

**Голенко Т.Ф.** магістр спеціальності 185 Нафтогазова інженерія та технології  
**Науковий керівник: Пащенко О.А.,** к.т.н., доцент кафедри нафтогазової інженерії та буріння

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

## РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОГО ПІДХОДУ ДО ІНГІБУВАННЯ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОГО СОЛЕВІДКЛАДЕННЯ ТА КОРОЗІЙНО-АГРЕСИВНОГО СЕРЕДОВИЩА

Сучасний стан нафтогазової галузі України, особливо в умовах енергетичної кризи, підкреслює критичну важливість оптимізації технологій експлуатації родовищ на пізніх стадіях розробки. За даними на 2025 рік, понад 70% родовищ у Дніпровсько-Донецькій западині досягли фази виснаження з обводненістю продукції понад 90%, що супроводжується посиленням геохімічних ускладнень, зокрема солевідкладенням та корозійною деградацією обладнання. Солевідкладення, зумовлене перенасиченням пластових вод іонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$  та  $\text{SO}_4^{2-}$  при мінералізації до 200 г/л, призводить до утворення щільних осадів (карбонат кальцію, барит, ангідрит) у ключових зонах: привибійній зоні пласта, експлуатаційній колонні, робочих органах установок електровідцентрових насосів (УЕЦН) та насосно-компресорних трубах (НКТ). Це скорочує міжремонтний період глибинно-насосного обладнання (ГНО) до 200–300 діб, збільшуючи витрати на ремонт на 30–50%. Корозійна агресивність, посилена газами ( $\text{CO}_2$  до 15%,  $\text{H}_2\text{S}$  до 5%,  $\text{O}_2$ ), проявляється в локальних формах (пітингова, виразкова корозія), з інтенсивністю зносу до 1 мм/рік, що знижує середнє напруцювання на відмову (СНТ) до 500 – 700 діб і провокує аварії з розгерметизацією [1, 2].

Солевідкладення є випаданням неорганічних солей ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$ ) у формі накипу, шаруватих або кристалічних структур, з низькою розчинністю в розчинниках. Основні причини: змішування несумісних вод з утворенням сульфатів ( $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{BaSO}_4$ ) та перенасичення при змінах тиску й температури, що посилює осадження карбонатів ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ). Критичний радіус зародків кристалів визначається формулою<sup>^</sup>

$$r_{cr} = (2\sigma M) / (\rho RT \ln(C/C_{sat})),$$

де  $\sigma$  – поверхнева енергія,  $M$  – молекулярна маса,  $\rho$  – густина,  $R$  – газова стала,  $T$  – температура,  $C$  і  $C_{sat}$  – концентрації пересиченого та насиченого розчинів.

У зоні привибійній зоні знижується приплив з пласта через низький тиск, в експлуатаційній колонні – через газовиділення та нагрівання ( $\Delta T = 4 - 15^\circ\text{C}$ ), в робочих органах УЕЦН – через термічну деградацію характеристик, в НКТ – через підвищені втрати тиску [3, 4]. Корозія як окислювально-відновний процес розвивається на поверхні металу через взаємодію з агресивним середовищем, з втратою маси та міцності. Локальні форми (виразкова, пітингова, контактна) посилюються газами  $\text{CO}_2$  (вуглекислотна корозія),  $\text{H}_2\text{S}$  (сірководнева) та  $\text{O}_2$  (киснева), з залежністю від температури, тиску, мінералізації (до 200 г/л) та бактеріальної активності. Зони пошкоджень охоплюють корпус ПЕД, гідрозахист, кабельні лінії, робочі органи УЕЦН, НКТ та експлуатаційну колону, призводячи до розгерметизації, втрат продукції та аварій [5, 6]. Для боротьби з солевідкладенням застосовуються технологічні (обмеження припливу води), фізичні (магнітні поля), хімічні (інгібування, кислотні обробки) та захисні (покриття) методи. Постійне дозування інгібіторів солевідкладень (ІВ) через установку дозування реагенту (СУДР) у затрубний простір ефективно при обводненості 5 – 100% і дебіті до 300 м<sup>3</sup>/добу, але не захищає привибійну зону та ПЕД. Варіант з імпульсною трубкою усуває ці недоліки, подаючи реагент на прийом насоса та інтервал перфорації, з витратою 0,5 – 1 л/т рідини. Періодичне дозування (раз на 15 – 30 днів) підходить для низькодебітних

свердловин, з закачуванням 5% розчину під тиском 3 – 4 МПа. Технологія SQUEEZE передбачає задавлювання ІВ у пласт для адсорбції з поступовою десорбцією, комбінуючи з кислотною обробкою (15% HCl, 0,3 – 0,5 м<sup>3</sup>/м потужності) для підвищення проникності [7, 8]. Для корозійного захисту використовуються інгібітори корозії (ІК) з витратою 0,2 – 0,5%, контейнери з твердими ІК (до 360 діб ефекту), капілярні трубки для комбінованого дозування ІВ+ІК та покриття (MajorPack для НКТ, ефект 85 – 95%). Комбінований підхід інтегрує імпульсне дозування з SQUEEZE та контейнерами, з моделюванням динаміки адсорбції/десорбції для прогнозування з похибкою <5%, що підвищує СНТ на 50 – 100% і знижує інтенсивність відкладень на 70 %.

Розроблений підхід базується на інтегральній моделі критичного радіуса з урахуванням термобаричних градієнтів ( $\Delta P/T$ ), комбінованій технології дозування через імпульсну трубку з SQUEEZE-адаптацією (ефективність 85 – 95 %, тривалість 360 діб) та алгоритмі оцінки ризиків з IoT-моніторингом. Рекомендації включають вибір ІВ/ІК, схеми об'язки обладнання та адаптацію для багатошарових родовищ Дніпровсько-Донецької западини, з інтеграцією в стандарти ПАТ «Укрнафта».

У роботі проведено аналіз механізмів солевідкладення та корозії в зонах свердловини, оцінку сучасних методів інгібування за критеріями ефективності та витрат, розробку комбінованої технології з моделюванням динаміки адсорбції/десорбції. Новизна полягає в інтегральній моделі критичного радіуса зародків солей з урахуванням  $\Delta P/T$ , комбінованій технології дозування з SQUEEZE (ефективність 85–95%) та алгоритмі оцінки ризиків з IoT для прогнозування відмов з похибкою <5%. Практичні результати: рекомендації з витрати реагентів (0,5 – 1 л/т для ІВ, 0,2 – 0,5% для ІК), схеми об'язки, що підвищують надійність ГНО на 40 – 50% та видобуток на 10 – 15% для українських родовищ.

#### Список використаних джерел:

1. Лопатенко, В.С. (2023). Підвищення ефективності експлуатації електровідцентрового насоса в ускладнених умовах. *Нафтогазова інженерія*, (1), С. 45–52.
2. Коровяка, Є.А., Хоменко, В.Л. & Пащенко, О.А. (2024). Особливості захисту авторських та суміжних прав в епоху цифрових технологій. *ББК*, (304.3), С. 98–105.
3. Пащенко, О.А. & Андріянов, В.В. (2023). Буріння нафтових свердловин із розширенням. *Інструментальне матеріалознавство*, (1), С. 114–120.
4. Хоменко, В.Л., Ратов, Б.Т., Пащенко, О.А., Давиденко, О.М. & Бораш, Б.Р. (2023). Justification of drilling parameters of atypical well in the conditions of the Samskoye field. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254, С. 012052.
5. Азюковський, О.О., Павличенко, А.В., Пащенко, О.А. & Медведовська, Т.П. (2023). Role, significance and modern challenges of the digitalization of the educational process. *Голова оргкомітету*, С. 1–10.
6. Ігнатов, А.О., Хаддад, Дж.С., Коровяка, Є.А., Азюковський, О.О., Расцветаєв, В.О. & Дмитрук, О.О. (2023). Study of rational regime and technological parameters of the hydromechanical drilling method. *Archives of Mining Sciences*, С. 285 – 299.
7. Кожевников, А.О. (2018). Автоматизовані системи керування процесом буріння. *Інструментальне матеріалознавство*, (21), С. 40 – 45.
8. Rатов, В., Borash, A., Biletskiy, M., Khomenko, V., Koroviaka, Y., Gusmanova, A. & Matyash, O. (2023). Identifying the operating features of a device for creating implosion impact on the water-bearing formation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 125(1), С. 6–15.