

**О. В. КУСТУРОВА, О. А. ЖУГАН, А. В. ПЕЧЕНИЖСЬКА, Д. В. МОЦАРЬ, М. О. СУГРОБОВ**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАЛІЮ ХЛОРИСТОГО НА РЕОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ БЕНТОНІТУ**

Розглянуто зміни реологічної активності бентонітової глини, які впливають на стійкість стовбура свердловин при бурінні в Мезозойських відкладах ДДз. Експериментально показано, що зміни реологічної активності глини впливають на стабільність бурового розчину. Всесвітня практика встановила високі вимоги до технологічних рідин для буріння, та обмежила використання бентоніту. Зниження концентрації бентоніту для поліпшення якості буріння, на думку авторів, негативно впливає на стійкість стінок свердловин складених теригенними відкладами Мезозою. Сучасні процеси спорудження та експлуатації свердловин в Україні відбуваються не тільки в складних гірничо-геологічних умовах, але і в часи складної економічної кризи. Дані умови сприяють розвитку науково-дослідних робіт для мінімізації витрат на приготування технологічних рідин на основі вітчизняної сировини. Технологічні рідини для буріння свердловин не повинні забруднювати навколишнє середовище і продуктивні горизонти.

**Ключові слова:** пласт, глина, реологія, мінералізація.

**Е. В. КУСТУРОВА, О. А. ЖУГАН, А. В. ПЕЧЕНЕЖСКАЯ, Д. В. МОЦАРЬ, М. О. СУГРОБОВ**

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КАЛІЮ ХЛОРИСТОГО НА РЕОЛОГІЧНУ АКТИВНІСТЬ БЕНТОНІТУ**

Рассмотрены изменения реологических активности бентонитовой глины, которые влияют на устойчивость ствола скважин при бурении в Мезозойских отложениях ДДв. Экспериментально показано, что изменения реологической активности глины влияют на стабильность бурового раствора. Мировая практика установила высокие требования к технологическим жидкостям для бурения скважин и ограничила использование бентонита. Снижение концентрации бентонита по мнению авторов, негативно влияет на устойчивость стенки скважины. Сооружение и эксплуатация скважин в Украине происходит не только в сложных горно-геологических условиях, но и во время тяжелой экономической ситуации. Данная ситуация способствует развитию научно-исследовательских работ для минимизации затрат на приготовление технологических жидкостей на основе отечественных реагентов. Технологические жидкости на основе синергетических смесей для бурения скважин не должны загрязнять окружающую среду продуктивные горизонты.

**Ключевые слова:** пласт, глина, реологія, мінералізація.

**O. V. KUSTUROVA, O. A. ZHUGAN, A. V. PECHENIZHSKA, D. V. MOT SAR, M. O. SUHROBOV**

### **RESEARCH INFLUENCE OF POTASIUM CLORIDE ON BENTONITE AKTIVITY**

Changes in the rheological activity of bentonite clay, which affects the stability of the wellbore during drilling in the Mesozoic deposits DDh, are considered. It has been experimentally shown that changes in the rheological activity of clay affect the stability of the drilling fluid. World practice has set high requirements for process fluids for drilling wells and has limited the use of bentonite. The decrease in the concentration of bentonite, according to the authors, negatively affects the stability of the well wall. Well construction and operation in Ukraine takes place not only in difficult mining and geological conditions, but also during a difficult economic situation. This situation contributes to the development of research work to minimize the cost of preparing process fluids based on domestic reagents. Process fluids based on synergistic mixtures for drilling wells should not pollute the environment productive horizons.

**Keywords:** stratum, clay, rheology, mineralization.

**Вступ.** При бурінні свердловин на нафту і газ в Мезозойських відкладах ДДз, в інтервалі встановлення проміжних колон, останнім часом практикують застосовувати бурові розчини з мінералізацією до  $50 \text{ кг/м}^3 \text{ NaCl}$  або  $\text{KCl}$ . Крім того, для економії хімічних реагентів, додавання солей можливе після проходження покладів Крейди. Отже, при проходженні прісних Юрських відкладів, складених глинами, зазвичай ускладнень не відбувається, але при входженні у Тріас при зменшенні швидкості буріння та підвищенні пластової температури до  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ , набування глин у привибійній зоні спричиняє ускладнення у вигляді звуження стовбура свердловини, що потребує додаткових проробок і підвищує ймовірність таких ускладнень як: затяжки та прихоплення бурового інструменту.

**Аналіз літератури.** Глина бентонітова – сипуча різнокольорова (в залежності від домішок) речовина з густиною  $2400\text{--}2600 \text{ кг/м}^3$  (насіпна густина  $750\text{--}900 \text{ кг/м}^3$ ). При надходженні води в глину, тверда речовина збільшується в об'ємі. Якщо концентрацію води збільшувати, то утворюється стабільна реологічно-активна суспензія. Такі властивості глини пояснюються особливостями в будові монтморилоніту який складає основу глини. Структура молекули монтморилоніту має розвинені поверхні оксидів алюмінію та кремнію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 39 % мас. та  $\text{SiO}_2$  – 47 % мас.), за рахунок рухливості цих шарів, молекула монтморилоніту має адсорбційну здатність і як наслідок гідроізоляційну властивість.

© О. В. Кустурова, О. А. Жуган, А. В. Печенижська, Д. В. Моцарь, М. О. Сугробов, 2020

**Проблема роботи** вирішується за рахунок дослідження реологічної активності бентонітової суспензії, яка впливає на забезпечення успішного проведення технологічних операцій і якість будівництва свердловин.

Монтморилоніт у складі породи має велику пористість, але низьку проникність. На границі розділу фаз «глина – фільтрат бурового розчину» відбувається адсорбційний процес, який прискорюється при підвищенні температури, що і спостерігається при бурінні.

В даній роботі досліджено вплив солей на реологічні показники бентонітової суспензії, як моделі взаємодії глинистих відкладів з фільтратом бурового розчину.

**Методика проведення експерименту.** Для експериментальних досліджень застосовували зразок бентонітової глини та досліджували його фізико-хімічні показники. Визначення виходу глинистого розчину з глинопорошку проводили згідно ГОСТ 25796.1-83 за допомогою віскозиметру ВСН-3. Це дослідження можна проводити за умови, що волога глини не перевищує 10 %, мас.

Визначення вмісту вологи зразка бентонітової глини проводили за допомогою сушильної шафи наступним чином: у фарфорові бюкси зважили наважки по 5 г бентоніту з точністю 0,0001 г та сушили впродовж 4 годин при температурі 105 °С. Перед зважуванням зразки охолоджували в ексикаторі протягом 30 хв. Середній показник вологи визначений між двома наважками склав 9,70 %, мас. та різниця між показниками не перевищила 0,02 % мас. Підготували декілька наважок бентонітової глини 20, 25, 34, 52, 86 г, які відповідають виходу глинистого розчину 20; 16; 11,8; 7,7; 4,7 м<sup>3</sup>/т з

точністю 0,1 г, та повільно додавали при перемішуванні протягом 15 хв в 400 мл дистильованої води. Розчини герметизували і витримували не менше 16 годин.

Після витримки отримані суспензії перемішували 30 хв, заливали у контейнер приладу і проводили замір кута закручування пружини при 600 об/хв.

Для кожного зразка фіксували при якій концентрації глини кут закручування буде більший 80° (табл. 1 п.4). Для визначення виходу розчину будували лінійну залежність між двома точками де знаходиться кут закручування 80° пружини приладу ВСН-3 при 600 об/хв, це точки №3–4 (11,8–7,7 м<sup>3</sup>/т з кутами 51–174° відповідно).

Для отримання точного показника в рівняння прямої замість (у) підставляли (80) та знаходили:

$$(x = (80-405)/(-30) = 10,8 \text{ м}^3/\text{т}) \text{ (рис. 1).}$$

**Результати експерименту і їх обговорення.** Відомо [1], що солі застосовуються в буровому розчині як інгібітори набухання глин, натомість мінералізовані розчини підвищують гідратацію глини, що при бурінні спричиняє рух глинистої породи в стовбур свердловини. Отже, для моделювання процесу взаємодії глинистих порід з фільтратом бурового розчину у привибійній зоні стовбуру свердловини в даному дослідженні використана бентонітова суспензія.

Концентрація бентоніту 50 кг/м<sup>3</sup>. В експерименті в розчин додавали 0,1; 0,5; 1; 5; 10 г/л КСІ та герметизували і витримували 16 годин. Після чого проводили реологічні дослідження на віскозиметрі OFITE 800 (табл. 2) [2].

Таблиця. 1. Визначення виходу глинистих суспензій

Глина бентонітова, г на 400мл Н <sub>2</sub> O/(кг/м <sup>3</sup> )	Вихід розчину, м <sup>3</sup> /т	Кут закручування при 600 об/хв (ВСН-3), град
20/(50)	20	15
25/(62,5)	16	30
34/(85)	11,8	51
52/(130)	7,7	174
86/(215)	4,7	>275

Таблиця. 2. Дослідження бентонітових суспензій

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація КСІ, кг/м <sup>3</sup>					
	0	0,1	0,5	1	5	10
600	32	34	41	47	60	43
300	28	30	33	41	45	26
200	24	27	29	37	39	22
100	21	23	24	32	32	18
60	19	21	22	30	28	16
30	16	19	20	26	25	13
6	12	13	14	19	12	6
3	11	12	13	17	9	4

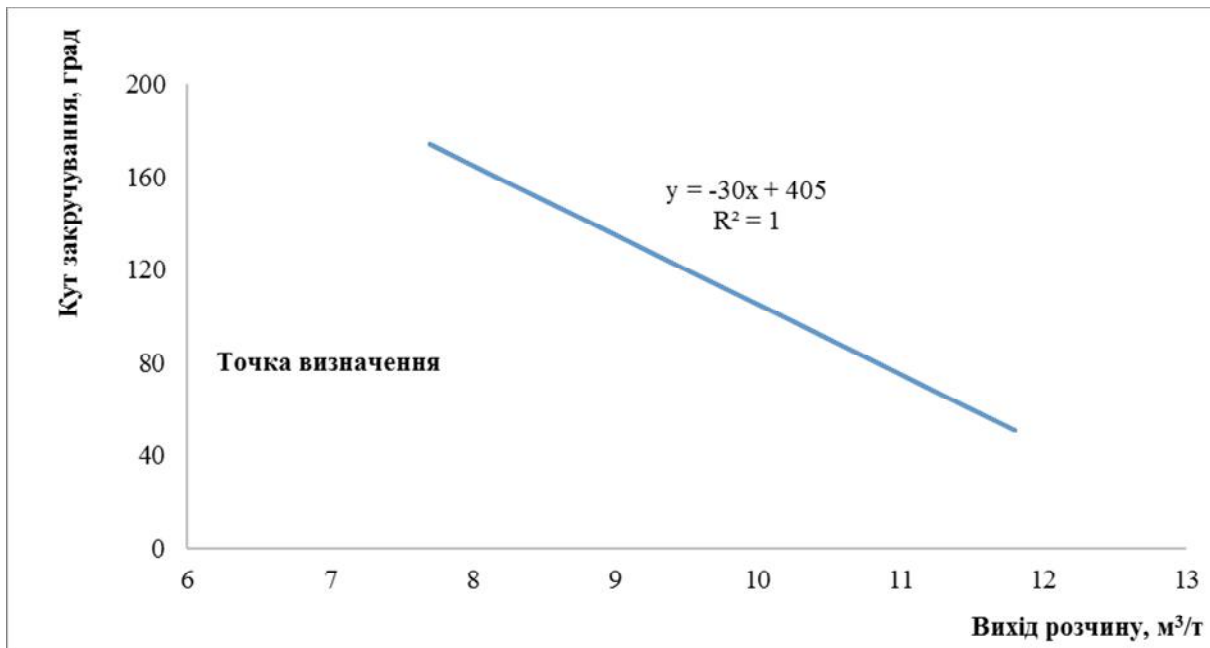


Рис. 1 – Залежність кута закручування від виходу розчину

Збільшення кута закручування відбулось при додаванні КСІ в концентрації 1 кг/м<sup>3</sup> в бентонітову суспензію та вихід розчину збільшився до 20 %, але при концентрації КСІ – 5 кг/м<sup>3</sup>, кут закручування різко знижується до параметрів вихідної глини при швидкості приладу 3 об/хв. Дані дослідження демонструють вплив КСІ на бентоніт при температурі 20 °С. Для моделювання процесу в свердловині, суспензії прогрівали при 50 °С на протязі 4 годин. Після прогрівання глинистих суспензій відбулось зменшення кута закручування при концентрації КСІ 1 кг/м<sup>3</sup>. Тобто, при збільшенні температури з 20 до 50 °С реологічна активність бентонітової суспензії сягає піку при концентрації КСІ 1 кг/м<sup>3</sup> (табл. 2, 3). Крім того, дослідження з NaCl показали (табл. 4, 5), що NaCl різко не збільшує кут закручування при 300–600 об/хв, навіть при підвищенні температури до 50 °С. А також відсутня втрата кута закручування при 3–6 об/хв в порівнянні з КСІ. Отже, при застосуванні в буровому розчині у якості мінералізатору NaCl, глиниста основа прісного пласта буде більш стабільною і прогнозованою, як і буровий розчин, в порівнянні з бентонітовою суспензією обробленою КСІ. Визначено, що взаємодія іонів калію з монтморилонітом призводить

до набухання глинистої складової і при тестуванні на приладі при 600 об/хв фіксується збільшення кута закручування приладу на 45 % (табл.3 при концентрації 5 кг/м<sup>3</sup> КСІ в бентонітовій суспензії), а після прогріву, при 3 об/хв відбувається зниження кута закручування приладу на 70 % (табл.3 при концентрації 10 кг/м<sup>3</sup> КСІ в бентонітовій суспензії). Збільшення кута закручування приладу яке фіксується при 600 об/хв, на практиці погіршує прокачку бурового розчину та видалення колоїдної фази з бурового розчину. Різке зниження кута закручування при 3 об/хв демонструє нам, що підвищується швидкість переходу глини з пласта в буровий розчин і створюється розуцільнене середовище стовбуру свердловини, що і спостерігається при бурінні свердловин.

Для сповільнення процесу розуцільнення стовбуру свердловини необхідно підвищити непроникуваність глини за рахунок гідрофобізації. Тому, в експерименті, у глинисті суспензії оброблені КСІ додавали 0,01 %, мас. змащувальної домішки на основі маслорозчинних поверхнево-активних речовин (табл. 6, 7). Поверхнево-активні речовини знижують вихідні реологічні показники суспензії бентонітової глини (табл. 6).

Таблиця. 3. Дослідження бентонітових суспензій після прогріву

Швидкість ОФІТЕ об/хв	Концентрація КСІ, кг/м <sup>3</sup>					
	0	0,1	0,5	1	5	10
800	Кут закручування, град					
600	30	33	38	44	39	31
300	24	29	32	39	35	24
200	22	26	29	37	32	21
100	18	24	27	34	29	18
60	17	22	23	31	27	16
30	15	20	21	28	25	15
6	11	14	17	21	8	4
3	10	13	15	18	6	3

Таблиця 4. Дослідження бентонітових суспензій

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація NaCl, кг/м <sup>3</sup>					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	35	35	36	36	36	40
300	26	26	27	27	28	31
200	23	23	24	24	25	28
100	18	19	19	19	21	24
60	16	17	17	17	19	22
30	14	14	14	15	17	20
6	10	10	10	11	13	15
3	9	9	9	10	11	14

Таблиця 5. Дослідження бентонітових суспензій після прогріву

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація NaCl, кг/м <sup>3</sup>					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	37	36	37	37	39	39
300	28	27	28	28	30	30
200	24	24	25	25	27	28
100	19	19	19	19	21	22
60	18	18	18	18	20	21
30	16	16	16	16	18	19
6	11	11	11	11	13	15
3	10	10	10	10	11	13

Таблиця 6. Дослідження бентонітових суспензій з гідрофобізатором

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація KCl, кг/м <sup>3</sup>					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	29	29	34	39	65	41
300	21	21	25	30	58	34
200	17	17	22	27	54	29
100	13	13	18	24	48	26
60	11	11	16	23	44	24
30	9	9	15	22	40	22
6	7	8	13	19	34	8
3	3	7	12	18	15	5

Таблиця 7. Дослідження бентонітових суспензій з гідрофобізатором після прогріву

Швидкість OFITE 800, об/хв	Концентрація KCl, кг/м <sup>3</sup>					
	0	0,1	0,5	1	5	10
	Кут закручування, град					
600	31	31	34	35	56	36
300	24	24	28	30	54	32
200	20	20	24	29	51	29
100	16	17	21	27	43	25
60	14	15	20	26	40	23
30	12	13	19	25	35	21
6	9	10	17	23	11	7
3	8	9	16	22	9	4

При збільшенні іонів калію в бентонітовій суспензії за рахунок додавання KCl в кількості 5 кг/м<sup>3</sup> її реологічні показники підвищуються. Тобто, покращується стабільність стовбура свердловини. Майже аналогічні результати з KCl та гідрофобізатором отримали після прогріву (табл. 7). Як видно, різкої зміни реологічної активності бентоніту не відбулось.

Нагадаємо, що після прогрівання глинистих суспензій відбулось збільшення кута закручування приладу при концентрації KCl 1 кг/м<sup>3</sup> (табл. 3), а при додаванні гідрофобізатору збільшення значення кута закручування при концентрації KCl 1 кг/м<sup>3</sup> нижчі. Тобто, при додаванні гідрофобізатору реологічна активність починає знижуватись при більших концентраціях KCl. Цей факт також вказує на

покращення стабільності стовбура свердловини та системи глинистого бурового розчину.

Отже, необхідно зазначити, що маслорозчинні поверхнево-активні речовини зменшують кут закручування приладу вихідної глини, зменшуючи її реологічну активність на поверхні, що сприяє введенню додаткових хімічних реагентів в буровий розчин. Вуглеводні речовини у невеликих концентраціях сприяють стабільності системи свердловина-розчин. Одним із відомих, широкоживаних в бурінні реагентів такого типу є крохмаль, який виробляється в Україні і є нетоксичними [2–5].

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** За результатами лабораторних досліджень можна сказати, що невеликі концентрації солей, які використовують в бурових розчинах при бурінні інтервалів Мезозойських відкладів підвищують реологічну активність глини, що впливає як на стабільність стовбура свердловини, так і на стабільність бурового розчину.

#### Список літератури

1. Токунов В.И. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин / В.И. Токунов, А.З. Саушин. – М. : Недра, 2004. – 711 с.
2. Поп Г.С. Глушение скважин с предварительным блокированием продуктивных пластов дисперсными системами / Г.С. Поп, А.В. Бачериков. – М. : ВНИИЭгазпром, 1992. – 30 с.
3. Бухкало С.И. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (тестові завдання): Підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 412 с.

4. Товажнянский Л.Л., Кошелева М.К., Бухкало С.И. Общая химическая технология в примерах, задачах, лабораторных работах и тестах: Учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 447 с.
5. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Buhkalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.

#### References (transliterated)

1. Tokunov V.I. Tehnologicheskie zhidkosti i sostavi dla povishenia productivnosti nefteanih i gazovih skvazhin [Technological fluids and mixes increase yield of oil and gas wells] / V.I. Tokunov, A.Z. Saushin. – Moscow. : Nedra, 2004. – 711 p.
2. Pop G.S. Glushenie skvazhin s predvaritel'nim blokirovaniem productivnih plastov dispersnimi sistemami [Kill wells with defensive productive layers by dispersive fluids] / G. S. Pop, F.V. Bacherikov. – Moscow. : VNIIGazprom, 1992. – 30 p.
3. Bukhhalo S.I. Zahalna tekhnolohiia kharchovoi promyslovosti u prykladakh i zadachakh (testovi zavdannia): Pidruchnyk. – K.: TsNL, 2014. – 412 p.
4. Tovazhnyanskiy L.L., Kosheleva M.K., Bukhhalo S.I. Obshchaia khymicheskaiia tekhnolohiia v prymerakh, zadachakh, laboratornykh rabotakh y testakh: Ucheb. posobyie. – M.: INFRA-M, 2015. – 447 p.
5. Tovazhnyansky L.L., Meshalkin V.P., Kapustenko P.O., Buhkalo S.I. Energy efficiency of complex technologies of phosphogypsum conversion. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. Vol. 47, No. 3, (2013), pp. 225–230.

Надійшла (received) 20.02.20

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Кустурова Олена Валеріївна (Кустурова Елена Валериевна, Kusturova Olena Valerivna)** – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: kusturova.elena@ndigas.com.ua

**Жуган Оскар Анатолійович (Жуган Оскар Анатольевич, Zhugan Oskar Anatoliovich)** – старший науковий співробітник відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: zhugan.oskar@ndigas.com.ua

**Печеніжська Аліна Вікторівна (Печенежская Алина Викторовна, Pechenizhska Alina Victorivna)** – молодший науковий співробітник відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: pechenezskaya@gmail.com

**Моцарь Дмитро Володимирович (Моцарь Дмитрий Владимирович, Motsar Dmytro Volodymyrovych)** – провідний інженер відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна; e-mail: dmytro.motsar@ndigas.com.ua

**Сугрובов Максим Олегович (Сугрובов Максим Олегович, Suhrovov Maksim Olegovich)** – інженер відділу техніки та технології буріння Українського науково-дослідного інституту природних газів «УкрНДІгаз»; м. Харків, Україна;

e-mail: sugrovov.maks@ndigas.com.ua