологическими режимами, адаптированными к горно-геологическим условиям. С увеличением глубины разведочных и технологических скважин при малых диаметрах бурения неоднократно возрастает вероятность от-

клонения трассы скважин от заданной траектории, т.е. происходит искривление трассы скважины по зениту и отклонение по азимуту. Поэтому применение способов удержания трассы скважины по вертикали при бурении более глубоких горизонтов рудных тел – вопрос очень актуальный. Для обеспечения вертикальности скважин при бурении по «наносам» – горным породам осадочного комплекса II–V категории по буримости с прослоями коренных горных пород VI–VII категории по буримости применяется следующая компоновка низа бурильной колонны (КНБК) – утяжеленные бурильные трубы (УБТ) различного диаметра и длины. Как правило, КНБК составляют из УБТ Ø63 мм, УБТ Ø73 мм, УБТ Ø89 мм и УБТ Ø112 мм, расположенных последовательно над породоразрушающим инструментом (шарошечным долотом или долотом PDC). *Практически при искривлении скважин происходит совместное изменение зенитных и азимутальных углов, что вызывает пространственное или общее искривление.* В процессе бурения преобладающее большинство скважин искривляется. Искривления многих скважин имеют достаточно стабильный, постоянно повторяющийся характер. Из-за непостоянства физико-механических, структурных и других свойств горных пород и их углов наклонов или углов встречи со скважиной (геологические факторы) и технологических режимов их бурения, состава КНБК, колонковых наборов, породоразрушающего инструмента и т.п. (технологические факторы) и действующих раздельно или совместно – происходит искривление скважин. При бурении вертикальных скважин ключевой целью является предотвращение возможности искривления ствола, а в случае искривления – возможность исправления и приведения ствола к вертикали. Подобные задачи решаются за счет использования так называемого эффекта маятника: увеличивая интенсивность фрезеровки стенки ствола боковой поверхностью породоразрушающего инструмента, на нем одновременно создают максимально возможную отклоняющую силу, которая направлена в противоположную сторону относительно искривления ствола. Кроме того, стабилизация несущественного показателя зенитного угла скважины может обеспечиваться и за счет оптимального центрирования нижней части компоновки низа бурильной колонны (КНБК), которая в свою очередь обеспечивается посредством выбора необходимого расстояния для размещения опорно-центрирующих элементов от породоразрушающего инструмента. Уменьшение показателя искривления может достигаться за счет изменения направления оси породоразрушающего инструмента или отклоняющей силы. Виды компоновки низа бурильной колонны для создания вертикальных скважин включают маятниковые, жесткие и ступенчатые компоновки. Основным средством предупреждения искривления вертикальных скважин является правильная конструкция КНБК, определяемая осевой нагрузкой на долото, диаметром и глубиной скважины, геологическими условиями, физико-механическими свойствами горных пород, допустимым зенитным углом и другими факторами [14–16].



Обзор методов предупреждения искривления скважин и технических средств для стабилизации бурильной колонны

В последние годы значительно расширилась добыча многих полезных ископаемых с помощью геотехнологических скважин. Скважинная технология добычи позволяет в ряде случаев снизить в 2–4 раза капитальные затраты на строительство предприятий, повысить производительность труда, сохранить численность работающего персонала [17–21].

В Казахстане огромные запасы уранового сырья связаны с водоносными горизонтами, расположенными в южных регионах республики. Добыча урана осуществляется методом подземного выщелачивания с помощью закачных и откачных геотехнологических скважин [22–25]. Технология сооружения геотехнологических скважин, хотя и имеет общие черты с техникой и технологией бурения гидрогеологических скважин, тем не менее имеет много важных особенностей.

На сегодняшний день различные направления отечественных и зарубежных исследований посвящены разработке технологии сооружения геотехнологических скважин, определению геолого-технических условий месторождений, выбору способа и соответствующего бурового оборудования. Рассмотрены многие аспекты технологии создания фильтровой части скважины и гидроизоляции продуктивного горизонта от выше- и нижележащих пластов, а также вопросы освоения геотехнологических скважин [26–29].

В геологических условиях бурения скважин АО «Волковгеология» наиболее распространены методы предупреждения искривления скважин: снижение осевой нагрузки на долото; периодическое использование средств искусственного искривления; бурение вертикального пилот-ствола жесткими КНБК и последующее его расширение; бурение жесткими КНБК; бурение КНБК с максимально приближенным к долоту центром тяжести.

Метод снижения осевой нагрузки на долото позволяет проводить скважины в горных породах с часто перемежающимися осадочными толщами различной категорией буримости с небольшими искривлениями. АО «Волковгеология» для снижения искривления трассы скважин по зениту и отклонения направления скважин по азимуту применяла в составе КНБК различные технические средства для центрации и стабилизации бурильной колонны в процессе бурения, такие как центраторы и стабилизаторы [30, 31]. Устройство устанавливается в колонне бурильных труб над УБТ. Центраторы различных конструкций применялись от разных производителей (Украина, г. Дрогобыч Львовской обл; РФ, г. Люберцы Московской обл. и г. Уфа). Применение центраторов разных производителей дало положительный эффект – искривления и отклонения скважин удалось значительно снизить. По данным инклинометрии использование центраторов позволило сократить отклонения скважин до 5–7 м,

что допустимо регламентами бурения. Однако ряд факторов, таких как высокая стоимость (стоимость одного центратора составляла 580 тыс. руб), громоздкая конструкция (длина 2,4 м), а также большой вес (более 120 кг) центраторов, не позволил повсеместно их применять в АО «Волковгеология». Высокая стоимость центраторов от производителей из РФ и Украины обусловлена тем, что в конструкции для центрирования и боковой фрезеровки ствола скважины используются режущие насадки из искусственных поликристаллических технических алмазов – вставки PDC. Как правило, насадки PDC используются при бурении и центрации ствола скважин на нефть в твердых и крепких коренных горных породах VII–XII категории буримости. Кроме этого, вес каждого центратора составляет более 120 кг, что затрудняло физически их компоновку в КНБК. Высокая стоимость этих центраторов в свою очередь повышает себестоимость бурения скважин.

Формирование критериев оценки конструкции центрирующих элементов

В связи с высокой стоимостью и громоздкостью центраторов производства заводов-изготовителей РФ и Украины перед технологической службой и конструкторами, руководством АО «Волковгеология» была поставлена задача – разработать, изготовить и внедрить в производство центраторы собственного производства. Центраторы должны были быть адаптированы для горно-геологических, технических и технологических условий. Разработанные центраторы должны были исключить отклонения трассы скважин, снизить себестоимость буровых работ, повысить производительность труда и сократить непроизводительные затраты и простои. При разработке конструкции и центрирующих элементов центратора специалисты АО «Волковгеология» исходили из следующих критериев: простота конструкции, адаптированная к горно-геологическим и технологическим условиям бурения; возможность изготовления центраторов собственными производственными мощностями на базе АО «Волковгеология»; возможность быстрого и легкого соединения с другими элементами КНБК; использование в армировке центраторов недорогих по стоимости и износостойких материалов – твердосплавные вставки ВК (вольфрам-кобальтовые) или ТК (титан-кобальтовые) вместо дорогостоящих вставок PDC. Кроме того, учитывая, что скважины бурятся в мягких горных породах II–VI категории буримости, необходимо предусмотреть использование сменных центрирующих элементов. Также изготовленный центратор должен иметь низкую стоимость за счет простоты конструкции и применения недорогого износостойкого материала, низкой себестоимости изготовления. Изготовленный АО «Волковгеология» центратор должен быть конкурентоспособным на рынке буровых инструментов и иметь возможность ремонта и реставрации для увеличения срока службы, производственного ресурса и повторной эксплуатации [32–35].

Разработка и внедрение центраторов собственного производства.

Новизна разработок

Руководствуясь данными критериями, конструкторы партии новых технологий бурения (ПНТБ) АО «Волковгеология» разработали и внедрили в производство инновационный тип технических средств – центраторы собственного производства [36]. Для различных горно-геологических условий были изобретены, изготовлены и внедрены в производство новые типы винтовых центраторов. По результатам опытного бурения было определено, что ресурса одного центратора в данных геологических условиях в среднем хватает на 10 скважин. В процессе эксплуатации по мере износа сменных твердосплавных вставок они могут быть заменены путем выкручивания из центратора, а на их место ввинчены новые твердосплавные вставки, и центратор можно эксплуатировать далее, увеличивая срок эксплуатации. Кроме этого, разработана и внедрена новая схема КНБК с использованием центраторов собственного производства.

Новизна разработанных центраторов заключается в следующем. Винтовой центратор бурового инструмента, содержащий соединенную с буровым инструментом конструкцию с центрирующими выступами, армированными износостойким материалом, отличается от уже существующих моделей тем, что соединение его с буровым инструментом выполнено в виде охватывающей бурильную трубу бурового инструмента цанговой системы, в которой упо-

мянутые центрирующие выступы выполнены заодно с цангами или в виде сменных деталей, монтируемых в цангах посредством фигурных шпонок. Кроме того, центратор бурового инструмента, состоящий из трубчатого корпуса, имеющего по концам резьбы для соединительных элементов, включения его в состав опускаемого в скважину бурового инструмента и центральную часть, имеющую по периферии армированные износостойким материалом центрирующие выступы, отличается тем, что центральная часть корпуса между резьбами имеет цилиндрическую резьбу, на которую навинчены сменные диски, отделённые друг от друга втулками и снабжённые центрирующими выступами.

Корпус центратора изготовлен из стали М-45 диаметром 157 мм, а с твёрдым сплавом ВК и ТК (общая длина центратора $L = 1200$ мм, вес – 12 кг). Длина рабочей части $L = 0,3/0,6$ м. Шаг винтовой линии – 1117 мм. С двух концов центратора имеется замковая резьбовая часть 3-76В (рис. 1).

На предприятии проводились испытания центраторов собственного производства нескольких диаметров $\varnothing 127$ мм, $\varnothing 132$ мм, $\varnothing 156$ мм при бурении «пилот-скважины» с нуля до проектной глубины.

Забуривание ствола скважины производилось при объёме подачи промывочной жидкости 190–200 л/мин на пониженных режимах бурения, скорость вращения $n = 86$ об/мин (1-я скорость станка) со следующей компоновкой низа буровой колонны: пикобур $\varnothing 132/141/161$ мм; УБТ $\varnothing 63$ мм – 8 м; ведущая штанга $\varnothing 63$ мм – 8 м.



Рис. 1. Заготовка и готовый винтовой центратор производства АО «Волковгеология»

Fig. 1. Blank part and finished screw centralizer manufactured by JSC Volkovgeologiya

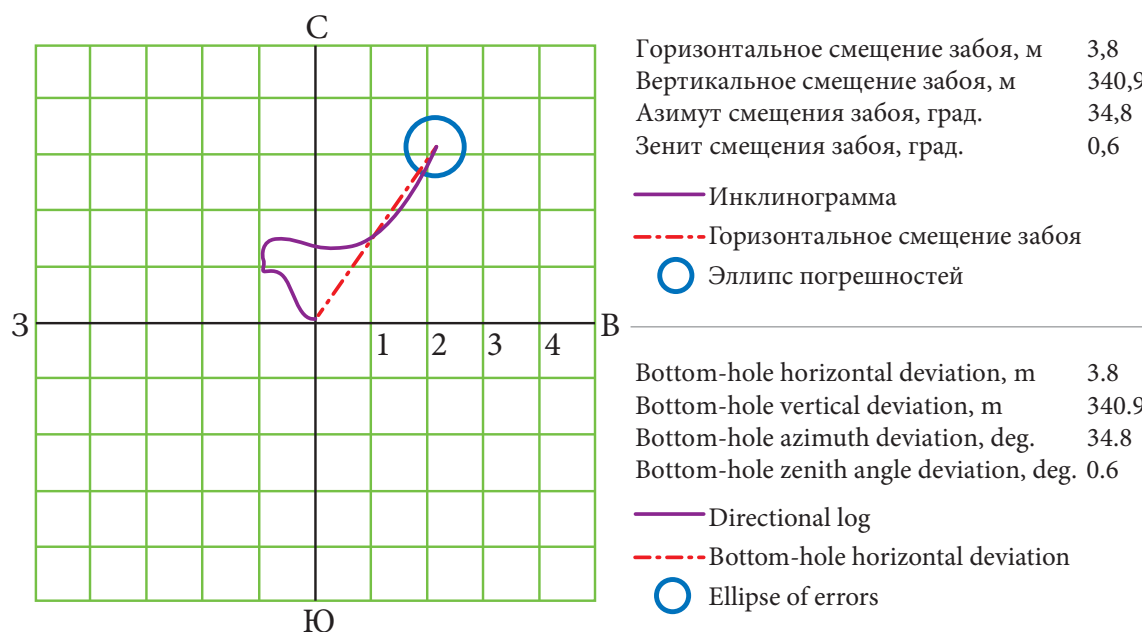


Рис. 2. Инклинограмма скважины, пробуренной с центратором Ø156 мм

Fig. 2. Directional log of a borehole drilled with the Ø156 mm centralizer

С 8 м (длина УБТ) до проектной глубины бурение производилось с центратором Ø127/132/156 мм, со следующей компоновкой низа бурильной колонны: пикобур Ø132/141/161 мм; УБТ Ø 63 мм – 8 м; центратор Ø127/132/156 мм – 0,4 м.

Режим экспериментального бурения: осевая нагрузка $P = 200–600$ кгс; частота вращения $n = 166$ об/мин; расход промывочной жидкости $Q = 190–200$ л/мин. При бурении каждый замер ведущей штанги – 8 м – обязательно прорабатывался не менее 4–5 раз для предотвращения сальникообразования и 2 раза в разнотернистых песках [37, 38].

Результаты испытаний по бурению пилот-скважин с помощью новой компоновки низа буровой колонны отображены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1 / Table 1

Сводные данные по бурению пилот-скважин на участке с помощью новой компоновки низа буровой колонны

Summary of drilling pilot holes with new bottom-hole assembly at the wellfield

Диаметр центратора, мм	Средняя проектная глубина, м	Допустимое отклонение, м	Среднее фактическое отклонение от оси, м
127	420,0	4,20	3,30
132	424,2	4,24	3,78
156	340,9	3,40	3,10

Результаты интерпретации, полученные при проведении ГИС на скважинах, удовлетворяют требуемым параметрам, горизонтальное смещение не превышает допустимых норм, скважины допущены к креплению стенок. Таким образом, использование центраторов собственного производства позволило

придать жесткость бурильной колонне, которая необходима для удержания её при бурении в заданном направлении, повысить осевую нагрузку на долото, а также уменьшить трение и износ бурильных труб.

Всего с использованием новых типов центраторов производства АО «Волковгеология» было пробурено 110 скважин. Разработанные центраторы имеют приемлемые оптимальные габариты: длина – 1,2 м, вес – 12–15 кг (в 10 раз легче российских центраторов), что позволяет легко соединять их в КНБК. Стоимость разработанных и изготовленных АО «Волковгеология» центраторов составила 54–58 тыс. тг, что в 10 (десять) раз дешевле центраторов производства заводов России и Украины. Помимо этого, центраторы собственного производства полностью адаптированы к горно-геологическим и технологическим условиям проведения буровых работ в АО «Волковгеология».

Выводы

АО «Волковгеология» является головным предприятием АО «НАК «Казатомпром» по геологическому обеспечению всех направлений его деятельности и проведению технологического бурения для горно-подготовительных работ на уранодобывающих предприятиях компании. Предприятие занимает около 90 % доли рынка буровых работ в АО «НАК Казатомпром», обеспечивает геологическое сопровождение всех видов деятельности – от поиска и разведки урановых месторождений до их ввода в промышленную эксплуатацию. Для добычи уранового сырья уранодобывающие компании применяют наиболее рентабельный и экологически безопасный метод подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). Добыча уранового сырья производится через пробуренные технологические (закачные и откачные) скважины.



Разработанные, изготовленные и внедренные в бурении новые типы центраторов в компоновке низа буровой колонны исключают сверхдопустимое отклонение оси скважины от вертикали (зениту), а также по горизонтали (азимуту) и являются успешным решением проблемы по отклонениям в данное время. По данным ГИС (инклинометрии) горизонтальное и вертикальное смещение оси скважин находится в пределах допустимых норм.

Экономический эффект от внедрения центраторов собственного производства на 1 (одну) скважину составил более 170 000 тенге. По статистике сверхнормативные отклонения до внедрения центраторов собственного производства составляли не менее 10 % от общего объема пробуренных скважин в год, а это не менее 700 скважин. Таким образом, общий экономический эффект может составить более 120 млн тенге в год.

Список литературы

1. Ракишев Б. Р., Федоров Б. В. *Техника и технология сооружения геотехнологических скважин*. Алматы; 2013. 260 с.
2. Armstrong D., Jeuken B. Management of In-Situ Recovery (ISR) Mining Fluids in a Closed Aquifer System. In: *Proceedings of the International Mine Water Conference. 19–23 October 2009*. New York: Curran Associates; 2009. P. 688–697.
3. Armstrong D, Jeuken B. Management of in-situ recovery (ISR) mining fluids in a closed aquifer system. In: *Abstracts of the International Mine Water Conference*. South Africa; 2009. P. 703–712.
4. Arnold N., Gufler K. The future of Nuclear Fuel Supply. In: *Proceedings of the 1st INRAG Conference on Nuclear Risk*. 16–17 April 2015. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna; 2015. P. 1–27.
5. Benes V., Gorbatenko O., Jones B., Marten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *IAEA – Uranium raw material for the nuclear fuel cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental issues*. 23–27 June, 2014. Vienna, Austria, URAM; 2014.
6. Boystov A. Worldwide ISL Uranium Mining Outlook. In: *In Situ Leach Mining of Uranium: An Overview of Operations*. IAEA Nuclear Energy series NF-T-1.4 (URAM-2014). Vienna: IAEA; 2016.
7. Сушко С. М., Бегун А. Д., Федоров Б. В., Касенов А. К., Дауренбеков С. Д. *Методика сооружения скважин для разведки и добычи урана методом ПСВ*. Алматы: АО НАК «Казатомпром», ТОО «Институт высоких технологий»; 2007. 178 с.
8. Boytsov A. Worldwide ISL Uranium Mining Outlook: presentation. In: *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: IAEA; 2014. P. 1–23.
9. Mudd Gavin M., Critical review of acid in situ leach uranium mining: 1. USA and Australia, Cases and Solutions. *Environmental Geology*. 2001;(41):390–403. <https://doi.org/10.1007/s002540100406>
10. *Uranium 2018: Resources, Production and Demand*. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt, France: Nuclear Energy Agency (NEA); 2018. URL: https://oecd-nea.org/jcms/pl_15080/uranium-2018-resources-production-and-demand?details=true
11. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert, Egypt. *International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;(6):62–73. <https://doi.org/10.14355/ijnese.2016.06.006>
12. Брылин В. И. *Технология бурения и оборудование эксплуатационных скважин при отработке месторождений урана методом подземного выщелачивания*. Томск: Изд-во Томского политехнического университета; 2010. 218 с.
13. Бейсебаев А. М., Туякбаев Н. Т., Федоров Б. В. *Бурение скважин и горноразведочные работы*. М.: Недра; 1990. 303 с.
14. Гержберг Ю. М. Бурение ступенчатым забоем как средство ограничения искривления скважины. *Бурение и нефть*. 2013;(6):28–31.
15. Диева Н. Н., Вольпин С. Г., Корнаева Д. А., Штейнберг Ю. М. Повышение информативности исследований скважин, работающих при забойном давлении ниже давления насыщения, методом установившихся отборов. *Бурение и нефть*. 2014;(1):41–43.
16. Кейн С. А. *Современные технические средства управления траекторией наклонно-направленных скважин*. Ухта: УГТУ; 2014. 119 с.
17. Wu H.-H., Hinke S., Fan Y. A new well positioning technique: Access-independent ranging solution for providing accurate well completion. In: *Proceedings – SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. San Antonio, Texas, USA; 2017. <https://doi.org/10.2118/187050-ms>
18. Prawira A. Y. Logging while drilling operation. *Engineering Solid Mechanics*. 2019;7(3):163–178. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2019.6.001>
19. Hearst Joseph R., Nelson Philip H. *Well logging for physical properties: a handbook for geophysicists, geologists, and engineers*. 1985. 571 p.
20. Aadnoy B. S., Cooper I., Miska S. Z., Mitchell R. F., Payne M. L. (eds.) *Advanced Drilling and Well Technology*. Society of Petroleum Engineers; 2009. 888 p.



21. Bourgoyne Jr. A. T., Millheim K., Chenevert M., Young Jr. F. S. *Applied Drilling Engineering*. SPE Textbook Series, Vol. 2. Society of Petroleum Engineers; 1991. 502 p.
22. Klingbiel T. The Uranium and Conversion Markets. In: *U.S. Women in Nuclear Conference. July 18, 2005*.
23. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetaev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatating formations during the process of in situ uranium leaching. *International Journal of Advanced Research*. 2017;5(2):147–154. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/3126>
24. Meng H., Li Z., Ma F., et al. Preparation and characterization of surface imprinted polymer for selective sorption of uranium (VI). *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015;306(1):139–146. <https://doi.org/10.1007/s10967-015-4067-8>
25. Niyetbayev M., Yermilov A., Avdassayov I., Pershin M. The methods for performance improvement of technological wells at in-situ uranium leaching. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014*. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 81.
26. Башкатов Д. Н., Панков А. В., Коломиец А. М. *Прогрессивная технология бурения гидрогеологических скважин*. М.: Недра; 1992. 286 с.
27. Леонов Е. Г. Новая модель оптимизации режимов роторного бурения. Выбор лучшего типа долота. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2005;(5):2–5.
28. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014*. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 8–9.
29. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014*. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014. P. 138.
30. Беркунов В. С., Леонов Е. Г. Обобщенные формулы для определения оптимальных значений времени отработки долота и его проходки. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 1999;(10):20–21.
31. Булатов А. И., Демихов В. И., Макаренко П. П. *Контроль процессов бурения нефтяных и газовых скважин*. М.: Недра; 1998. 345 с.
32. Гержберг Ю. М., Кузнецов Н. И., Кишин В. И., Кулигин А. В. *Научные основы и современная технология безориентированного регулирования трассы скважины*. М.: ООО «ИРЦ Газпром»; 2008. 45 с.
33. Курочкин Б. М. *Техника и технология ликвидации осложнений при бурении и капитальном ремонте скважин*. В 2-х т. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2007;1:598; 2008;2:555.
34. Ошибков А. В., Двойников М. В. Исследование характеристик профилей наклонно-направленных скважин, представленных одной линией. *Бурение и нефть*. 2014;(6):18–20.
35. Пенкевич С. В. *Методические указания к расчету эрлифта при откачке из гидрогеологических скважин*. М.: МГПРУ; 2003. 28 с.
36. Цуприков Л. А. Определение параметров модели механической скорости бурения методом наименьших квадратов. В кн.: *Телекоммуникационные и информационные системы: тр. междунар. конф.* СПб.: Изд-во Политехн. ун-та; 2007. С. 274–276.
37. Доровских И. В., Подъячев А. А., Павлов В. А. Влияние изменения механических свойств горных пород при насыщении буровым раствором на напряженное состояние прискважинной зоны. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2014;(11):31–38.
38. Коротченко А.Н., Земляной А. А. Система регистрации параметров, закачиваемых в скважину жидкостей. *Бурение и нефть*. 2013;(1):49–50.

References

1. Rakishev B. R., Fedorov B. V. *Technique and process for the construction of geotechnological boreholes*. Almaty; 2013. 260 p. (In Russ.)
2. Armstrong D., Jeuken B. Management of In-Situ Recovery (ISR) Mining Fluids in a Closed Aquifer System. In: *Proceedings of the International Mine Water Conference. 19–23 October 2009*. New York: Curran Associates; 2009, pp. 688–697.
3. Armstrong D., Jeuken B. Management of in-situ recovery (ISR) mining fluids in a closed aquifer system. In: *Abstracts of the International Mine Water Conference*. South Africa; 2009, pp. 703–712.
4. Arnold N., Gufler K. The future of Nuclear Fuel Supply. In: *Proceedings of the 1st INRAG Conference on Nuclear Risk. 16–17 April 2015*. Vienna: University of Natural Resources and Life Sciences in Vienna; 2015, pp. 1–27.
5. Benes V., Gorbatenko O., Jones B., Marten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *IAEA – Uranium raw material for the nuclear fuel cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environment issues. 23–27 June, 2014*. Vienna, Austria, URAM; 2014.



6. Boystov A. Worldwide ISL Uranium Mining Outlook. In: *In Situ Leach Mining of Uranium: An Overview of Operations*. IAEA Nuclear Energy series NF-T-1.4 (URAM-2014). Vienna: IAEA; 2016.
7. Sushko S. M., Begun A. D., Fedorov B. V., Kassenov A. K., Daurenbekov S. D. *Technique of borehole construction for exploration and production of uranium using ISL method*. Almaty: JSC NAC Kazatomprom, Institute of High Technology LLP (IHT); 2007. 178 p. (In Russ.).
8. Boytsov A. Worldwide ISL Uranium Mining Outlook: presentation. In: *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: IAEA; 2014, pp. 1–23.
9. Mudd Gavin M., Critical review of acid in situ leach uranium mining: 1. USA and Australia, Cases and Solutions. *Environmental Geology*. 2001;(41):390–403. <https://doi.org/10.1007/s002540100406>
10. *Uranium 2018: Resources, Production and Demand*. A Joint Report by the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Boulogne-Billancourt, France: Nuclear Energy Agency (NEA); 2018. URL: https://oecd-neia.org/jcms/pl_15080/uranium-2018-resources-production-and-demand?details=true
11. Khawassek Y. M., Taha M. H., Eliwa A. A. Kinetics of Leaching Process Using Sulfuric Acid for Sella Uranium Ore Material, South Eastern Desert, Egypt. *International Journal of Nuclear Energy Science and Engineering*. 2016;(6):62–73. <https://doi.org/10.14355/ijnese.2016.06.006>
12. Brylin V. I. *Drilling technology and equipment for production boreholes for in-situ leaching recovery of uranium*. Manual for graduate students: National Research Tomsk Polytechnic University, Yurga, Russia Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnical University; 2010. 218 p. (In Russ.).
13. Beisebaev A. M., Tuyakbaev N. T., Fedorov B. V. *Borehole drilling and exploration*. Moscow: Nedra; 1990. 303 p. (In Russ.).
14. Gerzhberg Yu. Drilling with stepped face as mean to restrict deviation of well. *Burenie i Neft'*. 2013;(6):28–31. (In Russ.).
15. Dieva N., Vol'pin S., Kornaeva D., Shteinberg Yu. By method of settled production rates increasing of surveys information content of wells working with bottom-hole pressure lower than saturation pressure. *Burenie i Neft'*. 2014;(1):41–43. (In Russ.).
16. Kein S.A. *Modern facilities for directional drilling trajectory control*. Ukhta: USTU; 2014. 119 p. (In Russ.).
17. Wu H.-H., Hinke S., Fan Y. A new well positioning technique: Access-independent ranging solution for providing accurate well completion. In: *Proceedings – SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. San Antonio, Texas, USA; 2017. <https://doi.org/10.2118/187050-ms>
18. Prawira A. Y. Logging while drilling operation. *Engineering Solid Mechanics*. 2019;7(3):163–178. <https://doi.org/10.5267/j.esm.2019.6.001>
19. Hearst Joseph R., Nelson Philip H. *Well logging for physical properties: a handbook for geophysicists, geologists, and engineers*. 1985. 571 p.
20. Aadnoy B. S., Cooper I., Miska S. Z., Mitchell R. F., Payne M. L. (eds.) *Advanced Drilling and Well Technology*. Society of Petroleum Engineers; 2009. 888 p.
21. Bourgoyne Jr. A. T., Millheim K., Chenevert M., Young Jr. F. S. *Applied Drilling Engineering*. SPE Textbook Series, Vol. 2. Society of Petroleum Engineers; 1991. 502 p.
22. Klingbiel T. The Uranium and Conversion Markets. In: *U.S. Women in Nuclear Conference. July 18, 2005*.
23. Mataev M. M., Rakishev B. R., Kenzhetaev G. S. The impact of ammonium bifluoride complex on colmatating formations during the process of in situ uranium leaching. *International Journal of Advanced Research*. 2017;5(2):147–154. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/3126>
24. Meng H., Li Z., Ma F., et al. Preparation and characterization of surface imprinted polymer for selective sorption of uranium (VI). *Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2015;306(1):139–146. <https://doi.org/10.1007/s10967-015-4067-8>
25. Niyetbayev M., Yermilov A., Avdassyov I., Pershin M. The methods for performance improvement of technological wells at in-situ uranium leaching. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014, p. 81.
26. Bashkatov D. N., Pankov A. V., Kolomiets A. M. *Cutting edge technique for drilling hydrogeological boreholes*. Moscow: Nedra; 1992. 286 p. (In Russ.).
27. Leonov E.G. New model for optimization of rotary drilling practices. Selection of the best bit type. *Stroitel'stvo nef'tnykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2005;(5):2–5. (In Russ.).
28. Polack C. Uranium exploration (2004–2014): New discoveries, new resources. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014)*. 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014, pp. 8–9.
29. Woods P., Pool T., Beneš V., Gorbatenko O., Jones B., Märten H., Solodov I., Slezak J. International overview of ISL uranium mining operations. In: *International Symposium on Uranium Raw Material for the*



Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM-2014). 23–27 June 2014. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2014, p. 138.

30. Berkunov B. C., Leonov E. G. Generalized formulas for determining optimal values of a bit drilling footage and operation time. *Stroitel'stvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 1999;(10):20–21. (In Russ.)

31. Bulatov A. I., Demikhov V. I., Makarenko P. P. *Oil and gas boreholes drilling monitoring*. Moscow: Nedra; 1998. 345 p. (In Russ.)

32. Gerzhberg Yu. M., Kuznetsov N. I., Kirshin V. I., Kuligin A. V. *Scientific fundamentals and modern technique for non-oriented control of hole path*. Moscow: LLC IRC Gazprom; 2008. 45 p. (In Russ.)

33. Kurochkin B. M. *Technique and process for eliminating complications during drilling and overhaul of boreholes*. Moscow: JSC VNIIOENG Publ. 2007;1:598; 2008;2:555. (In Russ.)

34. Oshibkov A. V., Dvoynikov M. V. Characteristics “survey of directional wells” profiles presented by one line. *Burenie i nef't'*. 2014;(6):18–20. (In Russ.)

35. Penkevich S. V. *Procedural guidelines for airlift calculation when pumping out of hydrogeological boreholes*. Moscow: MGGRU; 2003. 28 p. (In Russ.)

36. Tsuprikov L. A. Determination of the ROP model parameters by the least squares method. In: *Telecommunication and information systems. Proceedings of Int. Conf. St. Petersburg*: Publ. House of Polytechnical University; 2007, pp. 274–276 (In Russ.)

37. Dorovskikh I. V., Pod'yachev A. A., Pavlov V. A. Effect of changes in mechanical properties of rocks when saturating with drilling fluid on the stress state of the near well bore area. *Stroitel'stvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*. 2014;(11):31–38. (In Russ.)

38. Korotchenko A., Zemlyanoy A. Registering system of parameters of liquids being pumped into well. *Burenie i Neft'*. 2013;(1):49–50. (In Russ.)

Информация об авторе

Динмухамед Нурболович Молдаши – председатель правления АО «Волковгеология» (АО «НАК «Казатомпром»), г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: priemnaya@vg.kazatomprom.kz

Information about the author

Dinmukhamed N. Moldashi – Chairman of the Board, Volkovgeologia JSC (NAC Kazatomprom), Almaty, the Republic of Kazakhstan; e-mail: priemnaya@vg.kazatomprom.kz

Поступила в редакцию 23.11.2020

Поступила после рецензирования 07.02.2021

Принята к публикации 08.02.2021

Received 23.11.2020

Revised 07.02.2021

Accepted 08.02.2021