

# Ensuring the Stability of the Borehole Wall

## During Construction of Horizontal Wells in the Fields of the Republic of Bashkortostan (Devonian System – Kyno Sargaevsky Tier)

## Обеспечение стабильности стенок скважины

### при строительстве горизонтальных скважин на месторождениях республики Башкортостан (Девонская система – Кыно-Саргаевский ярус)

Vasily Lishchuk, Vladimir Gnativ, Alexey Kitov; ANK Bashneft PAO;  
Andrey Kharitonov, Alexey Golovkin, Ivan Kamaev, Halliburton

Василий Лищук, Владимир Гнатив, Алексей Китов; ПАО АНК «Башнефть»;  
Андрей Харитонов, Алексей Головкин, Иван Камаев, Halliburton

Oilfield development using horizontal wells is becoming more widespread for a number of reasons:

- Increased recoverable reserves, which is important because of the ever-decreasing stocks of proven oil reserves
- Increased production of hard-to-recover oil
- Increased economic benefits provided from the drilling and operation of horizontal wells, multilateral horizontal wells, and horizontal offshore wells
- Reduced adverse environmental effects
- Improved construction and operation of horizontal wells

Currently, ANK Bashneft PAO, being the founder of horizontal drilling technology (first application was in the Soviet Union, Kartashevsky deposit, 1952–1953), actively employs horizontal wells for oilfield development in the Republic of Bashkortostan, including the productive Devonian system reservoirs. Construction of horizontal wells in Devonian reservoirs is characterized by incompatible drilling conditions, where issues of stability of the well walls in the Kynovsky and Sargaevsky tiers are compounded by critical circulation losses in the bordering Serpukhovsky and Famensky tiers (Fig. 1).

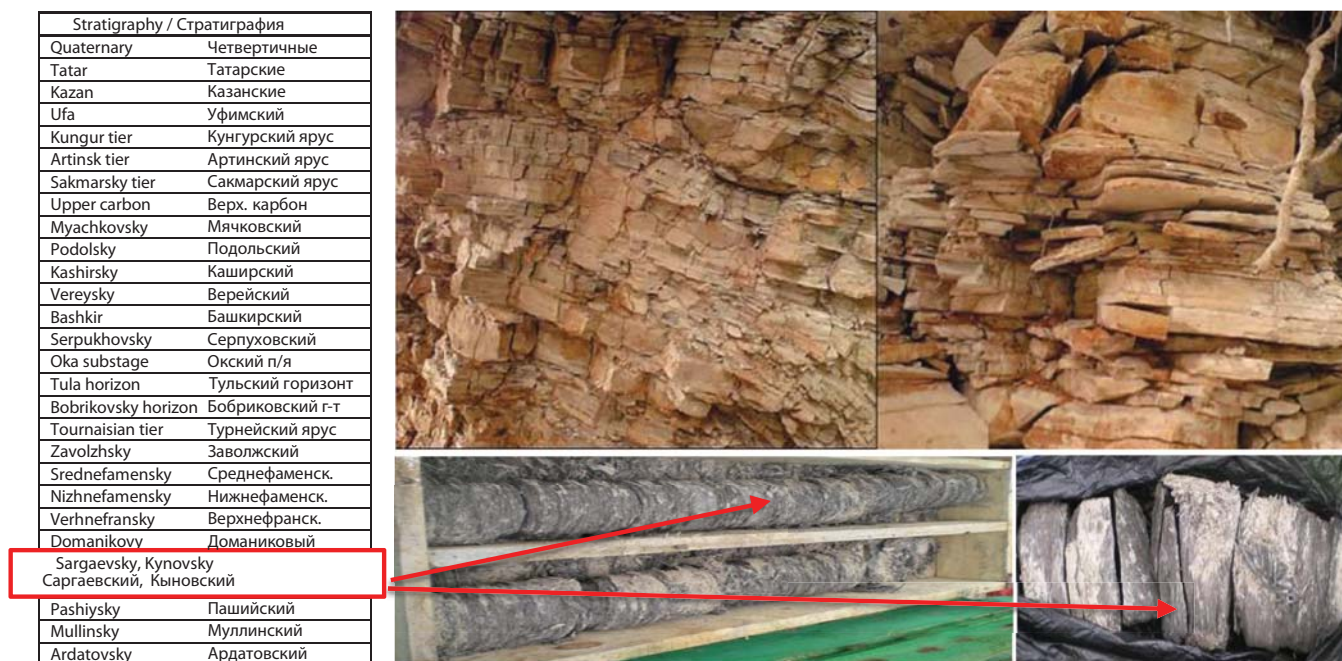
The Kynovsky horizon (D3kn) is composed of greenish-gray and brown schistose and comminuted argillites. A limestone interlayer, the “upper limestone” marker bed, can be traced at the bottom of the horizon.

Разработка нефтяных месторождений с использованием горизонтальных скважин обретает все более широкое распространение. Это обусловлено рядом причин:

- при сокращении разведанных запасов нефти, горизонтальные скважины способствуют приросту извлекаемых запасов;
- увеличение объема добычи трудноизвлекаемой нефти;
- увеличение экономической привлекательности бурения и эксплуатации горизонтальных, многоствольных горизонтальных скважин и боковых горизонтальных стволов в скважинах;
- снижение неблагоприятного воздействия на окружающую среду;
- совершенствование технологий строительства и эксплуатации горизонтальных скважин.

В наши дни ПАО АНК «Башнефть», являясь родоначальником горизонтального бурения (первый опыт в СССР, Карташевское м-е., 1952-1953 гг.), активно использует разработку месторождений в республике Башкортостан горизонтальными скважинами, в том числе на продуктивные пласты Девонской системы. Строительство горизонтальных скважин на Девон характеризуется несовместимыми условиями бурения, где устойчивость стенок скважины в Кыновском и Саргаевских ярусах граничит с катастрофическими поглощениями Серпуховского и Фаменского ярусов (Рис. 1).

Кыновский горизонт (D3kn) сложен аргиллитами зеленовато – серыми и коричневыми, сланцеватыми и оскольчатыми. В основании горизонта прослеживается прослой



● Fig 1. Typical stratigraphy and lithology of deposits  
 ● Рисунок 1. Типовые стратиграфия и литология месторождений

The depth of the Kynovsky horizon formations ranges from 25 to 100 m.

The Sargaevsky horizon (D3sr) of the middle substage (D3f2) is represented by gray, greenish-gray, crystalline, pelitomorphic, occasionally fine-grained, argillaceous, fractured limestones, with bituminous interlayers and dark and greenish-gray, calcareous mudstone layers. The depth is from 2 to 20 m.

### Essence of the Problem

As experienced during drilling in the Kyno-Sargaevsky horizon, these intervals are sufficiently stable over time in cases of a vertical drill-in, and at angles of up to 20°. However, their stability significantly decreases at angles of 40 to 70°. With previously used solutions, the first signs of caving were observed 7 to 10 days after drilling in. When the filtrate and whole mud enter the micro-cracks, the forces holding the plates in a bound state decrease sharply, resulting in their dissociation. Without being bound to the rock matrix, plates are broken up, and being at an angle greater than 40°, they fall off the formation into the solution (peel off). With losses in circulation, the caving intensity increases. Hydrodynamic impacts on the formation (washing, rapid startup of pumps, telemetry configuration), as well as mechanical actions (use of bicentric bits, reaming operations) are highly undesirable in these intervals.

### System Description

The primary goal of horizontal well construction in Devonian formations in the fields of the Republic of Bashkortostan is to ensure the stability of the borehole wall in the interval of the Kyno-Sargaevsky horizon. Drilling mud selection principles for the construction of horizontal and vertical wells are identical. However, when choosing a mud for horizontal wells, some factors

известняка, репер «верхний известняк». Мощность отложенный Кыновского горизонта составляет от 25 до 100 метров.

Саргаевский горизонт (D3sr) среднего подъяруса (D3f2) представлен известняками серыми, зеленовато-серыми, кристаллическими, политоморфными, иногда тонкозернистыми, глинистыми, трещиноватыми, с прослоями битуминозными и прослойками аргиллитов темно- и зеленовато-серых, известковистых. Мощность – от 2 до 20 метров.

### Сущность проблемы

Как показал опыт буровых работ в Кыно-Саргаевском горизонте, данные интервалы достаточно устойчивы во времени при вертикальном вскрытии и углах до 20°. В то же время, при углах 40 – 70° их устойчивость резко понижается. На используемых ранее растворах первые признаки обвалообразований наблюдались через 7 – 10 суток после вскрытия. При попадании фильтрата и цельного бурового раствора в микротрещины резко снижается сила, удерживающая пластины в связанном состоянии, что приводит к их разобщению. Не будучи связанными с матрицей породы, пластины ломаются, а, находясь под углом выше 40°, они срываются из пласта в раствор (осыпаются). При поглощениях интенсивность обвалообразования возрастает. Крайне нежелательными являются гидродинамическое воздействие на пласт (промывки, резкий запуск насосов, настройка телеметрии), а также механическое воздействие (использование бицентричных долот, проработки) в данных интервалах.

### Описание системы

Основной задачей при строительстве горизонтальных скважин на Девон на месторождениях в республике Башкортостан является обеспечение устойчивости стенок скважины в интервале Кыно-Саргаевского горизонта. Принципы выбора бурового раствора для строительства горизонтальных и вертикальных скважин одинаковы. Однако, при выборе промывочной жидкости для горизонтальных скважин некоторые факторы требуют к себе более пристального внимания и более детальной проработки.

require more attention and more detailed study. Components that help ensure successful drilling in horizontal wells include the use of high-quality drilling mud, application of a proper hydraulic program, an effective method for sludge removal from wells, a careful design, properly selected equipment, and the correct choice of drilling mud density for drilling-in horizons susceptible to cave-ins.

The proposed solution includes an aqueous, potassium chloride-mineralized drilling solution with effective concentrations of stabilizers based on organic polymers, asphaltenes, and polyamines selected for all types of argillaceous minerals.

### Laboratory Studies

Laboratory studies of rock samples from the Kyno-Sargaevsky horizon were performed jointly with BashNIPneft LLC, including the following tests:

**X-Ray Diffraction (XRD):** Determines the mineralogy of the core material, including the amounts and types of argillaceous rocks, as well as their reactivity (Table 1).

**Methylene Blue Test (MBT):** Assesses the reactivity of the clays that comprise the horizon. Tests were conducted to determine the cation-exchange capacity (CEC) of samples submitted for analysis.

#### CEC indicators:

- 0 to 10 mEq/100 g corresponds to low-reactivity rock.
- 10 to 20 mEq/100 g corresponds to moderate-reactivity rock.
- Above 20 mEq/100g corresponds to high-reactivity rock.

The CEC of the samples was 12 mEq/100 g, which corresponds to rock of moderate reactivity.

**Capillary Suction Time (CST):** Measures the time in seconds required for a certain amount of water from the slurry to move radially on a thick porous filter paper between electrodes. The test determines the hydration and dispersion properties of the rocks, as required for modeling shear and chemical effects during drilling, as well as for selecting the optimal salt concentration for inhibition of the rock. Results are shown in Table 2.

As can be observed from the test results, the argillaceous rock of the core sample is poorly susceptible to inhibition by potassium chloride.

**Rock Dispersion Test:** Provides the ability to assess the rock's tendency to disperse in the selected solution under dynamic conditions approximating those at the bottom hole. Cuttings measuring 2 to 4 mm are loaded into a cell filled with the solution, which is then rotated in a roller-hearth furnace at a given temperature and pressure for a predetermined time (16 hr). At the end of the test, the cuttings are washed and passed through a 2-mm sieve. The solution is considered effective at inhibiting the shale if more than 80% of the cuttings

● **Table 1. Results of XRD Testing of a Core Sample from the Kynovsky Horizon**  
● **Таблица 1. Результаты рентгеновско-лучевой дифрактометрии образца верна Кыновского горизонта**

Mineral / Минерал	% Composition / Кыновский горизонт
Illite / Иллит	60 %
Calcite / Кальцит	6 %
Kaolinite / Каолин	13 %
Quartz / Кварц	21 %

Применение качественного бурового раствора, надлежащая гидравлическая программа, эффективная методика очистки скважины от шлама, тщательное проектирование, соответствие оборудования, правильный выбор плотности бурового раствора при вскрытии обвалоопасных горизонтов – вот те составляющие, которые обеспечивают успешное бурение горизонтальных скважин.

Для выполнения поставленной задачи предложен минерализованный хлористым калием буровой раствор на водной основе с эффективными концентрациями стабилизаторов на основе органических полимеров, асфальтенов и полиаминов, подобранных под все типы глинистых минералов.

### Лабораторные исследования

Совместно с институтом ООО «БашНИПИнефть» были произведены лабораторные исследования образцов горной породы Кыно-Саргаевского горизонта, включая следующие тесты:

**Рентгеновско-лучевая дифрактометрия (XRD)** позволяет определить минералогию kernового материала, в том числе количество и вид глинистых пород и их реакционную способность, см. Табл. 1.

**MBT** проводится для оценки реактивности глин, слагающих горизонт.

Были проведены тесты по определению катионно-обменной емкости образцов, предоставленных для анализа (КОЕ).

#### Показатель КОЕ:

- 0-10 мЭкв/100 г соответствует породе слабой реактивности.
- 10-20 мЭкв/100 г – породы умеренной реактивности.
- свыше 20 мЭкв/100 г – породы высокой реактивности.

Катионно-обменная емкость образцов составила 12 мЭкв/100 г, что соответствует умеренной реактивности породы.

#### Время капиллярного всасывания.

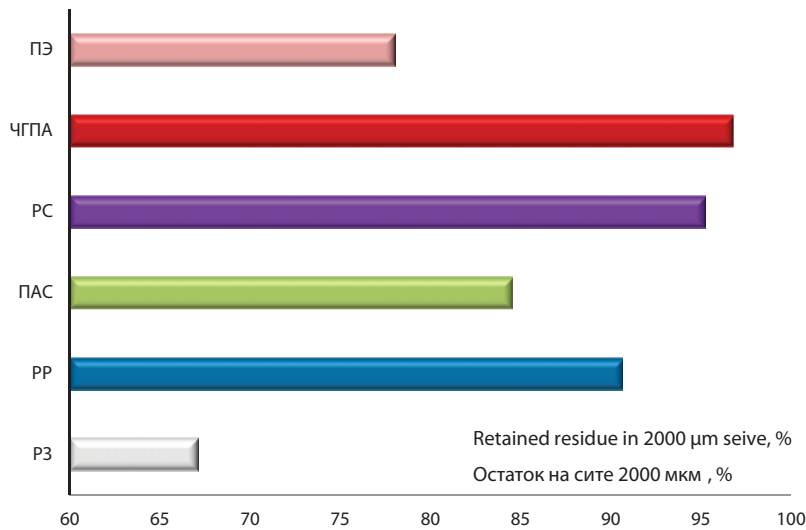
При проведении теста измеряется время, которое необходимо для того, чтобы определенное количество воды из суспензии радиально переместилось на толстой пористой фильтровальной бумаге между электродами. Тест позволяет определить гидратирующие и дисперсионные свойства породы при моделировании сдвига и химических воздей-

● **Table 2. CST Results on the Sample Core from the Kynovsky Horizon**

● **Таблица 2. Результаты теста на капиллярное всасывание образца керна Кыновского горизонта, с**

Mixing Time (sec) / Время перемешивания, сек	Process Water Тех. вода	2% KCl	3% KCl	4% KCl	5% KCl	10% KCl	15% KCl	20% KCl
60	15.3	11.4	9.3	9.3	11.0	9.4	9.6	9.8
120	16.4	14.0	11.7	11.5	12.5	11.1	11.4	11.3





● **Fig 2. Dispersion of the core sample from the Kynovsky horizon in various drilling fluids**  
 ● **Рисунок 2. Диспергирование образца ядра Кыновского горизонта в различных буровых растворах**

remain on the sieve. For comparison, the tests were performed with several mud systems (Fig 2).

Fig 2. shows data for the following drilling solutions:

- P3: The working solution provided by the customer.
- PP: The working solution used for the drilling of horizontal wells.
- ПАС: Fresh-Water clay-polymer mud with asphaltenes.
- РС: Proposed system from the current study.
- ЧГПА: A highly-inhibited mineralized mud system with partially hydrolyzed polyacrylamide.
- ПЭ: Direct emulsion-based drilling mud.

Table 3 shows typical formulations of the investigated drilling solutions.

**Swelling Test:** Determines the inhibitory potential of the mud system. Drill cuttings are washed, dried, crushed, and sieved through a 325-mesh sieve. 20 g of the material is pressed into a pellet at 10 atm for 1.5 hr. They were then incubated in a desiccator. The pellet is placed into a cell and immersed in the solution. The pellet's change in volume, resulting from swelling, is reflected on a computer monitor in real time. Test results are shown in Fig. 3.

**Sealing Capacity:** A high-pressure and -temperature filter press is used to aid in the selection of an optimal composition of drilling mud coagulant. 35 µm ceramic discs were used as a porous medium to simulate Kynovsky horizon. The equipment allows creating pressures up to 4,000 psi (≈ 280 atm) and temperatures up to 250°C, providing conditions similar to those experienced in the formation. Results from using the optimized formulation of fillers are listed in Table 4.

ствий при бурении, подобрать оптимальную концентрацию соли для ингибирования породы.

Полученные результаты сведены в Табл. 2.

Как видно из результатов теста, глинистая порода образца слабо восприимчива к ингибированию хлористым калием.

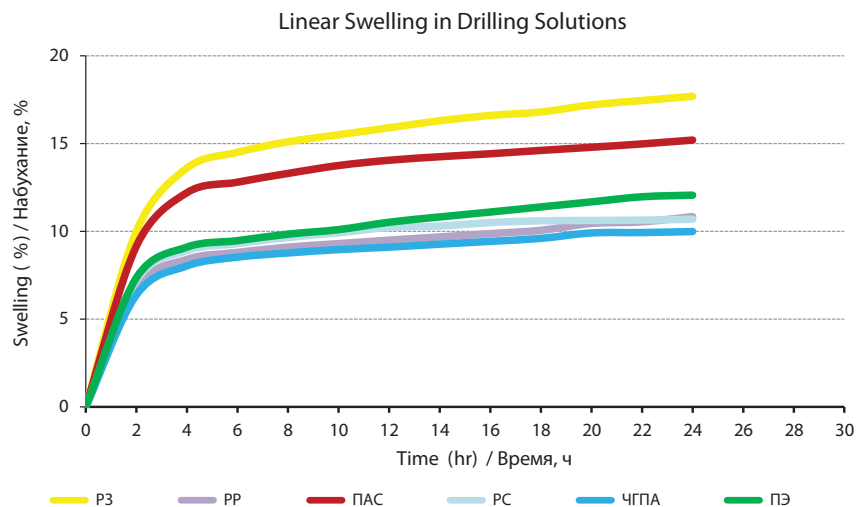
Тест на диспергирование горной породы позволяет оценить склонность породы к диспергированию в выбранном растворе в динамических условиях, приближенных к забойным. Шлам 2-4 мм загружается в ячейки, заполняется раствором и вращается в роликовой печи при заданных температуре и давлении в течение заданного времени (16 ч). По окончании теста шлам отмывается и пропускается через сито 2 мм. Раствор считают эффективным для ингибирования сланцев, если остаток на сите составляет выше 80 %.

Для сравнения в тестах использовались несколько систем раствора.

Полученные данные приведены на Рис. 2.

- Рабочий раствор, предоставленный заказчиком (РЗ)
  - Рабочий раствор при бурении горизонтальной скважины (РР)
  - Пресный полимерглинистый буровой раствор с асфальтенами (ПАС)
  - Рассматриваемая нами система (РС)
  - Высокоингибированная минерализованная система бурового раствора с частично гидролизированным полиакриламидом (ЧГПА)
  - Буровой раствор на основе прямой эмульсии (ПЭ)
- В табл. 3 приведены типовые рецептуры исследованных буровых растворов.

Тест на определение склонности породы к разбуханию позволяет оценить ингибирующий потенциал системы раствора. Буровой шлам отмывается, сушится, измельчается и



● **Fig. 3 Linear swelling test results from a core sample from the Kynovsky horizon in various drilling fluids.**  
 ● **Рисунок 3. Линейное набухание образца ядра Кыновского горизонта в различных буровых растворах**

### Findings of the Studies: The following results were determined from the laboratory experiments:

Results from the core sample studies show that these horizons are composed mainly of lamellar argillaceous minerals and contain 21% sandstone, with 79% being the share of argillaceous shale. These formations are characterized by a high level of fracturing.

MBT testing of the cuttings particles revealed CEC indicators of 12 mEq/100 g, which corresponds to a moderate reactive capacity for the sample.

Swelling and dispersion are the principal mechanisms of rock destabilization, both in fresh water and mineralized solutions. Dispersion and linear swelling test results on the rock indicate that the current investigated system, in terms of its inhibitory properties, is able to ensure high level of shale stabilization.

Testing of the sealing capacity shows that the considered solution has good filtration properties. This effect is achieved by binding the solution's aqueous phase with a nonionic polymer, as well as the proper selection of micro-coagulants, thereby creating a high-quality filter cake.

### Lubricants

Presently, service companies offer water-soluble or readily water-miscible lubricant additives, which do

#### ● Table 3. Formulations of the Investigated Drilling Solutions

#### ● Таблица 3. Рецептуры исследованных буровых растворов

Products / Продукты	Product Concentration (kg/m <sup>3</sup> ) / Концентрации продуктов, кг/м <sup>3</sup>				
	РР	ПАС	РС	ЧГПА	ПЭ
Caustic soda / Каустическая сода	1	2	2	2	2
Modified starch / Модифицированный крахмал	14	14	14		6
Polyanionic cellulose / Полианионная целлюлоза	5	4	4		
Xanthan biopolymer / Ксантановый биополимер	3	4	4	3	4.5
Potassium chloride / Хлористый калий	60		80	130	85
Polyamine / Полиамин	13	13	13	15	
Gilsonite suspension / Гильсонитовая суспензия	10	40	40		
Nonionic copolymer of polyacrylamide / Неионогенный сополимер полиакриламида	3		14		
Marble filler / Мраморный наполнитель	330	330	330	330	300
Barite filler / Баритовый утяжелитель	Up to 1.35 g/cm <sup>3</sup> до 1.35 г/см <sup>3</sup>				
Drilled cuttings / Выбуренная порода	20	20	20	10	20
Lubricant / Смазка	25	25	25		10
Nonionic, synthetic, polymer-based clay stabilizer / Стабилизатор глин на основе неионогенного синтетического полимера				25	
Synthetic oil / Синтетическое масло					60
Emulsifier / Эмульгатор					10
Gilsonite / Гильсонит					40

просеивается через сито 325 меш. Из 20 г материала пресуется таблетка при 10 атм в течение 1.5 ч. Таблетка вставляется в ячейку и погружается в раствор. Изменение объема таблетки за счет разбухания отражается на мониторе компьютера в режиме реального времени. Результаты теста приведены на Рис. 3.

#### Тест на определение закупоривающей способности.

Для подбора оптимального состава кольматанта бурового раствора используется фильтр-пресс высокого давления и температуры. В качестве пористой среды используются керамические диски необходимой проницаемости. Прибор позволяет создать давление до 4000 psi (~280 атм) и температуру до 250°C, обеспечивая условия, близкие к пластовым.

Результаты, полученные для оптимизированного состава наполнителей, приведены в Табл. 4.

#### Выводы по проведенным исследованиям:

Результаты исследования кернового материала показывают, что данные горизонты сложены в основном пластинчатыми глинистыми минералами и на 21 % состоят из песчаника, а на долю глинистых сланцев приходится 79 %. Данные породы характеризуются высокой трещиноватостью.

MBT шламовых частиц составил 12 мэкв/100 г, что соответствует умеренной реакционной способности образца.

Набухание и диспергирование являются основными механизмами дестабилизации пород как в пресных, так и в минерализованных растворах. Результаты тестов на диспергирование и линейное набухание горной породы говорят о том, что исследуемая нами система по своим ингибирующим свойствам является одной из лучших систем на водной основе.

Как показывает анализ закупоривающей способности, рассматриваемый раствор имеет хорошие фильтрационные свойства. Данный эффект достигается связыванием водной фазы раствора неионогенным полимером и правильно подобранными микрокольматантами, создающими качественную фильтрационную корку.

### Смазочные материалы

В наше время сервисные компании предлагают водорастворимые или легко смешивающиеся с водой смазочные добав-

● Table 4. Test Results for the Sealing Capacity of the Proposed Drilling Fluid

● Таблица 4. Результаты теста на определение закупоривающей способности различных типов буровых растворов

PPA FILTRATION 5 and 50 microns used in the amount of 60% and 40% respectively PPA ФИЛЬТРАЦИЯ	Before aging Раствор до старения	After aging for 16 hr at 200°F Раствор после старения
Соотношение наполнителей на основе молотого мрамора 5 и 50 мкм 40 и 60 %		
PPA, cm <sup>3</sup> /30 min, 154 F, Δ500 psi	Spurt / Спурт = 0.5	Spurt / Спурт = 1.0
	Total / Общая = 9.3	Total / Общая = 10.5
PPA, cm <sup>3</sup> /30 min, 192 F, Δ500 psi	Spurt / Спурт = 1.0	Spurt / Спурт = 1.5
	Total / Общая = 10	Total / Общая = 12

not form an iridescent film on the surface of the water. These additives, in general terms, have a similar structure based on glycols, glycerin, or mixed-alkali oxides. The typical concentration of such additives in the mud is 2 to 10%.

During drilling of horizontal wells in the Republic of Bashkortostan, along with traditional lubricants, glass beads have been used as a lubricating additive while running the casing, which, in turn, helped reduce resistance to the casing movement. As a result of this engineering approach, all casings have been easily lowered to the design depths.

### Drilling Practices in Unstable Argillaceous Formations

To date, nine horizontal wells have been drilled in the region using the mud system described herein. The efficiency of this system, which allows for maintaining the stability of clay formations for a minimum of 35 days, has been confirmed in the field.

Given that the rock comprising the Kynovsky and Sargaevsky horizons is highly sensitive to the time factor and mechanical stress, work should begin only after attaining full confidence in the reliability of the drilling equipment and the availability of all necessary materials, thereby eliminating downtime for repairs, waiting for deliveries, etc. The risks can also be significantly mitigated by complying with the following recommendations:

- Minimize the number of washing operations in these horizons
- Minimize the number of reaming operations in these intervals
- Do not perform trajectory change operations in these intervals
- Do not use bicentric bits
- Do not start up any pumps or perform telemetry repair while in these intervals
- Do not drill into horizons susceptible to caving in cases of a loss of circulation

### Conclusion

The results of this work prove the development and successful implementation of a new mud formulation and a number of measures that enable drilling-in and maintaining intervals susceptible to caving in the Kynovsky and Sargaevsky horizons under inclination angles of approximately 90° and for an extended period of time. Ultimately, this makes construction of horizontal wells in the Devonian deposits possible. 🔴

ки, не образующие на поверхности воды радужной пленки. Эти добавки, в широком смысле, имеют сходный состав, основанный, например, на гликолях, глицерине, фосфонатах, полищелочных окислах и т. д. Типичная концентрация таких добавок в буровом растворе составляет 2-5 %.

При бурении горизонтальных скважин в республике Башкортостан наряду с традиционными смазками были использованы в качестве смазывающей добавки при спуске обсадных колонн стеклянные сферы, что позволило снизить сопротивление движению колонны. Такой подход гарантировал, что все обсадные колонны были без проблем спущены до проектных забоев.

### Практика бурения в неустойчивых глинистых породах

На момент подготовки настоящей статьи в данном регионе с использованием описанной выше системы бурового раствора пробурено девять горизонтальных скважин. В полевых условиях подтверждена эффективность данной системы, которая позволяет поддерживать устойчивость глинистых отложений в течение как минимум 35 суток.

Поскольку породы, слагающие Кыновский и Саргаевский горизонты, обладают высокой чувствительностью к временному фактору и механическому воздействию, начинать работы рекомендуется только полностью убедившись в надежности бурового оборудования, наличии всех необходимых материалов, исключив тем самым время на ремонты, ожидания и т.д. Риски могут быть существенно снижены также при соблюдении следующих рекомендаций:

- Минимизировать количество промывок в данных горизонтах.
- Минимизировать количество проработок в данных интервалах.
- В данных интервалах не проводить мероприятия по изменению траектории.
- Не применять бицентричные долота.
- Не проводить запуск насосов и ремонт телеметрии, находясь в данных интервалах.
- Не вскрывать обвалоопасные горизонты при наличии поглощений.

### Заключение

Основные результаты проведенной работы – разработана и успешно внедрена новая рецептура бурового раствора, а также введен ряд мероприятий, позволивших добиться возможности вскрытия и удержания обвалоопасных интервалов Кыновского и Саргаевского горизонтов под зенитными углами, близкими к 90° в течение длительного времени. В конечном итоге появилась возможность строительства горизонтальных скважин на Девонские отложения. 🔵