УДК 622.279
DOI: 10.31471/1993-9973-2023-3(88)-42-48

ВИЗНАЧЕННЯ ПІНОУТВОРЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН МЕТОДОМ РОСС-МАЙЛСА

М. О. Псюк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (0342) 727141,
e-mail: v n g @ n u n g . e d u . u a , p s m 1 9 7 4 o r @ g m a i l . c o m

Охарактеризовано наслідки, до яких може призвести обводнення газових і газоконденсатних свердловин. Обгрунтовано необхідність інтенсифікації винесення рідини з вибоїв свердловин на поверхню. Наведено коротку характеристику методів запобігання надходженню води на вибій свердловини. Наведено основні недоліки ізоляції газових свердловин. Наведено характеристику методів вилучення води із вибоїв газових свердловин. Перераховано переваги методу інтенсифікації винесення рідини з вибоїв газових свердловин на поверхню за допомогою спінюючих поверхнево-активних речовин і обгрунтовано доцільність його застосування. Розглянуто основні способи введення у свердловину спінюючих поверхнево-активних речовин. Охарактеризовано основні методи визначення піноутворювальних характеристик (спінюваності) поверхнево-активних речовин. Детально розглянуто суть методу Росс-Майлса і принципову схему приладу Росс-Майлса. Перераховано основні переваги методу Росс-Майлса. Наведено технічні характеристики приладу Росс-Майлса. Детально описано порядок проведення лабораторних досліджень методом Росс-Майлса. Наведено результати лабораторних досліджень з визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів поверхнево-активних речовин за методом Росс-Майлса в дистильованій та мінералізованій воді за температур 20 ± 2 °С і 50 ± 2 °С. За результатами проведених лабораторних досліджень поверхнево-активну речовину з найбільшим значенням піноутворювальної здатності (спінюваності) рекомендовано використовувати для інтенсифікації винесення рідини із вибоїв газових свердловин. В результаті цього очікуваний приріст дебіту газової свердловини становить 10 – 15 %. Наведено рекомендації до варіантів введення спінюючих поверхнево-активних речовин у газові свердловини.

Ключові слова: свердловина, вода, газ, обводнення, піна, дебіт газу, поверхнево-активні речовини, піноутворення, інтенсифікація. кратність та стійкість піни, вибій свердловини.

The consequences of water intrusion into gas and gas condensate wells are characterised. The need to intensify the removal of fluids from the bottom of the well to the surface is justified. Methods of preventing water ingress to the bottom of the well are briefly described. The main disadvantages of gas well isolation are considered. The characteristics of the methods of removing water from gas wells are given. The advantages of the method of intensifying the removal of liquid from the bottom of gas wells to the surface by means of foaming surfactants are enumerated and the expediency of its use is substantiated. The main methods of pumping foaming surfactants into the well are considered. The main methods of determining the foaming characteristics of surfactants are characterised. The essence of the Ross-Miles method and the principle scheme of the Ross-Miles device are considered in detail, and the main advantages of the Ross-Miles method in comparison with other methods are enumerated. The technical characteristics of the Ross-Miles apparatus are given. The procedure for carrying out laboratory tests using the Ross-Miles method is described in detail. The results of laboratory studies on the determination of the foaming ability of surfactant solutions in distilled and mineralised water at temperatures of 20 ± 2 °C and 50 ± 2 °C by the Ross-Miles method are given. Based on the results of laboratory tests, it is recommended that the surfactant with the highest foaming ability be used to intensify the removal of liquid from gas wells. As a result, the expected increase in gas well flow rate is 10-15 %. Recommendations for pumping foaming surfactants into gas wells are given.

Key words: well, water, gas, water encroachment, foam, gas flow rate, surfactants, foaming, intensification, multiplicity and stability of foam, well bottom.

Вступ

Одним із найбільш серйозних ускладнень під час експлуатації газових і газоконденсатних свердловин є їх обводнення. Обводнення свердловин найбільше проявляється на пізній (завершальній) стадії розробки газових і газоконденсатних родовищ України. Для завершальної стадії розробки газових (газоконденсатних) родовищ є характерним те, що на вибої газової свердловини поступово скупчується рідина, яка надходить з пласта. Наслідком цього є зниження дебітів газу та, іноді, самоглушіння газової свердловини накопиченою водою.

Методи боротьби з обводненням газових свердловин поділяють на методи запобігання надходженню води на вибій свердловини

(методи, що обмежують приплив води у свердловину) і методи вилучення води із вибою свердловини [1–2].

До методів запобігання надходженню води на вибій свердловини (обмеження припливу води) належать ізолювання свердловини від надходження пластових вод (ізоляція обводнених пропластків цементними розчинами, смолами, полімерами, піною та іншими матеріалами; установлення горизонтальних екранів у свердловині при конусоутворенні вод та інші) та експлуатація свердловин із заниженими дебітами газу, що виключає надходження пластової води на вибій.

Основним недоліком ізоляції свердловини є те, що при ізолюванні в газових свердловинах обводнених пропластків виключається можливість регулювання просування в поклад пластової води і видобування защемленого газу з обводнених зон. В умовах тонкошарової будови пластів ізоляційні роботи можуть призвести до від'єднання частини газонасиченої товщини продуктивного розрізу. Обводнені пропластки досить часто є також основними каналами надходження газу в свердловину. Тому їх ізолювання призводить до зменшення дебітів газу.

Способи вилучення води із газових (газоконденсатних) свердловин поділяють на газогідродинамічні, механізовані та фізико-хімічні [3–6].

Газогідродинамічні методи вилучення води із свердловин ґрунтуються на підтримуванні у стовбурі свердловини такої швидкості руху газу, при якій рідина виноситься його потоком. Неперервне вилучення рідини з вибою має місце при швидкостях руху газу, що становлять більше 5 м/с в колонах насосно-компресорних труб (НКТ) діаметром 63–76 мм [4]. До газогідродинамічних методів вилучення води відносяться вибір раціональної конструкції колони НКТ (діаметра і глибини спуску); періодичні продування свердловин в атмосферу по факельній лінії та обладнання колони ліфтових труб вибійним і ліфтовими диспергаторами з метою створення однорідного високодисперсного газорідинного потоку за рахунок механічного і акустичного диспергування рідини (за рахунок зниження втрат тиску в стовбурі свердловини шляхом створення в ліфтових трубах однорідної структури газорідинного потоку). Найбільш поширеним у промисловій практиці з цих методів є періодичні продування свердловин.

Механізовані методи полягають у відкачуванні рідини з газових свердловин глибинними насосами. Застосування глибинних насосів для вилучення води із газових свердловин є доцільним на пізній стадії експлуатації газового покладу при значних об'ємах води, що надходить, і у випадку, якщо ізолювання джерел обводнення з певних причин не має сенсу (економічно невигідна) чи неможлива. Проте, цей спосіб вилучення води із свердловин застосовується рідко з причини складності обладнання та його недовговічності в корозійно-агресивному середовищі.

Фізико-хімічні способи вилучення води ґрунтуються на штучному продовженні періоду природного фонтанування свердловини за рахунок дії на газорідинний потік у ліфтових трубах фізичними полями, запомповування у свердловину спінюючих поверхнево-активних речовин (ПАР) та різних хімреагентів, які взаємодіють між собою або з пластовою водою. До даної групи належать такі способи винесення рідини з вибоїв газових свердловин: диспергування рідини шляхом дії на газорідинний потік фізичними полями (наприклад, магнітним), яке призводить до зменшення поверхневого натягу рідини на межі з газом; електроліз води на вибої свердловини за допомогою спеціальних вибійних пристроїв, що супроводжується виділенням газу; періодичне чи безперервне подавання твердих або рідких спінюючих ПАР у затрубний простір свердловини чи в НКТ та інші.

Найбільш розповсюдженим у промисловій практиці з-поміж фізико-хімічних методів вилучення води є подавання в свердловину спінюючих ПАР у рідкому вигляді. Суть цього способу полягає в тому, що при запомповуванні водного розчину ПАР у свердловину розчиненні його в пластовій воді та проходженні через нього газу, утворюється піна. Оскільки густина піни значно менша від густини води, то вона виноситься потоком газу при низьких швидкостях – 0,1–0,2 м/с [4], що майжев 50 разів менша, ніж для води.

В газовидобувній промисловості для вилучення води із свердловин найчастіше використовуються такі ПАР, як савенол SWP, савенол NWP, превоцел, сульфанол, препарат ОС-20, Сольпен, дисольван, натрієві солі сульфокислот, циклімід, синтанол ДС-10, синтанол АЛМ-2, синтанол ACSE-12, піноутворювач "СОФІР", барватекс-5, "ТЕАС-М", Блок-84, піноутворювачі ПО-1, ПО-3А; барвамід 2К, неонол АФ-09-10, неонол АФ-09-12, олеокс-5, ПКД-515, "Сонбур-1101", "ТЕАС-М", синтамід-5К та інші. На практиці при обробленнях свердловин, як правило, використовують водні розчини ПАР із масовою концентрацією від 5 до 30 % [4]. Запомповують ПАР у газові свердл-

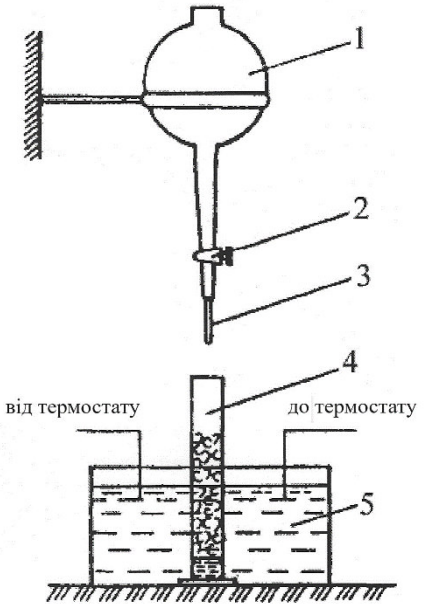
ловини за допомогою насосних агрегатів, інгібіторопроводів (централізоване подавання ПАР у свердловини) і за допомогою пригирлових дозуючих пристроїв типу "Лотос" [2,4]. Пневматичні комплекси "Лотос" забезпечують циклічне подавання фіксованих об'ємів розчину ПАР у затрубний простір свердловини за заданою програмою або при збільшенні різниці між тисками в затрубному просторі і в колекторі чи зменшенні дебіту газу (перепаду тиску в штуцері на викиді фонтанної арматури) внаслідок нагромадження рідини на вибію свердловини більше заданої величини. Розчинником ПАР у пригирлових дозаторах є технічна або пластова вода, яку виділяють з газорідинного потоку за допомогою сепаратора, розміщеного біля свердловини (на установці підготовки). Пневматичні дозуючі комплекси "Лотос" зазвичай використовуються, якщо відсутні інгібіторопроводи.

Мета роботи полягає у визначенні піноутворювальних характеристик ПАР методом Росс-Майлса і у виборі найефективніших ПАР для винесення води із вибоїв газових свердловин.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій

Фактично до цього часу відсутня універсальна уніфікована методика оцінки піноутворюючих властивостей ПАР, ще не розроблені стандартизовані методики оцінки піноутворюючої здатності ПАР і нема універсального методу її визначення.До певної міри показником активності ПАР є її гідрофільно-ліпофільний баланс (ГЛБ). [4]. Максимальною піноутворюючою властивістю характеризуються ПАР з ГЛБ 9-15 умовних одиниць. Основним і дуже вагомим недоліком системи ГЛБ є те, що вона є трудомісткою і недостатньо надійною у визначенні і не дає змогу здійснювати кількісні розрахунки. І, як наслідок наведеного вище, система ГЛБ для оцінки активності ПАР майже не використовується. Тому на практиці тип ПАР і їх оптимальну концентрацію у спінюваній рідині (для вибору найбільш ефективних ПАР для інтенсифікації винесення води із вибоїв газових (газоконденсатних свердловин) визначають за даними лабораторних досліджень, в яких визначають піноутворювальну здатність, тобто кратність піни К (відношення об'єму піни до об'єму рідини, з якої вона утворилася), її стійкість S (величина, зворотна об'ємній швидкості виділення 50 % рідини, пов'язаної в піну) і швидкість руйнування піни [4, 7–9]. Для визначення наведених вище піноутворювальних характеристик ПАР у лабораторіях використовують різні методи, зокрема: метод відповідний ГОСТ 6948-70 (згідно з цим методом піну готують шляхом продування повітрям і визначають стійкість та кратність піни), метод Росс-Майлса (цей метод затверджений Міжнародною організацією із стандартизації (ІСО)) та інші. Ці методи описані в [10–13]. В методі згідно з ГОСТ 6948-70 різними лабораторіями, науково-дослідними інститутами, науковцями використовуються різні лабораторні установки. Схема однієї з використовуваних лабораторних установок наведена в [10]. Згідно з методом Росс-Майлса піну готують способом виливання, виливаючи 200 мл розчину ПАР в дистильованій та мінералізованій воді на поверхню того ж розчину (50 мл) через калібрований капіляр діаметром 1,9 ± 0,02 мм з висоти 450 мм. Потім вимірюють в термостатованих умовах (при температурах 20 ± 2 ^{O}C і 50 ± 2 ^{O}C) висоту стовпа отриманої, таким чином піни (в мм) зразу ж після виливання (H_0) і через 3, 5 і 10 хвилин (H_3, H_5 і H_{10}). Стійкість піни S визначають як відношення: $S = H_5 / H_0$. В [14–16] наведено схему приладу Росс-Майлса і детально описано метод Росс-Майлса(порядок проведення лабораторних досліджень).

Принципова схема приладу Росс-Майлса (ТУ 4321-001-07609129-00) показана на рис. 1. Лійка 1 зафіксована таким чином, що відстань між нижнім зрізом трубки 3 і вихідною поверхнею розчину в мірному циліндрі 4 дорівнює



1 – лійка; 2 – кран; 3 – трубка (піпетка); 4 – мірний циліндр; 5 – ємність

Рисунок 1 – Принципова схема приладу Росс-Майлса

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

450 мм. Мірний циліндр розміщений у водяній бані (водяній сорочці) з двома виводами для з'єднання з термостатом. Внутрішній діаметр циліндра становить 65 мм. Калібрована трубка довжиною 70 мм виконана з нержавіючої сталі, її внутрішній діаметр дорівнює 1,9 ± 0,02 мм. Ємність 5, що виготовлена із прозорого матеріалу, призначена для термостатування мірного циліндру і його вмісту прокачуванням термостатуючої рідини. Прилад закріплюють на штативі.

У мірний циліндр 4, в якому міститься спочатку 50 мл розчину ПАР, з лійки 1 через трубку 3 виливають 200 мл того ж розчину. По закінченні витікання одночасно із закриттям крану 2 вмикають секундомір і вимірюють висоту стовпа піни в мірному циліндрі зразу після виливання (піноутворююча здатність) і через 3, 5, 10 хв після закінчення піноутворення (для визначення стійкості піни).

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Для оцінки піноутворювальної здатності ПАР зазвичай використовується метод, що відповідає ГОСТ 6948-70 приготування піни здійснюють продуванням повітрям і визначають стійкість та кратність піни). Для цього методу необхідні досить складні лабораторні установки. Метод є досить трудомістким і вимагає значних затрат часу. Метод Росс-Майлса є більш простим у виконанні і менш часозатратним.

Постановка задачі

Основною метою статті є визначення піноутворювальних характеристик ПАР методом Росс-Майлса, тобто у вимірюванні висоти стовпа піни в мірному циліндрі одразу після виливання (що відповідає піноутворюючій здатності) і через 3, 5, 10 хв після закінчення піноутворення (стійкість піни $S = H_5 / H_0$).

Висвітлення основного матеріалу дослідження

Метод Росс-Майлса застосовується для визначення піноутворювальних характеристик ПАР та мийних засобів (згідно з ДСТУ ISO 696:2005). Для реалізації методу використовують прилад Росс-Майлса. У табл. 1 наведено технічні характеристики приладу Росс-Майлса.

Крім приладу Росс-Майлса в лабораторіях іноді використовується аналог приладу Росс-Майлса (об'єм 200 $см^3$) – ділильна лійка [17]. У ділильну лійку об'ємом 200 $см^3$ наливають розчин ПАР та закріплюють її на лабораторному штативі таким чином, щоб її вихідний отвір

Таблиця 1 – Технічні характеристики приладу Росс-Майлса

Технічні характеристики	Числове значення (діапазон вимірювання)
Діапазон вимірювання висоти стовпа піни, мм	Від 0 до 920
Ціна поділки шкали, мм	2
Границя допустимої похибки, мм	± 2
Габаритні розміри, мм	400 × 310 × 1630

ділильної лійки знаходився на відстані 900 мм від рівня рідини у циліндрі. Забезпечують потрапляння струменя розчину ПАР у центральну частину лабораторного циліндра. Відкривають кран ділильної лійки, включають секундомір та вимірюють висоту стовпчика піни у мм (H_0). Через 5 хвилин знову вимірюють висоту стовпчика піни у мм (H_5). Відношення одержаних результатів – це показник стійкості піни $S=H_5 /H_0$. По кожному досліджуваному розчину проводять не менше 5-7 вимірювань та оцінюють достовірність результатів шляхом математичної статистичної обробки.

У лабораторії експлуатації газових і газоконденсатних свердловин та підвищення газоконденсатовилучення із пластів (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу) були проведені лабораторні дослідження з визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) ПАР методом Росс-Майлса.Лабораторні дослідження проводились з розчинами ПАР вдистильованійта мінералізованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанолАЛМ-2)за температур $20 \pm 2\ ^{O}C$ і $50 \pm 2\ ^{O}C$. Мінералізовану воду готували шляхом розчинення солі NaCl у воді (вміст NaCl 100 г/л) або використовувались проби (зразки) пластової води, відібраної із свердловин.

Результати лабораторних досліджень з визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів ПАР у дистильованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса (при концентраціях 0,1 % мас.,0,25 % мас. і 0,5 % мас.) за температури $20 \pm 2\ ^{O}C$ наведені в табл. 2.

Результати лабораторних досліджень з визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів ПАР у дистильованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса (при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас.) за температури $50 \pm 2\ ^{O}C$ наведені в табл. 3.

Таблиця 2 – Результати лабораторних досліджень із визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів ПАР у дистильованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса (при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас.) за температури 20 ± 2 °С

Висота стовпа піни, мм	ПАР, концентрація, в % мас.											
	барватекс-5			сульфанол			циклімід			синтанол АЛМ-2		
	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5
H_0	179	181	219	322	357	385	251	270	284	214	233	251
H_3	145	163	184	253	289	314	208	235	254	180	197	210
H_5	152	168	177	227	258	290	193	204	219	162	184	193
H_{10}	121	136	154	210	242	269	182	196	207	145	157	169

Таблиця 3 – Результати лабораторних досліджень із визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів ПАР у дистильованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса (при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас.) за температури 50 ± 2 °С

Висота стовпа піни, мм	ПАР, концентрація, в % мас.											
	барватекс-5			сульфанол			циклімід			синтанол АЛМ-2		
	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5
H_0	215	223	234	356	391	421	284	305	322	247	268	289
H_3	181	199	220	288	325	348	249	276	287	209	223	231
H_5	173	188	197	262	297	324	238	251	261	194	207	219
H_{10}	162	170	182	245	276	298	220	232	243	182	198	204

Таблиця 4 – Результати лабораторних досліджень із визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів ПАР у мінералізованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса за температури 20 ± 2 °С

Висота стовпа піни, мм	ПАР, концентрація, в % мас.											
	барватекс-5			сульфанол			циклімід			синтанол АЛМ-2		
	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5
H_0	130	152	170	271	298	324	204	219	235	165	184	204
H_3	97	115	134	219	247	286	157	183	201	129	146	160
H_5	84	97	115	206	236	258	144	156	167	114	133	145
H_{10}	71	83	100	189	220	241	132	147	153	95	105	118

Таблиця 5 – Результати лабораторних досліджень із визначення піноутворювальної здатності (спінюваності) розчинів ПАР у мінералізованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса за температури 50 ± 2 °С

Висота стовпа піни, мм	ПАР, концентрація, в % мас.											
	барватекс-5			сульфанол			циклімід			синтанол АЛМ-2		
	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5	0,1	0,25	0,5
H_0	163	182	201	304	330	358	236	249	264	194	216	238
H_3	125	143	162	252	276	302	185	203	215	156	174	191
H_5	98	117	139	245	264	274	172	182	193	144	161	175
H_{10}	76	95	114	238	247	251	161	170	181	127	142	154

Результати лабораторних досліджень з визначення спінюваності розчинів ПАР у мінералізованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2)за методом Росс-Майлса (при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас.) за температури 20 ± 2 °С наведено в табл. 4.

Результати лабораторних досліджень з визначення спінюваності розчинів ПАР у мінералізованій воді (барватекс-5, сульфанол, циклімід і синтанол АЛМ-2) методом Росс-Майлса (при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас.) за температури 50 ± 2 °С наведено в табл. 5.

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

Результати лабораторних досліджень свідчать про те, що найкраща піноутворювальна здатність (спінюваність) відповідає сульфанолу. Зокрема, висота стовпа піни для сульфазолу у мінералізованій воді зразу після виливання H_0 за температури 50 ± 2 ^{O}C за концентрацій 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас. становить відповідно 304 мм, 330 мм і 358 мм. Висота стовпа піни для сульфазолу у мінералізованій воді одразу після виливання H_0 за температури 20 ± 2 ^{O}C при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас. становить відповідно 271 мм, 298 мм і 324 мм.

Отже, найкраща піноутворювальна здатність (спінюваність) з досліджуваних ПАР у сульфанолу. Зокрема, висота стовпа піни для сульфазолу у мінералізованій воді одразу після виливання H_0 за температури 50 ± 2 ^{O}C і концентрацій 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас. становить відповідно 304 мм, 330 мм і 358 мм. Висота стовпа піни для сульфазолу у мінералізованій воді одразу після виливання H_0 за температури 20± 2^{O}C при концентраціях 0,1 % мас., 0,25 % мас. і 0,5 % мас. становить відповідно 271 мм, 298 мм і 324 мм.

Висновки

З результатів лабораторних досліджень випливає, що найкращою піноутворювальною здатністю (спінюваністю) з-поміж досліджуваних ПАР характеризується хімічний реагент сульфанол. Отже, для боротьби зі скупченням рідини на вибоях газових і газоконденсатних свердловин рекомендуємо використовувати саме цей хімічний реагент. Приріст дебіту газової свердловини в результаті застосування поверхнево-активної речовини сульфанолу з метою інтенсифікації винесення води із вибоїв газових свердловин становить 10 – 15 %. Подавати водний розчин ПАР сульфанолу у свердловини можна, як вже було наведено вище, за допомогою інгібіторопроводів, насосних агрегатів і пригирлових дозуючих пристроїв типу “Лотос”.

Література

1. Бойко В.С., Бойко Р.В., Кеба Л.М., Семінський О.В. Обводнення газових і нафтових свердловин. Том 3. Особливості експлуатації свердловин. Книга 2; За редакцією В.С. Бойка. Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2011. 679 с.

2. Акульшин О.І., Акульшин О.О., Бойко В.С., Дорошенко В.М., Зарубін Ю.О. Технологія видобування, зберігання і транспортування нафти і газу: навчальний посібник. Івано-Франківськ: Факел, 2003. 434 с. ISBN 5–11–00081–3.

3. Бойко В.С., Бойко Р.В., Кеба Л.М., Семінський О.В. Обводнення газових і нафтових свердловин. Том 3. Особливості експлуатації свердловин. Книга 1. Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2011. 713 с.

4. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. докторів технічних наук В. С. Бойка, Р. М. Кондрата, Р. С. Яремійчука. К.: Львів, 1996. 620 с. ISBN 5-335–01293–5.

5. Кондрат Р. М., Матіїшин Л. І. Вибір технологічного режиму роботи обводнених газових і газоконденсатних свердловин під час введення у НКТ твердих піноутворювальних ПАР. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2022. № 4(85). С. 62-70. https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-4(85)-62-70.

6. Кондрат Р.М., Матіїшин Л.І. Аналіз умов стабільної роботи обводнених газових і газоконденсатних свердловин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2023. № 1(86). С. 46-53. https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-1(86)-46-53.

7. Бойко В.С., Франчук І.А., Іванов С.І., Бойко Р.В. Експлуатація свердловин у нестійких колекторах: Монографія. Київ, 2004. 400 с. ISBN 966-694-012-4.

8. Амиян В.А., Амиян А.В., Казакевич Л.В., Бекиш Е. Н. Применение пенных систем в нефтегазодобыче: Учебное пособие [Текст]. М.: Недра, 1987. 229 с.

9. Джеймс Ли, Генри В. Никенс, Майкл Уэллс. Эксплуатация обводняющихся газовых скважин. Технологические решения по удалению жидкости из скважин / Пер. с англ. М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2008. 384 с.

10. Кондрат О.Р., Петрущак С.М. Лабораторні дослідження з винесення рідини із газових і газоконденсатних свердловин за допомогою твердих поверхнево-активних речовин. *Розвідката розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 3(64). С. 76 – 83.

11. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Технологія виробництва мила та миючих засобів” для студентів IV курсу напряму 6.051701 “Харчові технології та інженерія” та студентів V курсу спеціальності 7,8.05170102 “Технології жирів і жирозамінників”. / Укл.: М.Я. Кузьменко, Л.Л. Руднєва, А.В. Кобзар. Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2013. 41 с.

12. ГОСТ 22567.1-77 (СТ СЭВ 4155 – 83). Средства моющие синтетические. Метод определения пенообразующей способности. (с 01.07.1978). Госстандарт, 1977. 6 с.

13.Гасумов Р.А., Калинкин А.В., Гейхман М.Г. Пенные системы для бурения и ремонта скважин. М.: ИРЦ Газпром, 2008. 269 с.

14.https://elementum.kz/laboratory-instruments-made-of-glass#p827.

15. https://agrovektor.com/physical_product/3184875-pribor-ross-maylsa-dlya-opredeleniya-penoobrazuyuschih-svoystv-moyuschih-veschestv-bez-shtativa.html.

16. Речовини поверхнево-активні. Визначення піноутворювальної здатності модифікованим методом Росс-Майлса: ДСТУ ISO 696:2005 (ISO 696-1975, IDT). [Чинний від 2007-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2007. 11 с. (Національний стандарт України).

17. Бохан Ю.В., Форостовська Т.О. Скринінг якості косметичних миючих засобів для волосся на прикладі шампунів. *Міжнародний науковий журнал «Грааль науки»*. 2021. № 8 (вересень, 2021). С. 153–157. (секція XI. Хімія, хімічна та біоінженерія). DOI: 10.36074/grail-of-science.24.09.2021.30.

References

1. Boiko V.S., Boiko R.V., Keba L.M., Seminskyi O.V. Obvodnennia hazovykh i naftovykh sverdlovyn. Tom 3. Osoblyvosti ekspluatatsii sverdlovyn. Knyha 2. Za redaktsiieiu V.S. Boika. Ivano-Frankivsk: Nova Zoria, 2011. 679 p. [in Ukrainian]

2. Akulshyn O.I., Akulshyn O.O., Boiko V.S., Doroshenko V.M., Zarubin Yu.O. Tekhnolohiia vydobuvannia, zberihannia i transportuvannia nafty i hazu: Navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk: Fakel, 2003. 434 p. ISBN 5–11–00081–3. [in Ukrainian]

3. Boiko V.S., Boiko R.V., Keba L.M., Seminskyi O.V. Obvodnennia hazovykh i naftovykh sverdlovyn. Tom 3. Osoblyvosti ekspluatatsii sverdlovyn. Knyha 1. Za redaktsiieiu V.S. Boika. Ivano-Frankivsk: Nova Zoria, 2011. 713 p. [in Ukrainian]

4. Dovidnyk z naftohazovoi spravy / Za zah. red. doktoriv tekhnichnykh nauk V. S. Boika, R. M. Kondrata, R. S. Yaremiichuka. K.: Lviv, 1996. 620 p. ISBN 5–335–01293–5. [in Ukrainian]

5. Kondrat R. M., Matiishyn L. I. Vybir tekhnolohichnoho rezhymu roboty obvodnenykh hazovykh i hazokondensatnykh sverdlovyn pid chas vvedennia u NKT tverdykh pinoutvoriuvalnykh PAR. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2022. No 4(85). P. 62-70. DOI: https://doi.org/10.31471/1993-9973-2022-4(85)-62-70. [in Ukrainian]

6. Kondrat R.M., Matiishyn L.I. Analiz umov stabilnoi roboty obvodnenykh hazovykh i hazokondensatnykh sverdlovyn. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2023. No 1(86). P. 46-53. DOI: https://doi.org/10.31471/1993-9973-2023-1(86)-46-53. [in Ukrainian]

7. Boiko V.S., Franchuk I.A., Ivanov S.I., Boiko R.V. Ekspluatatsiia sverdlovyn u nestiikykh kolektorakh: Monohrafiia. Kyiv, 2004. 400 p. ISBN 966–694–012–4. [in Ukrainian]

8. Amyian V. A., Amyian A. V., Kazakevych L. V., Bekysh E. N. Prymenenye pennыkh system v neftehazodobyche: Uchebnoe posobye [Tekst] / M.: Nedra, 1987. 229 p. [in Russian]

9. Dzheyms Li, Genri V. Nikens, Maykl Uells. Ekspluatatsiya obvodnyayuschihsya gazovyih skvazhin. Tehnologicheskie resheniya po udaleniyu zhidkosti iz skvazhin / Per. s angl. M.: OOO «Premium Inzhiniring», 2008. 384 p. [in Russian]

10. Kondrat O.R., Petrushchak S.M. Laboratorni doslidzhennia z vynesennia ridyny iz hazovykh i hazokondensatnykh sverdlovyn za dopomohoiu tverdykh poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2017. No 3(64). P. 76 – 83. [in Ukrainian]

11. Metodychni vkazivky do vykonannia laboratornykh robit z dystsypliny “Tekhnolohiia vyrobnytstva myla ta myiuchykh zasobiv” dlia studentiv IV kursu napriamu 6.051701 “Kharchovi tekhnolohii ta inzheneriia” ta studentiv V kursu spetsialnosti 7,8.05170102 “Tekhnolohii zhyriv i zhyrozaminnykiv”. / Ukl.: M.Ia. Kuzmenko, L.L. Rudnieva, A.V. Kobzar. Dnipropetrovsk: DVNZ UDKhTU, 2013. 41 p. [in Ukrainian]

12. HOST 22567.1-77 (ST SЭV 4155 – 83). Sredstva moiushchye syntetycheskye. Metod opredelenyia penoobrazuiushchei sposobnosty. (s 01.07.1978). Hosstandart, 1977. 6 p. [in Russian]

13. Gasumov R.A., Kalinkin A.V., Geyhman M.G. Pennyie sistemyi dlya bureniya i remonta skvazhin. M.: IRTs Gazprom, 2008. 269 p. [in Russian]

14.https://elementum.kz/laboratory-instruments-made-of-glass#p827.

15. https://agrovektor.com/physical_product/3184875-pribor-ross-maylsa-dlya-opredeleniya-penoobrazuyuschih-svoystv-moyuschih-veschestv-bez-shtativa.html.

16. Rechovyny poverkhnevo-aktyvni. Vyznachennia pinoutvoriuvalnoi zdatnosti modyfikovanym metodom Ross-Mailsa: DSTU ISO 696:2005 (ISO 696-1975, IDT). [Chynnyi vid 2007-01-01]. K.: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007. 11 p. [in Ukrainian]

17. Bokhan Yu.V., Forostovska T.O. Skryninh yakosti kosmetychnykh myiuchykh zasobiv dlia volossia na prykladi shampuniv. Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Hraal nauky». 2021. No 8 (veresen, 2021). P. 153–157. (sektsiia XI. Khimiia, khimichna ta bioinzheneriia). DOI: 10.36074/grail-of-science.24.09.2021.30. [in Ukrainian]