European Journal of Interdisciplinary Research and Development
Volume- 45 November- 2025
Website: www.ejird.journalspark.org ISSN (E): 2720-5746

# РАЗРАБОТКА И ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ОБЛЕГЧЕННОГО ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ СКВАЖИН В УСЛОВИЯХ АНОМАЛЬНО НИЗКИХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ

Шерали Халлокович Умедов
Доктор технических наук (DSc), профессор Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, Республика Узбекистан
e-mail: umedov.sherali@mail.ru, тел.: +998 977552158,
ORCID:https://orcid.org/0000-0002-5009-109X

Айтмуратов Шарапат Азатович
Соискатель Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, Республика Узбекистан
e-mail: komilovtolib87@yandex.ru, тел.: +998 99 0828202

Комилов Толиб Олимович
PhD по техническим наукам, доцент Ташкентского государственного технического университета имени Ислама Каримова, Республика Узбекистан
e-mail: komilovtolib87@yandex.ru, тел.: +998 99 0828202,
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3926-3292

**Аннотация**
В данной статье рассматриваются результаты разработки, лабораторных исследований и успешного промышленного внедрения, облегченного тампонажного раствора на основе ТАР-продукта и специализированного пластифицирующего химического реагента. Приведены детальные промысловые данные, полученные при цементировании обсадной колонны скважины №1 площади «Бозатау». Выполнены гидравлические, гидростатические и технологические расчеты, подтверждающие снижение репрессии на пласт до безопасных значений 4,7 МПа при сохранении необходимого времени загустевания и высоких прочностных характеристик сформированного цементного камня. Особое внимание в работе уделено всестороннему критическому анализу применения разработанного состава, включая физико-механические, реологические, логистические и коррозионные аспекты. При этом экономическая эффективность разработанной состав тампонажной смеси составляла 24,7 %. На основе проведенного анализа сформулированы практические рекомендации по минимизации выявленных рисков при строительстве скважин в сложных горно-геологических условиях с АНПД.

**Ключевые слова:** Цементирование скважин, тампонажный раствор, ТАР-продукт, пластификатор, облегченные растворы, АНПД, крепление заколонного пространства, гидростатическое давление, седиментационная устойчивость.

## Introduction

**Обзор и постановка проблемы.** Обеспечение долговечности и герметичности крепи нефтяных и газовых скважин является одной из наиболее важных и сложных задач современной нефтегазовой инженерии [1, 4]. Осложнения, возникающие при цементировании заколонного пространства-такие как поглощения тампонажного раствора, флюидопроявления, межколонные давления и каналообразование — в большинстве случаев обусловлены несоответствием гидростатического давления столба цементного раствора градиенту гидроразрыва пластов [2, 3].

Особенно остро эта проблема проявляется на месторождениях с аномально низкими пластовыми давлениями (АНПД) и истощенными продуктивными горизонтами, характерными для ряда регионов Республики Узбекистан (в частности, плато Устюрт и Бухаро-Хивинская нефтегазоносная область) [7]. Применение стандартных портландцементов с плотностью 1800-1900 кг/м$^3$ в таких условиях неизбежно приводит к тяжелым авариям, вызванным гидроразрывом пластов и гидродинамическим поглощением раствора [1, 5].

Традиционные методы облегчения тампонажных систем (введение избыточного количества воды, применение бентонитовых глин или микросфер) часто сопровождаются существенным снижением прочности цементного камня, высокой усадкой, повышением водоотдачи и расслоением раствора [2, 4]. В этой связи актуальной задачей является разработка высокоэффективных облегченных тампонажных систем на основе местного сырья и техногенных продуктов, обеспечивающих низкую плотность при сохранении плотной структуры и высокой адгезии цементного камня [1, 7].

При креплении обсадных колонн в интервалах с узким технологическим окном между давлением гидроразрыва и пластовым давлением требуется применение облегченных тампонажных растворов с плотностью 1500-1650 кг/м$^3$ [2, 5]. Однако большинство известных облегчающих добавок обладают рядом существенных недостатков.

Добавление избыточной воды затворения приводит к образованию свободной воды, седиментации твердой фазы и образованию высокопористого проницаемого камня с низкой прочностью на сжатие [2, 3]. Импортные полые стеклянные или алюмосиликатные микросферы значительно удорожают стоимость строительства скважин [4, 7]. Стандартные облегченные системы образуют слабый контакт с металлом обсадных труб и горными породами [1, 3]. Автоматизированный блендинг, проточный контроль плотности, регламентированный ввод термостабилизаторов позволяет полностью нейтрализовать выявленные недостатки и обеспечить долговечность заколонного цементного камня [1, 5].

Для решения указанных проблем сотрудниками УНПП «BURG'ICHI BIZNES» совместно со специалистами ООО «УСТЮРТСКОЕ УРБ» была поставлена задача: разработать и внедрить в промысловых условиях облегченный тампонажный раствор на основе местной добавки ТАР-продукта и специального химического реагента-пластификатора, обеспечивающий низкое водосмесевое отношение (ВСО), высокую седиментационную устойчивость и сохранение прочностных характеристик камня.

**Результаты и их обсуждения.** Сотрудниками УНПП «BURG'ICHI BIZNES» совместно с сотрудниками ООО «УСТЮРТСКОЕ УРБ» был внедрен состав тампонажного раствора на основе Тар продукта с применением местного сырья, материалов и специального химреагента, связанных с сохранением прочности цементного камня заколонного пространства, на скважине №1 площадь «Бозатау». При этом глубина скважина составляла 1600 м, глубина установки башмака от ствола ротора скважины

составляла 1596,25 м. При приготовлении тампонажного раствора на 82 тонна цемент ПЦТ добавлен 1,23 тонна специальный химреагент, 16,4 тонна ТАР продукт. Удельный вес раствора в скважине составляла 1300 кг/м$^3$, удельный вес цементного раствора составляла 1600 кг/м$^3$, при этом расчетный и фактический объём цементного раствора составляла 79,86 м$^3$, объем буферная жидкость составляла 8 м$^3$. В 07:00 ч. спускалось обсадной колонны, в 10:30 ч. началось прокачки цементного раствора, в 12:10 ч. остановилось прокачки цементного раствора. Продавки началось в 12:10 ч. и в 13:40 ч остановилось продавки. Количество агрегатов составляла SN-40 - 2ед, ЦА 340 - 1ед., цементосмеситель - 6 ед., JEREH-3ед. Используя полученные данные в ходе исследование можно вычислить следующие:

Общая масса тампонажного раствора:

$$m_{\text{т.р}} = \rho_{\text{т.р}} \cdot V_{\text{т.р}} = 1600 \cdot 79{,}86 = 127{,}78 \text{ т}.$$

Масса воды затворения:

$$m_{\text{в}} = m_{\text{т.р}} - m_{\text{ПЦТ}} - m_{\text{с.р}} - m_{\text{ТАР}} = 127{,}78 - 82 - 1{,}23 - 16{,}4 = 28{,}15 \text{ т}.$$

Водосмесевое отношение (ВСО):

$$\text{В/С} = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{ПЦТ}} + m_{\text{с.р}} + m_{\text{ТАР}}} = \frac{28{,}15}{82 + 1{,}23 + 16{,}4} = 0{,}282.$$

Фактический расход:

$$Q_{\text{п.ц}} = \frac{V_{\text{т.р}}}{t_{\text{п.ц}}} = \frac{79{,}86 \text{ м}^3}{100 \text{ мин}} = 13{,}31 \text{ л/с}.$$

С учетом разность плотностей бурового раствора и цементного раствора, гидростатический перепад составить:

$$P_{\text{гидр.}} = (\rho_{\text{т.р}} - \rho_{\text{б.р}})gH = (1600 - 1300) \cdot 9{,}81 \cdot 1596{,}25 = 4{,}7 \text{ МПа}.$$

Для полной оценки рецептуры и технологии заколонного крепи определим, гидростатическое давление на забой и критические временные интервалы.

Давление столба бурового раствора:

$$P_{\text{б.р}} = \rho_{\text{б.р}} gH = 1300 \cdot 9{,}81 \cdot 1596{,}25 = 20{,}35 \text{ МПа}.$$

Давление столба тампонажного раствора:

$$P_{\text{ц.р}} = \rho_{\text{т.р}} gH = 1600 \cdot 9{,}81 \cdot 1596{,}25 = 25{,}05 \text{ МПа}.$$

Перепад давлений:

$$P_{\text{ц.р}} - P_{\text{б.р}} = 25{,}05 - 20{,}35 = 4{,}7 \text{ МПа}.$$

Откуда можно сказать, что гидростатическое давление на пласт увеличивается на 23,1 %, после цементирование.

Для обеспечения безопасного проведения работ время начала загустевания раствора $t_{\text{з}}$ при забойной температуре должно превышать полное время цементирования с коэффициентом запаса $k_{\text{з}} = 1{,}25$:

$$t_{\text{з}} = 1{,}25\left(t_{\text{п.ц}} + t_{\text{прод.ц}}\right) = 1{,}25 \cdot 190 \text{ мин} = 237{,}5 \text{ мин} = 3{,}958 \text{ час} \approx 4 \text{ час}.$$

При этом экономическая эффективность в скважине №1 площади «Бозатау» составляла

$$\text{Э}_{\text{э}} = C_{\text{трад.}} - C_{\text{рек.}} = \sum_{i=1}^{n} M_{i.\text{трад.}} \psi_i - \sum_{j=1}^{n} M_{j.\text{рек.}} \psi_j =$$

$$= 120 \text{ т} \cdot 1\,067\,000 \text{ сум/т} - 82 \text{ т} \cdot 1\,067\,000 \text{ сум/т} -$$

$$-17{,}63 \text{ т} \cdot 500\,000 \text{ сум/т} = 31\,731\,000 \text{ сум}.$$

Экономическая эффективность разработанной состав тампонажной смеси составляла 24,7 %.

Рекомендуемый состав тампонажного раствора является облегченной. Введение 1,23 % специальный химреагент-пластификатор и 16,46 % ТАР продукта позволило

значительно снизить плотности. Низкий показатель ВСО (28,8%) при низкой плотности тампонажного раствора (1600 кг/м$^3$) подверждает, о том, что ТАР продукт является легким наполнителем, а специальный пластфикатор-химреагент эффективным платисфикатором. Это обеспечивает предотвращение седиментацию и расслоение. Расход насосов, в котором составляет 13,31 л/с, обеспечивается суммарной работой флота спецтехники (СН-40, ЦА-340, JEREH) и создает поток, достаточный для эффективного вытеснения бурового раствора.

Облегчение состава до плотности 1600 кг/м$^3$ позволяет снижение репрессию до безопасного уровня 4,7 МПа. Известно, что избыток воды в составе приведет к усадке, порообразованию и водоотделению. Снижение плотности достигнуто не за счет избытка волы, а за счет ввода твердого фазового наполнителя ТАР-продукта с низким ВСО. Это гарантирует формирование низкопроницаемого цементного камня с высокой адгезией к обсадной колонны и станкам скважины.

Данный состав тампонажного раствора рекомендуется применит в скважины глубиной до 2200 м с АНПД, имеющие неустойчивые, пористые или трещиноватые породы с низкими градиентами давление гидроразрыва. Предназначен для перекрытия интервалов, пробуренных на растворах с плотностью 1200-1350 кг/м$^3$. Оптимальный перепад плотности буровой раствор и тампонажный раствор должен находятся в диапазоне 200-350 кг/м$^3$ и это обеспечивает эффективное поршневое вытеснение бурового шлама и буферной жидкости.

**Заключение**

Промышленное внедрение разработанного облегченного тампонажного раствора с плотностью 1600 кг/м$^3$ на основе ТАР-продукта (16,46 %) и специального пластификатора (1,23 %) на скважине №1 площади «Бозатау» подтвердило его высокую технологическую эффективность при цементировании в условиях АНПД. За счет достижения низкого водосмесевого отношения равной 0,282 сформирован седиментационно-устойчивый тампонажный раствор, позволивший снизить гидростатическую репрессию на пласт до безопасного значения 4,7 МПа без разбавления системы избыточной водой. Экономическая эффективность разработанной состав тампонажной смеси составляла 24,7 %.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агзамов Ф. А., Каримов Н. Х. Технология крепления нефтяных и газовых скважин. - Уфа: Гилем, 2012. - 432 с.
2. Булатов А. И. Тампонажные материалы и технология цементирования скважин. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Недра, 1991. - 384 с.
3. Данюшевский В. С., Алиев Р. М., Толстых И. Ф. Справочное руководство по тампонажным материалам. - М.: Недра, 1987. - 373 с.
4. Nelson E. B., Guillot D. Well Cementing. - 2nd Edition. - Houston: Schlumberger, 2006. - 773 p.
5. ГОСТ 1581-2019. Портландцементы тампонажные. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2019. - 24 с.
6. ISO 10426-1:2009. Petroleum and natural gas industries - Cements and materials for well cementing - Part 1: Specification. - Geneva: ISO, 2009. - 108 p.
7. Каримов Н. Х., Рахимов А. К., Шарипов А. А. Разработка облегченных тампонажных систем для условий аномально низких пластовых давлений месторождений Узбекистана // Нефть и газ Узбекистана. - 2020. - № 3. - С. 45-51.