



**ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
СУЛЬФОНИРОВАННОЙ ХЛОПКОВОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В НРНТ-
УСЛОВИЯХ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ**

Нурмонов С.Э. ¹,

Асранова У.Х. ²

¹ Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан,

nurmonov_se@mail.ru

² Андижанский машиностроительный институт, Андижан,

Узбекистан, asranovaumida23@gmail.com

Ключевые слова: НРНТ-фильтрация, термостарение, реология, фильтрационная корка, импортозамещение, экономическая эффективность.

Введение. Для бурения глубоких (более 4500 м) высокотемпературных скважин с температурой 150–170 °С необходимы реагенты, сохраняющие реологические и фильтрационные свойства после длительного теплового воздействия [1, 2]. Традиционные целлюлозные производные (КМЦ, ПАЦ) разрушают при таких условиях, а импортные АМПС-сополимеры дороги и создают зависимость от поставок [3, 4]. Сульфонируемая хлопковая целлюлоза (SCel) является перспективной отечественной альтернативой, однако её поведение в экстремальных термобарических условиях и экономическая эффективность требуют экспериментального подтверждения [5].

Цель работы – экспериментальная оценка стабильности реологических и фильтрационных свойств буровых растворов, модифицированных SCel, в условиях высоких температур (150–170 °С) и



давления (500 psi), а также расчёт экономической эффективности применения SCell в сравнении с импортными аналогами.

Методология. Модельные буровые растворы готовили на основе 6 % бентонита Навбахорского месторождения (ГОСТ 28177–89) с добавкой 0,8 % SCell (DS = 0,42, Mw = 135 кДа). Для сравнения использовали растворы с эквивалентными дозировками ПАЦ, КМЦ и импортного AMPS-сополимера. Горячее старение проводили в герметичных стальных кюветах под давлением 3,45 МПа (500 psi) при 150 °C и 170 °C в течение 16 ч по методике API RP 13B-1 [6]. Реологические параметры (пластическая вязкость PV, динамическое напряжение сдвига YP, статическое напряжение сдвига SHC) измеряли на ротационном вискозиметре Fann 35SA. Высокотемпературную высоконапорную фильтрацию (НТНФ) проводили на фильтр-прессе при 3,45 МПа и соответствующих температурах, определяли объём фильтрата за 30 мин (VНТНФ). Морфологию фильтрационных корок изучали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) на приборе JEOL JSM-IT500. Экономический расчёт выполнен по стандартной методике технико-экономического обоснования с учётом материального баланса производства и рыночных цен на импортные аналоги [7, 8].

Результаты. После горячего старения при 150 °C раствор с SCell сохранил 80 % исходного динамического напряжения сдвига (YP = 10,2 Па из 12,8 Па), тогда как КМЦ – только 30 % (YP = 4,2 Па из 11,5 Па), а ПАЦ – 35 % (YP = 4,9 Па из 14,0 Па). При 170 °C SCell сохранил 60 % YP (7,5 Па), тогда как ПАЦ – лишь 15 % (2,1 Па). Объём НТНФ-фильтрата для раствора с SCell составил 18,5±1,0 мл при 150 °C и 25,0±1,5 мл при 170 °C. Для ПАЦ эти значения – 32,0±1,5 мл и >50 мл (неконтролируемая фильтрация), для AMPS-сополимера – 22,0±1,5 мл при 170 °C. SEM-анализ показал, что SCell формирует плотную гомогенную корку с порами



1–5 мкм, тогда как ПАЦ – рыхлую корку с порами до 20 мкм и трещинами (таблица 1).

Экономический расчёт (на 1 тонну SCell) показал, что производственная себестоимость SCell на 25–30 % ниже стоимости импортного AMPS-сополимера (таблица 2). Годовой экономический эффект от импортозамещения при объёме потребления 500 т/год составляет около 1,5–2,0 млн долл. США. Снижение затрат на буровые растворы за счёт применения SCell достигает 20–25 %.

Таблица 1. Сравнительная эффективность SCell с коммерческими реагентами в НРНТ-условиях

Показатель	КМЦ (техн.)	ПАЦ	AMPS- сополимер	SCel
Сохранение УР после 150 °С, % от исходного	30	35	—	80
ВНТНР при 150 °С, мл	40–45	32	—	18,5
ВНТНР при 170 °С, мл	не контрол.	>50	22,0	25,0
Характер фильтрационной корки (SEM)	—	рыхлая, поры до 20 мкм	—	плотная, поры 1–5 мкм
Устойчивость к Ca^{2+} (2000 мг/л)	осаждение	снижение	высокая	стабильна

Таблица 2. Сравнительная экономическая эффективность (в условных единицах на 1 т)





Показатель	Импортный AMPS-сополимер	SCel (отечественный)
Стоимость сырья	100	40–50 (за счёт местного сырья)
Производственная себестоимость	100	70–75
Транспортные и таможенные расходы	20–25	5
Цена для потребителя	100	70–80
Экономия при применении	—	20–25 % от стоимости раствора

Закключение. Сульфонирующая хлопковая целлюлоза (SCel) демонстрирует высокую термостабильность в НРНТ-условиях: сохранение 80 % УР после 150 °С и контролируемую фильтрацию ($V_{НТНР} = 25$ мл при 170 °С), что сопоставимо с импортными AMPS-сополимерами. SCel формирует плотную, низкопроницаемую фильтрационную корку, обеспечивая эффективную защиту пласта. Экономический анализ подтверждает, что себестоимость SCel на 25–30 % ниже стоимости импортных аналогов, а применение реагента снижает общие затраты на буровые растворы на 20–25 %. Разработанный реагент является конкурентоспособной отечественной альтернативой для импортозамещения в сегменте термостойких буровых реагентов для глубокого высокотемпературного бурения в Узбекистане.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Aftab A., Ismail A.R., Ibupoto Z.H. A review of water-based drilling fluids for high-temperature, high-pressure applications // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2017. – Vol. 156. – P. 718–734.
2. Patel A.D., Young S., Friedheim J. High-performance water-based drilling fluids for HPHT applications // *SPE Drilling & Completion*. – 2019. – Vol. 34, No. 2. – P. 102–115.
3. Caenn R., Darley H.C., Gray G.R. Composition and properties of drilling and completion fluids. – 7th ed. – Elsevier, 2016. – 801 p.
4. Plank J. Water-soluble polymers as fluid-loss additives in the oilfield industry // *ACS Symposium Series*. – 1992. – Vol. 396. – P. 433–490.
5. Zhang S., Wang L., Chen X. High-performance sulfonated starch and cellulose derivatives for HPHT filtration control // *Fuel*. – 2023. – Vol. 332. – Art. 126154.
6. API RP 13B-1. Standard procedures for field testing water-based drilling fluids. – Washington: American Petroleum Institute, 2019. – 132 p.
7. Montgomery D.C. Design and analysis of experiments. – 10th ed. – Hoboken: Wiley, 2019. – 688 p.
8. ГОСТ 33213–2014. Растворы буровые на водной основе. Полевые испытания. – М.: Стандартинформ, 2015. – 102 с.