УДК 622.279
DOI: 10.31471/1993-9973-2020-2(75)-32-42

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РІДКИХ І ТВЕРДИХ ПІНОТВОРНИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН

О. Р. Кондрат, С. М. Петрущак, Н. С. Дремлюх*

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (0342) 727141,
e-mail: kondrat@nung.edu.ua

На лабораторній моделі свердловини досліджено пінотворні і виносні властивості рідких і твердих поверхнево-активних речовин (савенолу, стінолу світлого і темного, софіру М2, ТЕАСу і твердого ПАР «Надра»). У дослідах визначали висоту рівня піни у скляній колонці наприкінці процесу піноутворення і тривалість виділення з піни половини об'єму зв'язаної у піну рідини, за значенням яких визначали кратність і стійкість піни. За результатами експериментальних досліджень на лабораторній моделі свердловини побудовано графічні залежності кратності і стійкості піни від масової концентрації поверхнево-активних речовин у прісній і мінералізованій воді, у мінералізованій воді з додаванням вуглеводневого конденсату для різних температур. За результатами експериментальних досліджень проаналізовано вплив концентрації поверхнево-активних речовин у спінюваній рідині, мінералізації води, вуглеводневого конденсату і температури на пінотворну здатність рідких і твердих поверхнево-активних речовин для винесення рідини із обводнених газових і газоконденсатних свердловин. Визначено оптимальні значення концентрацій пінотворних ПАР у водних розчинах, вище яких кратність і стійкість піни змінюється незначно. Встановлено, що виносні властивості твердого ПАР «Надра» є кращими у мінералізованій воді і у розчинах з вуглеводневим конденсатом, на відміну від досліджених рідких ПАР. За результатами експериментальних досліджень встановлено закономірності спінювання водних розчинів ПАР з моделюванням вибійної температури (від 20 до 80 °С). Рекомендовано використання різних типів ПАР при різних умовах експлуатації свердловин із значним вмістом рідини у продукції свердловини. Подачу пінотворних поверхнево-активних речовин на вибій свердловини здійснюють у вигляді водних розчинів і зразків твердих ПАР. У результаті спінена пластова рідина виносить на поверхню не тільки рідку фазу, а й тверді частинки, які накопичуються на вибої через корозію металу труб, руйнування цементного каменю і гірської породи привибійної зони пласта.

Ключові слова: кратність і стійкість піни, мінералізація води, вуглеводневий конденсат, модель свердловини, концентрація поверхнево-активних речовин, піноутворення.

На лабораторной модели скважины исследованы пенообразующие и выносные свойства жидких и твердых поверхностно-активных веществ (савенола, стинола светлого и темного, софира М2, ТЭАСа и твердого ПАВ «Надра»). В опытах определяли высоту уровня пены в стеклянной колонке в конце процесса пенообразования и продолжительность выделения из пены половины объема связанной в пену жидкости, по значению которых определяли кратность и устойчивость пены. По результатам экспериментальных исследований на лабораторной модели скважины построены графические зависимости кратности и устойчивости пены от массовой концентрации поверхностно-активных веществ в пресной и минерализованной воде, в минерализованной воде с добавлением углеводородного конденсата для различных температур. По результатам экспериментальных исследований проанализировано влияние концентрации поверхностно-активных веществ вспенивающейся жидкости, минерализации воды, углеводородного конденсата и температуры на пенообразующую способность жидких и твердых поверхностно-активных веществ для вынесения жидкости из обводненных газовых и газоконденсатных скважин. Определены оптимальные значения концентраций пенообразующих ПАВ у водных растворах, выше которых кратность и устойчивость пены меняется незначительно. Установлено, что выносные свойства твердого ПАВ «Надра» являются лучшими в минерализованной воде и в растворах с углеводородным конденсатом в отличие от исследованных жидких ПАВ. На основе экспериментальных исследований установлены закономерности вспенивания водных растворов ПАВ с моделированием забойной температуры (от 20 до 80 °С). Рекомендуется использование различных типов ПАВ при различных условиях эксплуатации скважин с большим содержанием жидкости в продукции скважины. Подачу пенообразующих поверхностно-активных веществ на забой скважины осуществляют в виде водных растворов и образцов твердых ПАВ. В результате вспененная пластовая жидкость выносит на поверхность не только жидкую фазу, но и твердые частицы, накапливающиеся на забое вследствие коррозии металла труб, разрушения цементного камня и горной породы призабойной зоны пласта.

Ключевые слова: кратность и устойчивость пены, минерализация воды, углеводородный конденсат, модель скважины, концентрация поверхностно-активных веществ, пенообразование.

Using the laboratory model of a well, foaming and removal properties of liquid and solid surfactants (savenol, light and dark stinol, Sofir M2, TEAS and Nadra) are studied. The authors determine experimentally the height of the level of the foam in the glass column at the end of the foam-forming process and the duration of removing half volume of liquid out of the foam. Using height and duration values, the authors determine the multiplicity and stability of the foam. Based on the results of experiments on the laboratory model of the well, a graphical dependence of the multiplicity and stability of the foam on the mass concentration of surfactants in fresh and salt water, in mineralized water with the addition of hydrocarbon condensate for various temperatures is constructed. Based on the results of experimental studies, the influence of the concentration of surfactants in a foaming liquid, the salinity of water, hydrocarbon condensate and temperature on the foaming ability of liquid and solid surfactants for the removal of liquid from watered gas and gas condensate wells is analyzed. The authors determine the optimal values of the concentrations of foaming surfactants in aqueous solutions. Above these values the multiplicity and stability of the foam varies slightly. It has been established that the outflow properties of the solid Nadra surfactant are the best in saline water and in solutions with hydrocarbon condensate, in contrast to the investigated liquid surfactants. Based on experimental studies, the patterns of foaming of aqueous surfactant solutions with modeling bottomhole temperature (from 20 to 80 °) are established. The authors recommend the use of various types of surfactants under different operating conditions of wells with a high fluid content in the well production. Foaming surfactants are supplied to the bottom of the well in the form of aqueous solutions and samples of solid surfactants. As a result, the foamed formation fluid brings to the surface not only the liquid phase, but also the solid particles that accumulate at the bottom due to corrosion of the pipe metal, the destruction of cement stone and rock of the bottomhole formation zone.

Keywords: foam multiplicity and stability, water mineralization, hydrocarbon condensate, well model, surfactant concentration, foaming.

Постановка проблеми

На завершальній стадії розробки газових і газоконденсатних родовищ виникають ускладнення, які погіршують умови експлуатації свердловин і знижують видобувні можливості. Одним із основних є накопичення рідини в стовбурі свердловини, яка через недостатню швидкість висхідного потоку газу не виноситься на поверхню. Зниження швидкості зумовлено низкою причин як природного, так і технологічного характеру. До природних причин відносять зниження дебітів газу, появу у продукції свердловини рідини, до технологічних причин – невідповідний діаметр насосно-компресорних труб на даній стадії розробки родовища [1].

Своєчасне видалення рідини призводить до зростання дебітів газу, конденсату і продовження періоду стабільної експлуатації свердловин.

Газові свердловини обводнюються крайовою чи підошовною пластовою водою в результаті підняття газоводяного контакту, підтягування води заколонним простором крізь дефекти при цементуванні.

Найбільш ефективним методом винесення рідини із обводнених газових і газоконденсатних свердловин є застосування пінотворних ПАР, що досягається шляхом подачі на вибій свердловин рідких або твердих ПАР, які спінюють рідину, що надходить разом з газом із пласта [2]. Для винесення піни необхідна значно менша витрата газу, ніж для винесення рідини. У результаті створення однорідної високодисперсної структури газорідинного потоку зменшуються втрати тиску в стовбурі свердловин, що призводить до зростання продуктивності свердловини за рахунок власної енергії пластового газу.

Вода, яка накопичується на вибоях газових свердловин, відрізняється як мінералізацією, так і складом солей.

Наявність вуглеводневого конденсату в рідині, яка виноситься із вибою газоконденсатної свердловини, ускладнює процес піноутворення, оскільки конденсат є активним піногасником.

Ефективність винесення рідини з вибою свердловин за допомогою ПАР визначається їх пінотворними і виносними властивостями в умовах свердловини. Враховуючи те, що на вибої газових свердловин накопичується пластова вода різної мінералізації, а в газоконденсатних свердловинах ще й конденсат, вибір ефективного піноутворювача є важливим завданням.

Аналіз науково-технічної літератури свідчить, що винесення водоконденсатної суміші з вибою свердловини на поверхню за допомогою піноутворювачів без лабораторних досліджень в більшості випадків не давали позитивних результатів. Оскільки застосування рідких ПАР як в Україні, так і за кордоном широко апробовано, то використання твердих ПАР обмежена відсутністю достатнього асортименту ПАР з необхідними властивостями.

При проектуванні технології експлуатації обводнених газових і газоконденсатних свердловин із застосуванням спінюючих ПАР потрібно вибирати тип ПАР, спосіб введення його у свердловину і оптимальну концентрацію у спінювальній рідині [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанню застосування пінотворних поверхнево-активних систем для винесення рідини з вибоїв газових і газоконденсатних свердловин присвячена значна кількість публікацій [2-6]. Однак в більшості досліджень недостатньо висвітлена проблема оцінки виносної здатності рідких і твердих ПАР, впливу мінералізації води, наявності конденсату у спінюваній рідині на їх пінотворні властивості.

Висока мінералізація і хімічний склад пластової води та збільшення конденсату в суміші різко знижують пінотворну здатність ПАР. Тому з метою розроблення ефективного складу ПАР для умов конкретного родовища (вода + конденсат) необхідно провести лабораторні дослідження, за результатами яких слід вибрати ПАР з найвищими пінотворними характеристиками і виносною здатністю.

Формулювання цілей статті

Враховуючи результати проведеного аналізу останніх досліджень з розглядуваних питань, необхідно виконати додаткові дослідження виносної здатності рідких і твердих ПАР, впливу мінералізації пластової води, вуглеводневого конденсату і температури на пінотворну і виносну здатність ПАР для забезпечення винесення рідини із обводнених газових і газоконденсатних свердловин.

Основний матеріал дослідження

Необхідною умовою ефективного винесення рідини з допомогою ПАР є утворення на вибої свердловини стабільної піни – висококонцентрованої дисперсної системи, дисперсною фазою якої є газ, а дисперсійним середовищем – рідина [7].

У газонафтопромисловій практиці для приготування піни використовують водні розчини різних пінотворних ПАР, де газовою фазою є природний газ, азот, вуглекислий газ тощо [1].

Основним компонентом, який надає піні в'язкопластичних і пружних властивостей, є поверхнево-активна речовина (ПАР). Адсорбуючись на оболонках газових бульбашок, ПАР істотно впливає на властивість бульбашок [8].

На пінотворну здатність ПАР впливає: концентрація ПАР у розчині, будова молекул ПАР, сила поверхневого натягу, температура, добавки.

Найважливішими параметрами, які характеризують пінотворну систему, є: густина, в'язкість, кратність, стійкість і пружні властивості (стисливість) [7].

Для оцінки пінотворних властивостей розчинів ПАР використовують різні критерії: пінотворна здатність розчину, кратність, стабільність (стійкість) і дисперсність піни [9].

Пінотворна здатність розчину (спінюваність) – це кількість піни за об'ємом (в мл) або висотою стовпа (в мм), який можна отримати в конкретних умовах (спосіб піноутворення, температура, концентрація ПАР, pH спінюваної рідини тощо) з певного об'єму розчину [10].

Кратність піни – це відношення об'єму утвореної піни $V_п$ до об'єму пінотворної рідини $V_р$ [1].

Кратність є характеристикою структури піни: чим більший об'єм піни отримується з одного і того ж об'єму пінотворної рідини, тим більшими будуть бульбашки газу в піні (за інших рівних умов), а піна – менш стійкою [3].

Стійкість піни – величина обернена до об'ємної швидкості осідання піни – відношення тривалості періоду виділення з піни половини об'єму зв'язаної в піну рідини до об'єму рідини, що виділилась.

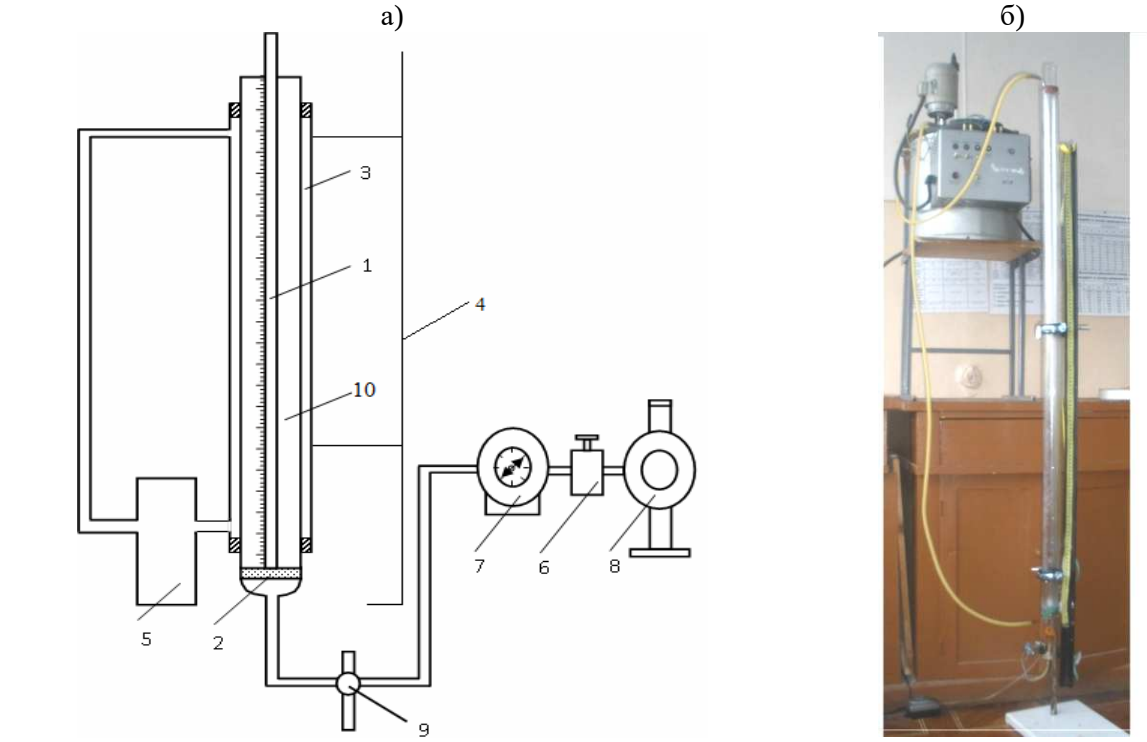
Стійкість піни залежить від багатьох факторів: типу і концентрації ПАР, вмісту в пінотворному розчині стабілізатора, електроліту та інших добавок, а також від кислотності середовища і вмісту солей в розчинах піноутворювачів. У жорсткій воді кратність і стійкість піни невисока, у морській воді вона є зовсім низькою [1].

З підвищенням тиску стійкість піни істотно збільшується, а із зростанням температури – зменшується. За збільшенням концентрації ПАР у розчині стійкість пін збільшується і досягає максимального значення при критичній концентрації міцелоутворення, а потім знижується [7].

Ефективність виносної здатності досліджуваних ПАР оцінюють за кількістю винесеної рідини зі скляної трубки у відсотках до її початкового об'єму.

Життєвий цикл піни повинен забезпечувати можливість її винесення із свердловини на поверхню і подальше її руйнування. Використовувані ПАР не повинні негативно впливати на роботу свердловини і спричиняти корозію промислового обладнання.

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online



1, 3 – скляні колонки, 2 – кварцевий пористий фільтр; 4 – штатив; 5 – термостат; 6 – регулятор витрати газу; 7 – лічильник газу; 8 – компресор; 9 – триходовий кран; 10 – мірна лінійка

Рисунок 1 – Схема (а) та загальний вигляд (б) лабораторної установки для дослідження пінотворних властивостей розчинів поверхнево-активних речовин

Опис експериментальної установки і методика дослідження

Досліди з вибору композицій ПАР для утворення пін з високими пінотворними характеристиками і дослідження їхньої виносної здатності проводили на установці, принципову схему та загальний вигляд якої зображено на рис. 1.

Основними частинами установки є внутрішня вертикальна скляна колонка 1 із зовнішнім діаметром 0,03 м і довжиною 1,5 м з кварцевим пористим фільтром 2 у нижній частині, та зовнішня скляна колонка 3 довжиною 1,4 м і зовнішнім діаметром 0,044 м, яка закріплена за допомогою двох кріплень до штатива 4.

Необхідну температуру в кільцевому просторі скляних колонок створювали термостатом 5. В колонку 1 заливали 20 см^3 досліджуваного розчину ПАР, після цього через пористий фільтр знизу угору пропускали газ (повітря) за постійної витрати 16,6 см^3/с (1 л за 60 с). Витрату газу регулювали за допомогою регулятора витрати газу 6 та фіксували за допомогою лічильника газу 7. Для нагнітання газу (повітря) використовували компресор 8. Після пропускання 0,5 л газу (через 30 с від початку досліду) подачу його в колонку припиняли за допомогою триходового крана 9 і визначали кратність піни та її стійкість.

Для утворення піни використовують різні поверхнево-активні речовини, які відносять до чотирьох основних класів: аніоноактивні, неіоногенні, катіоноактивні і амфотерні. Асортимент ПАР, які використовують для винесення рідини з вибою свердловин, достатньо широкий, однак найчастіше використовують аніоноактивні і неіоногенні ПАР, що володіють високою пінотворною здатністю.

Досліди проводили з розчинами савенолу SWP, стінолу (світлого і темного), софіру М2, ТЕАСу, твердого ПАР «Надра» (виробник ПП «Хімпостачальник») у прісній воді, мінералізованій воді, суміші мінералізованої води і вуглеводневого конденсату з масовою концентрацією 0,25; 0,5; 1; 2; 4%.

Серед наведених ПАР стінол – синергетична суміш ПАР аніоноактивного і неіоногенного типів, савенол SWP – суміш гідратованих неіоногенних ПАР, ТЕАС і софір М2 – аніоноактивні ПАР. Твердий ПАР «Надра» розчинний у воді й містить у своєму складі високоспінювальні ПАР, стабілізатори піни та інші функціональні добавки. Піноутворювач може випускатися у вигляді циліндрів, циліндричних трубок, стрижнів, шайб, таблеток і в інших формах.

Савенол SWP, стінол, софір М2, ТЕАС, твердий ПАР «Надра» є нетоксичними ПАР,

Таблиця 1 – Результати досліджень пінотворних властивостей твердого ПАР «Надра»

Масова концентрація твердого ПАР «Надра» у спінювальній рідині	Температура, °С	Прісна вода		Розчин Na/Cl (100 г/л)		Розчин NaCl(100 г/л) +конденсат (80 %:20 %)	
		Кратність піни К	Стійкість піни S, 10^6, с/м^3	Кратність піни К	Стійкість піни S, 10^6, с/м^3	Кратність піни К	Стійкість піни S, 10^6, с/м^3
0,25	20	18,21	1,71	18,16	1,03	10,89	0,35
0,5		20,77	1,68	18,76	1,54	13,78	0,47
1		19,56	1,96	17,89	1,9	15,11	0,49
2		18,3	2,01	17,44	1,74	16,89	0,63
3		17,55	1,76	16,93	1,61	24	0,81
4		17,34	1,7	16,13	1,52	22,44	0,76
5		16,96	1,74	16,02	1,61	22,2	0,72
0,25	80	21,51	0,78	26,22	0,8	20,44	0,75
0,5		25,44	1,02	28,89	1,15	20,67	0,89
1		26,71	2,01	29,21	1,43	18	1,02
2		27,71	1,33	29,34	1,48	19,56	1,23
3		29	1,24	29,55	1,35	24,89	1,11
4		28,78	1,46	30	1,48	25,56	1,25
5		28,07	1,45	29,79	1,46	25,11	1,2

випускаються вітчизняними підприємствами і використовуються під час проведення ремонтних робіт у газових і газоконденсатних свердловинах, для інтенсифікації винесення з них рідини спінюванням.

Експерименти проводили за температур 20, 40, 60 і 80 °С і атмосферного тиску 0,1013 МПа.

Результати досліджень

Узагальнені результати досліджень зображено на рис. 2–4 у вигляді залежностей кратності К і стійкості S піни від масової концентрації ПАР у прісній воді (рисунок 2), у мінералізованій воді (рисунок 3), у мінералізованій воді з додаванням вуглеводневого конденсату (розчин NaCl (100 г/л) +конденсат (80 %:20 %)) (рисунок 4) для різних температур.

Результати досліджень пінотворних властивостей твердого ПАР «Надра» наведено у таблиці 1.

Для всіх досліджених значень температур спостерігається тенденція до зростання кратності піни із збільшенням концентрації ПАР у прісній і мінералізованій воді.

Аналіз експериментальних даних щодо спінювальних властивостей різних ПАР свідчить, що із збільшенням температури кратність піни, утвореної з водних розчинів досліджуваних ПАР у прісній і мінералізованій воді, безперервно зростає, а стійкість піни зменшується.

Найбільшою пінотворною здатністю володіє савенол SWP, стінол і твердий ПАР «Надра» меншими – софір М2 і ТЕАС. Найбільшу стійкість піни мають розчини савенолу SWP, стінолу і твердого ПАР «Надра» у прісній воді, меншу – розчин софіру М2 і ТЕАСу для всіх досліджених значень температур.

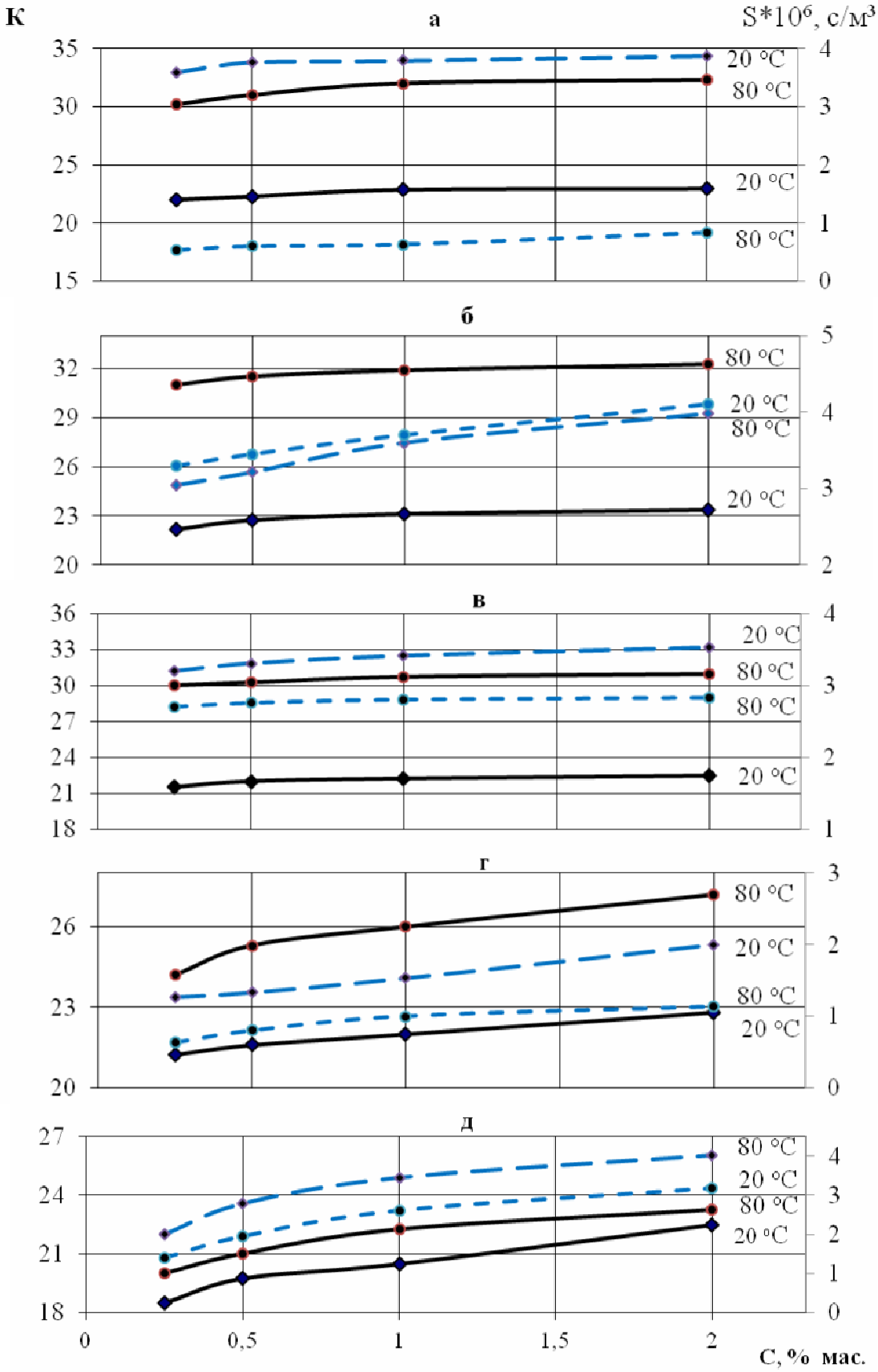
Під час виконання дослідів з розчинами ПАР масовою концентрацією 0,125 % у прісній, мінералізованій та у мінералізованій з додаванням вуглеводневого конденсату воді отримували неоднорідну піну з бульбашками газу різного розміру. Піна рвалась на частини.

Мінералізація води призводить до зниження кратності і стійкості піни порівняно з прісною водою. Найбільшу стійкість піни мають розчини савенолу SWP, стінолу і твердого ПАР «Надра» у мінералізованій воді, меншу – розчин софіру М2 і ТЕАСу для всіх досліджених значень температур.

Для савенолу SWP характеристики піноутворення у прісній і мінералізованій воді змінюються в наступних межах: за температури 20 °С кратність піни становила 22,01-23 (12-13,5), стійкість піни – $3{,}6\cdot10^6$-$3{,}88\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}25\cdot10^6$-$0{,}6\cdot10^6$ с/м^3); за температури 80 °С кратність піни – 30,2-32,3 (12,5-14), стійкість піни – $0{,}53\cdot10^6$-$0{,}83\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}45\cdot10^6$-$0{,}68\cdot10^6$ с/м^3).

Для стінолу світлого характеристики піноутворення у прісній і мінералізованій воді змінюються в наступних межах: за температури 20 °С кратність піни – 21,5-22,5 (20,5-22,4),

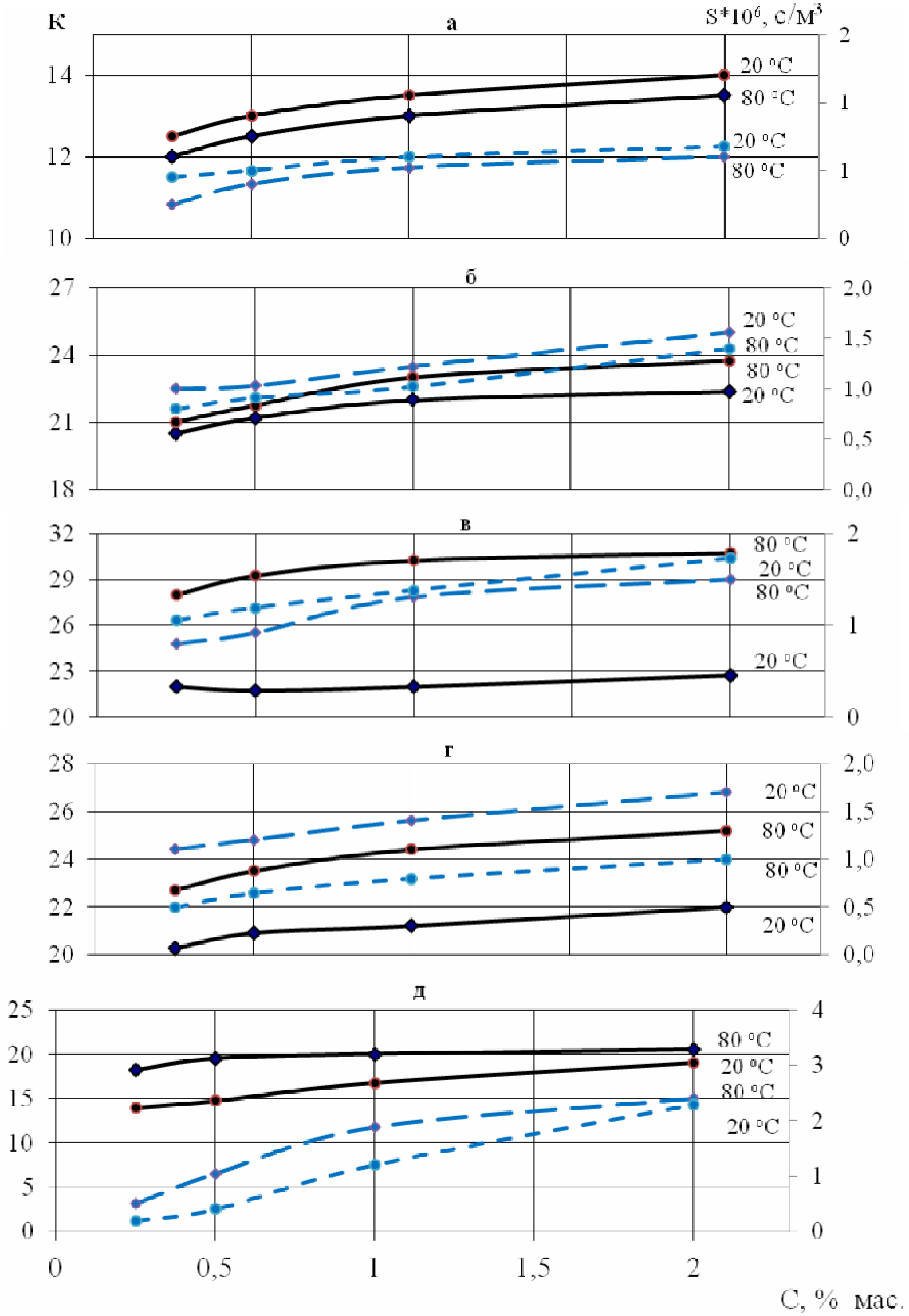
ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online



а) савенол SWP; б) стінол світлий; в) стінол темний; г) софір М2; д) теас

——— кратність піни; – – – стійкість піни

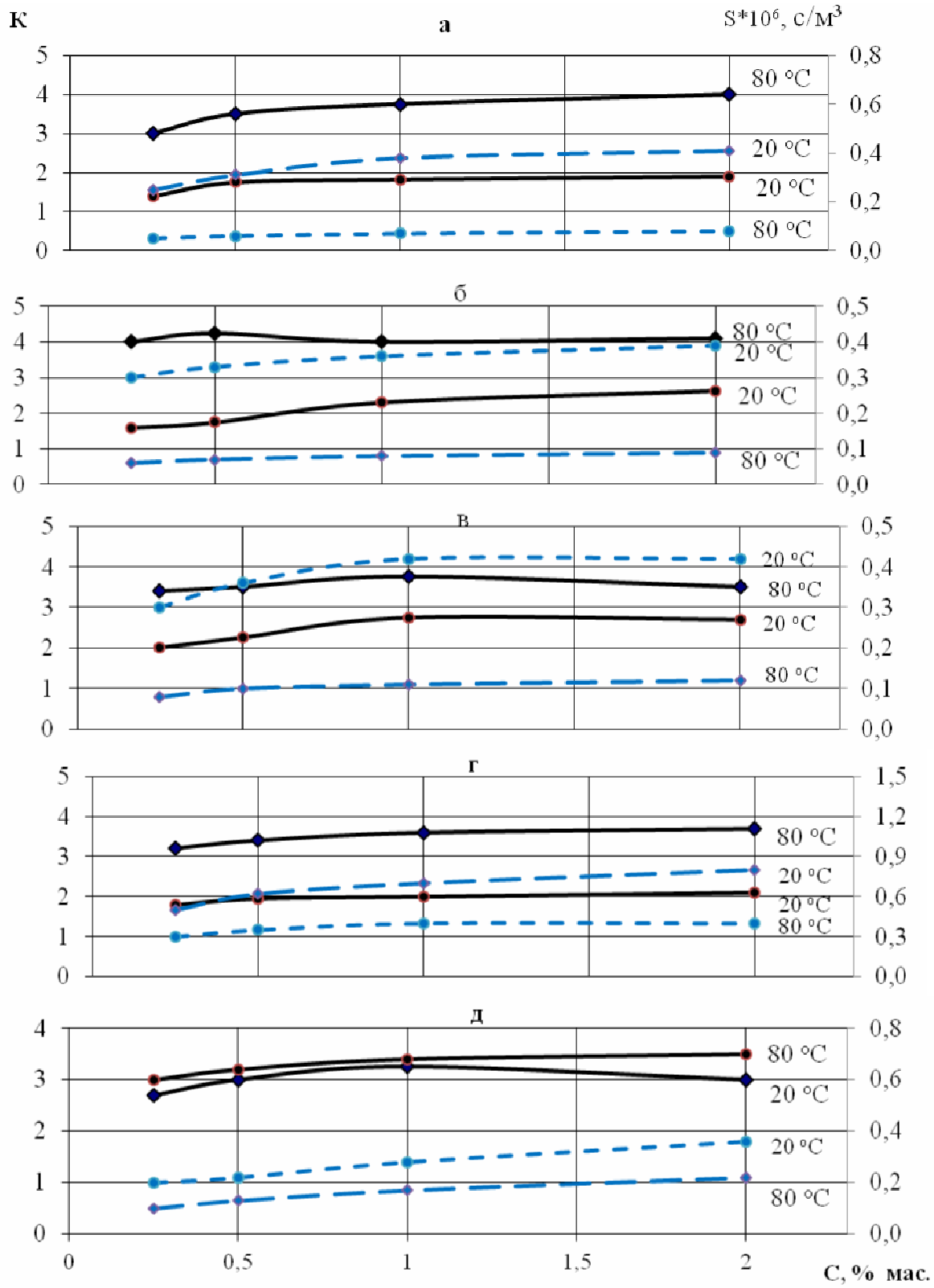
Рисунок 2 – Залежності кратності і стійкості піни від масової концентрації ПАР у прісній воді за різних температур



а) савенол SWP; б) стінол світлий; в) стінол темний; г) софір М2; д) ТЕАС
——— кратність піни; ▬ ▬ ▬ стійкість піни

Рисунок 3 – Залежності кратності і стійкості піни від масової концентрації ПАР у мінералізованій воді (100 г/л NaCl) за різних температур

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online



а) савенол SWP; б) стінол світлий; в) стінол темний; г) софір М2; д) ТЕАС
кратність піни; стійкість піни

Рисунок 4 – Залежності кратності і стійкості піни від масової концентрації ПАР у мінералізованій воді (100 г/л NaCl) за різних температур

Таблиця 2 – Результати досліджень виносної здатності рідких і твердих поверхнево-активних речовин

Досліджуваний ПАР	Концентрація ПАР, %	Склад вспінювальної рідини, %		Мінералізація води, г/л	Винесення рідини, %
		прісна вода	конденсат	Na/Cl	
Савенол	1	100	–	–	92
Стінол світлий	1	100	–	–	90
Стінол темний	1	100	–	–	91
ТЕАС	1	100	–	–	88
Софір	1	100	–	–	89
Твердий ПАР «Надра»	1	100	–	–	94
Савенол	1	100	–	100	80
Стінол світлий	1	100	–	100	78
Стінол темний	1	100	–	100	79
ТЕАС	1	100	–	100	74
Софір	1	100	–	100	75
Твердий ПАР «Надра»	1	100	–	100	90
Савенол	2	80	20	100	30
Стінол світлий	2	80	20	100	28
Стінол темний	2	80	20	100	27
ТЕАС	2	80	20	100	25
Софір	2	80	20	100	25
Твердий ПАР «Надра»	2	80	20	100	79

стійкість піни – $3{,}2\cdot10^6$-$3{,}54\cdot10^6$ с/м^3 ($1{,}0\cdot10^6$-$1{,}56\cdot10^6$ с/м^3); за температури 80 ^{o}С – кратність піни – 30-31 (21-23,75), стійкість піни – $2{,}7\cdot10^6$-$2{,}84\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}8\cdot10^6$-$1{,}4\cdot10^6$ с/м^3).

Для стінолу темного характеристики піноутворення у прісній і мінералізованій воді змінюються в таких межах: за температури 20 ^{o}С кратність піни – 22,2-23,38 (22-22,75), стійкість піни – $3{,}05\cdot10^6$-$3{,}98\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}8\cdot10^6$ - $1{,}5\cdot10^6$ с/м^3); за температури 80 ^{o}С кратність піни – 31-32,25 (28-30,75), стійкість піни – $3{,}3\cdot10^6$-$4{,}1\cdot10^6$ с/м^3 ($1{,}05\cdot10^6$- $1{,}73\cdot10^6$ с/м^3).

Для софіру М2 характеристики піноутворення у прісній і мінералізованій воді змінюються в наступних межах: за температури 20 ^{o}С кратність піни – 21,25- 22,8 (20,25-22), стійкість піни – $1{,}27\cdot10^6$-$2{,}0\cdot10^6$ с/м^3 ($1{,}1\cdot10^6$ - $1{,}7\cdot10^6$ с/м^3); за температури 80 ^{o}С кратність піни – 24,2-27,2 (22,7-25,2), стійкість піни – $0{,}63\cdot10^6$-$1{,}13\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}5\cdot10^6$- $1{,}0\cdot10^6$ с/м^3).

Для ТЕАСу характеристики піноутворення у прісній і мінералізованій воді змінюються в таких межах: за температури 20 ^{o}С кратність піни – 18,5- 22,5(18,2-20,5), стійкість піни – $2{,}0\cdot10^6$-$4{,}01\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}5\cdot10^6$ - $2{,}4\cdot10^6$ с/м^3); за температури 80 ^{o}С – кратність піни – 20,0-23,25 (14-19), стійкість піни –$1{,}4\cdot10^6$-$3{,}18\cdot10^6$ с/м^3 ($0{,}2\cdot10^6$-$2{,}3\cdot10^6$ с/м^3).

За результатами експериментальних досліджень оптимальна концентрація досліджуваних рідких ПАР у прісній і мінералізованій воді становить 1%, у мінералізованій воді з додаванням вуглеводневого конденсату – близько 2%.

Залежно від мінералізації пластової води, складу і вмісту вуглеводневого конденсату у спінюваній рідині оптимальна масова концентрація твердого ПАР «Надра» змінюється від 1 до 2 %.

Твердий ПАР «Надра» порівняно з іншими досліджуваними поверхнево-активними речовинами (стінол світлий і темний, савенол SWP, ТЕАС, софір М 2) у прісній і мінералізованій воді та в суміші мінералізованої води і вуглеводневого конденсату має високі пінотворні властивості.

У другій серії експериментів досліджували виносну здатність рідких і твердих ПАР. Ефективність виносної здатності досліджуваних ПАР оцінювали за кількістю винесеної із скляної трубки рідини у відсотках до її початкового об’єму. Результати досліджень наведені у таблиці 2.

За результатами експериментальних досліджень найбільшу виносну здатність у прісній воді має савенол SWP, твердий ПАР «Надра» і стінол, меншу софір М2 і ТЕАС.

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online

Мінералізація води призводить до зниження як пінотворних, так і виносних властивостей ПАР порівняно з прісною водою. Найбільшу виносну здатність у мінералізованій воді мають розчини савенолу SWP і твердого ПАР «Надра», найменшу – розчини софіру М2 і ТЕАСу. Слід зазначити, що мінералізація води менше впливає на виносну здатність твердого ПАР «Надра» порівняно з досліджуваними рідкими ПАР.

Наявність вуглеводневої фази у спінюваній рідині призводить до стрімкого зменшення виносної здатності всіх досліджених рідких ПАР порівняно з твердим ПАР «Надра».

За результатами експериментальних досліджень рекомендується застосування твердого ПАР «Надра» на свердловинах за наявності у продукції високомінералізованої води та вуглеводневого конденсату.

Висновок

На лабораторній моделі свердловини досліджено пінотворні і виносні властивості рідких і твердих поверхнево-активних речовин (савенолу, стінолу світлого і темного, софіру М2, ТЕАСу і твердого ПАР «Надра»).

За результатами експериментальних досліджень оцінено кратність і стійкість піни, проаналізовано вплив концентрації ПАР у спінювальній рідині, мінералізації води, вуглеводневого конденсату і температури на пінотворну здатність рідких і твердих поверхнево-активних речовин.

На відміну від досліджених рідких ПАР, пінотворні і виносні властивості твердого ПАР «Надра» є кращими у мінералізованій воді та у розчинах з вуглеводневим конденсатом.

Встановлено оптимальну концентрацію пінотворних ПАР для утворення стійкої піни за температур від 20 до 80 ^{o}C, які можна використовувати для винесення рідини із обводнених газових і газоконденсатних свердловин.

Використання твердих поверхнево-активних речовин дозволить забезпечити стабільну експлуатацію свердловин на завершальній стадії розробки газових і газоконденсатних родовищ.

Література

1. Гасумов Р. А., Минликаев В. З. Техника и технология ремонтаскважин: монографія: у 2 т. М.: ООО «Газпром экспо», 2013. Т.1. 360 с.

2. Використання поверхнево-активних речовин в процессах нафтовидобутку на родовищах ВАТ «Укрнафта»: монографія. 2009. 400 с.

3. Кондрат, О. Р., Петрущак С. М. Лабораторна установка для створення твердих поверхнево-активних речовин. *Нафтогазова енергетика – 2017:* міжнар. наук.-техн. конф., 15-19 травня. Івано-Франківськ. 2017. С. 61-63.

4. Кондрат, О. Р. Петрущак С. М. Лабораторні дослідження з винесення рідини із газових і газоконденсатних свердловин за допомогою твердих поверхнево-активних речовин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2017. № 3. С. 76-83.

5. Кондрат Р. М., Кондрат О. Р., Марчук Ю. В., Хомин І. І. Підвищення продуктивності низькодебітних обводнених газових і газоконденсатних свердловин. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2007. № 3. С. 14-17.

6. Марчук Ю. В., Кондрат О. Р. Промислові дослідження умов стабільної роботи газоконденсатних свердловин за рахунок власної енергії пластового газу. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*. 2010. № 3. С. 131-134.

7. Амиян В. А., Амиян А. В., Казакевич Л. В., Бекиш Е. Н. Применение пенных систем в нефтегазодобыче: учебное пособие для средних профессионально-технических училищ. М.: Недра, 1987. 229 с.

8. Юсупходжаев М. А. Экспериментальные исследования пенных систем для процесса промывки песчаных пробок в условиях низких пластовых давлений с использованием колонны гибких труб : автореф. дис. … канд. техн. наук : спец. 25.00.17 “Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений”; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина. Москва, 2009. 127 с.

9. Лутфуллина Г. Г., Зиннатуллина З. А. О возможности регулирования пенообразующей способности композиций ПАВ. *Вестник Казанского технологического университета*. 2015. Т. 18. № 15. С. 197-199.

10. Параска О. А., Карван С. А., Рак Т. С. Визначення характеристик процессу піноутворення в розчинах поверхнево – активних речовин. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 3 (69). С. 36-41.

References

1. Gasumov R. A., Minlikaev V. Z. Tehnika i tehnologiya remonta skvazhin: monografIya : u 2 t. M.: OOO «Gazprom ekspo», 2013. Vol.1. 360 p. [in Russian]

2. Vykorystannia poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn v protsessakh naftovydobutku na rodovy-

shchakh VAT «Ukrnafta»: monohrafiia. 2009. 400 p. [in Ukrainian]

3. Kondrat, O. R., Petrushchak S. M. Laboratorna ustanovka dlia stvorennia tverdykh poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn. *Naftohazova enerhetyka – 2017*: mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 15-19 trav. Ivano-Frankivsk. 2017. P. 61-63. [in Ukrainian]

4. 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. P. 76-83. [in Ukrainian]

5. Kondrat R. M., Kondrat O. R., Marchuk Yu. V., Khomyn I. I. Pidvyshchennia produktyvnosti nyzkodebitnykh obvodnenykh hazovykh i hazokondensatnykh sverdlovyn. *Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2007. No 3. P. 14-17. [in Ukrainian]

6. Marchuk Yu. V., Kondrat O. R. Promyslovi doslidzhennia umov stabilnoi roboty hazokondensatnykh sverdlovyn za rakhunok vlasnoi enerhii plastovoho hazu. *Rozvidka ta rozrobkanaftovykh i hazovykh rodovyshch*. 2010. No 3. P. 131-134. [in Ukrainian]

7. Amiyan V. A., Amiyan A. V., Kazakevich L. V., Bekish E. N. Primenenie pennyih sistem v neftegazodobyiche: uchebnoe posobie dlya srednih professionalno-tehnicheskih uchilisch. M.: Nedra, 1987. 229 p. [in Russian]

8. Yusuphodzhaev M. A. Eksperimentalnyie issledovaniya pennyih sistem dlya protsessa promyivki peschanyih probok v usloviyah nizkih plastovyih davleniy s ispolzovaniem kolonnyi gibkih trub: avtoref. dis. … kand. tehn. nauk : spets. 25.00.17 “Razrabotka i ekspluatatsiya neftyanyih i gazovih mestorozhdeniy”; Ros. gos. un-t nefti i gaza im. I.M. Gubkina. Moskva, 2009. 127 p. [in Russian]

9. Lutfullina G. G., Zinnatullina Z. A. O vozmozhnosti regulirovaniya penoobrazuyuschey sposobnosti kompozitsiy PAV. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2015. Vol. 18. No15. P. 197-199. [in Russian]

10. Paraska O. A., Karvan S. A., Rak T. S. Vyznachennia kharakterystyk protsessu pinoutvorennia v rozchynakh poverkhnevo-aktyvnykh rechovyn. *Vostochno-evropeiskyi zhurnal peredovykh tekhnolohyi*. 2014. No 3 (69). P. 36-41. [in Ukrainian]

ISSN 1993–9973 print
ISSN 2415–332X online