



УДК 622.276

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОПОЛИМЕРНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ГЛУШЕНИЯ СКВАЖИН



## RESEARCH SURFACE AND RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE BIOPOLYMER SYSTEM FOR WELL KILLING OPERATION

### Мысляк Михаил Андреевич

доктор технических наук,  
профессор кафедры бурения нефтяных  
и газовых скважин,  
профессор кафедры бурения скважин,  
Ивано-Франковский национальный  
технический университет нефти и газа  
mmyslyuk@ukr.net

### Волошин Юрий Дмитриевич

ассистент кафедры бурения скважин,  
Ивано-Франковский национальный  
технический университет нефти и газа,  
voloshin.y@nung.edu.ua

**Аннотация.** Изучено влияние добавок ПАВ (солпен-10т, неонол АФ 9-12) на поверхностные и реологические свойства жидкости глушения на основе биополимерной системы и хлорида натрия. Построены уравнения регрессии для оценок коэффициента межфазного натяжения на границе раздела фаз фильтрат – нефть Бугруватовского месторождения и оптимального содержания ПАВ, а также показателей реологических свойств.

**Ключевые слова:** биополимерная система, жидкость глушения, коэффициент межфазного натяжения, поверхностно-активные вещества (ПАВ), реологические свойства, хлорид натрия.

### Myslyuk Mikhail Andreevich

Doctor of Technical Science,  
Professor of drilling oil  
and gas wells department,  
Professor of drilling wells department,  
Ivano-Frankovsk national technical university  
of oil and gas  
mmyslyuk@ukr.net

### Voloshyn Yurii Dmytovych

Assistant of drilling wells department,  
Ivano-Frankovsk national technical university  
of oil and gas  
voloshin.y@nung.edu.ua

**Annotation.** The effect of surfactant additives (solpen-10t, neonol AF 9-12) on the surface and rheological properties of the kill fluid based on the biopolymer system and sodium chloride was studied. Regression equations were constructed for estimating the interfacial tension coefficient on the filtrate – oil interface of the Bugarvatovskoye field and the optimal surfactant content and rheological properties.

**Keywords:** biopolymer system, interfacial tension coefficient, kill fluid, surfactants, rheological properties, sodium chloride.

При проведении ремонтно-восстановительных работ в процессе эксплуатации нефтяных и газовых скважин часто используют жидкости глушения [1–3]. Геолого-технические условия выполнения работ определяют функциональные требования к жидкостям глушения, которые состоят в обеспечении безопасного проведения работ, качественной очистки забоя скважины и сохранении естественной проницаемости прискважинной зоны пласта [1–3].

Известны различные рецептуры жидкостей глушения [1–3]. С позиций обеспечения функциональных требований представляет интерес использование биополимерных систем [1–3], эффективность которых определяется отсутствием твердой фазы, особенностями их свойств (высокая псевдопластичность, мгновенная тиксотропия, низкая фильтрация), а также способностью к биологической деструкции полимерных компонентов. Для повышения плотности таких систем могут быть использованы растворы соответствующих солей и концентраций.

Ниже рассмотрены результаты исследований добавок поверхностно-активных веществ (ПАВ) на поверхностные и реологические свойства биополимерной системы на основе хлорида натрия, что представляет интерес для обоснования выбора рецептур жидкостей глушения.

### Материалы и методы исследований

Для биополимерной системы использовали ксантановую камедь, PAC-R, хлорид натрия, сольпен и неонол.

Ксантановая камедь Duovis является структурообразователем и предназначена для регулирования реологических и структурно-механических свойств. Реагент PAC-R – высококачественная модификация полианионной целлюлозы для регулирования показателя фильтрации биополимерной системы. Хлорид натрия (ТУ 6-12-26–69) предназначен для регулирования плотности биополимерной системы.



Сольпен-10т (водная смесь ПАВ и вспомогательных веществ ТУ У 24.6-23913269-001–2001) и неонол АФ 9-12 (оксиэтилированный моноалкилфенол на основе тримеров пропилена ТУ-2483-077-05766801–98) – совместимые неионогенные ПАВ для снижения межфазного натяжения на границе раздела фаз фильтрат биополимерной системы – нефть.

Базовая рецептура биополимерной системы приготовлена для постоянных концентраций (мас. %) ксантановой камеди Duovis 0,5 и полианионной целлюлозы PAC-R 0,3. Концентрации (мас. %) переменных факторов изменяли на пяти уровнях: хлорид натрия  $c_c = (10; 15; 20; 25; 30)$ , сольпен 10-т  $c_s = (0; 0,10; 0,25; 0,50; 1,00)$  и неонол АФ 9-12  $c_n = (0; 0,05; 0,10; 0,25; 0,50)$ . Концентрации ПАВ подобраны на основании предварительной экспериментальной оценки критических значений концентраций мицеллообразования.

Исследования свойств биополимерной системы выполнены при температуре 20 °С с помощью латинского плана эксперимента для трех факторов, изменяющихся на пяти уровнях (табл. 1). Технологические свойства биополимерной системы измеряли с учетом рандомизации опытов.

Реологические и структурно-механические свойства определяли с помощью ротационного вискозиметра Fann 800 (относительный зазор 0,9365) по данным измерения на частотах вращения, мин<sup>-1</sup>: 3, 6, 30, 60, 100, 200, 300, 600. Обработка данных ротационной вискозиметрии выполнена с помощью методики [4, 5] в классе реологически стационарных моделей Бингама, Оствальда, Гершеля – Балкли и Шульмана – Кессона.

Таблица 1 – План и результаты эксперимента

Опыт	Факторы, %			Результаты эксперимента						
	$c_c$	$c_s$	$c_n$	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$T$ , с	$\theta_{1/10}$ , Па	$\sigma$ , мН/м	$T_0$ , Па	$k$ , Па·с <sup>n</sup>	$n$
1	25	0	0	1140	108	7,2/8,6	11,59	2,415	1,825	0,400
2	15	0,25	0,05	1070	96	7,2/8,6	6,69	2,559	1,493	0,412
3	10	0	0,50	1040	104	8,6/9,6	2,66	2,870	2,151	0,365
4	30	0,10	0,25	1170	125	6,7/8,6	6,36	1,667	2,066	0,385
5	20	0,50	0,50	1100	112	6,7/9,1	2,24	2,237	1,540	0,410
6	25	1,00	0,50	1130	104	6,2/7,7	4,50	3,696	1,223	0,451
7	25	0,10	0,05	1140	106	6,2/7,2	8,56	2,266	1,705	0,414
8	30	0,50	0,05	1160	128	7,2/8,1	8,18	3,285	1,322	0,442
9	30	0	0,10	1180	126	8,1/9,1	7,96	2,694	1,485	0,434
10	10	0,25	0	1050	104	8,1/8,6	7,63	4,127	1,172	0,448
11	20	0,25	0,10	1110	110	6,7/7,7	5,47	2,606	1,310	0,429
12	20	0	0,05	1120	111	7,2/8,1	9,04	1,899	1,483	0,419
13	20	1,00	0,25	1110	110	7,2/7,7	2,94	2,451	1,516	0,422
14	30	0,25	0,50	1170	122	6,2/8,1	4,13	2,859	1,412	0,438
15	10	1,00	0,05	1030	100	6,7/8,6	3,73	2,692	1,280	0,430
16	25	0,5	0,10	1140	107	6,7/8,1	6,16	0,845	2,566	0,356
17	15	0,5	0	1080	95	5,7/6,2	5,18	2,492	1,430	0,408
18	20	0,10	0	1120	112	7,2/8,1	9,02	2,237	1,540	0,410
19	25	0,25	0,25	1140	105	5,7/7,2	6,85	1,001	2,424	0,366
20	15	1,00	0,10	1070	92	5,7/6,2	3,95	2,009	1,500	0,417
21	10	0,10	0,10	1050	102	6,7/8,1	8,87	3,083	1,255	0,444
22	15	0,10	0,50	1090	94	5,7/6,7	1,80	1,422	1,962	0,368
23	10	0,50	0,25	1040	100	8,1/8,6	1,24	0,314	3,098	0,320
24	30	1,00	0	1170	118	7,7/9,1	9,14	0,748	2,126	0,388
25	15	0	0,25	1080	91	7,2/8,6	3,33	1,962	1,873	0,375

Поверхностные свойства на границе раздела фаз фильтрат биополимерной системы – нефть контролировали стагагмометрическим методом по коэффициенту межфазного натяжения [6, 7]. Использовали нефть Бугруватовского месторождения: плотность 860 кг/м<sup>3</sup>, массовое содержание, %: парафинов – 1,8; смол – 11; асфальтенов – 16,2; серы – 0,9. В каждом опыте коэффициент межфазного натяжения  $\sigma$  оценивали по 10 измерениям.



Результаты исследований изучали методами корреляционного и регрессионного анализов. Регрессионные модели показателей свойств  $a(c_c, c_s, c_n)$  построены в классе полиномов третьего порядка:

$$a(c_c, c_s, c_n) = Bb(c_c, c_s, c_n), \tag{1}$$

где  $b(c_c, c_s, c_n) = (1, c_c, c_s, c_n, \dots, c_m^3)^T$  – вектор базисных функций. Параметры  $B$  полиномиальной модели (1) определяют в классе  $E$  различных сочетаний базисных функций из условия минимизации дисперсии адекватности:

$$\min \left\{ \sigma_\varepsilon^2 = \frac{1}{N-r_\varepsilon} \sum_{i=1}^N [B_j^\varepsilon b(c_{ci}, c_{si}, c_{ni}) - a_{ji}]^2 \right\} \Rightarrow \{ \hat{B}_j^\varepsilon, \hat{\varepsilon} \}, \varepsilon \in E, \tag{2}$$

где  $r_\varepsilon$  – количество оцениваемых параметров в моделях (1);  $B_j^\varepsilon$  –  $j$ -ая строка матрицы  $B^\varepsilon$  параметров модели (1);  $c_{ci}, c_{si}, c_{ni}$  – данные плана эксперимента;  $a_{ji}$  – результаты измерений  $j$ -го показателя свойств в  $i$ -ом опыте плана эксперимента.

Модель (2) допускает использование различных линейно независимых базисных функций в (1). Очевидно, что условия (2) справедливы для  $N > r_\varepsilon$ .

### Результаты исследований

В таблице 1 приведены результаты измерений некоторых показателей свойств биополимерной системы для различных сочетаний переменных факторов. Оценки реологических свойств даны для наиболее адекватной во всех точках плана эксперимента модели Гершеля-Балкли с дисперсией адекватности  $\sigma_a^2 = 0,1456 \text{ Па}^2$ .

Из таблицы 1, в частности, следует, что для области планирования эксперимента биополимерная система характеризуется плотностью  $\rho = 1030 - 1180 \text{ кг/м}^3$ , условной вязкостью  $T = 91 - 128 \text{ с}$ , статическим напряжением сдвига через 1 мин  $\theta_1 = 5,7 - 8,6 \text{ Па}$  и 10 мин  $\theta_{10} = 6,2 - 9,6 \text{ Па}$ , коэффициентом межфазного натяжения  $\sigma = 1,24 - 11,59 \text{ мН/м}$ , динамическим напряжением сдвига  $\tau_0 = 0,31 - 4,12 \text{ Па}$ , мерой консистенции  $k = 1,17 - 3,09 \text{ Па} \cdot \text{с}^n$ , показателем нелинейности  $n = 0,32 - 0,45$ .

Ниже приведены некоторые результаты корреляционного анализа результатов исследований: эмпирические оценки коэффициентов корреляции  $r_{xy}$  между показателями свойств  $x$  и концентрациями  $y$  реагентов, критерии  $K$  для проверки статистических гипотез  $H_0: \rho_{xy} = 0$  (здесь  $\rho_{xy}$  истинное значение коэффициента корреляции):

	$c_c$	$c_s$	$c_n$
$r_{\rho y}/K$	0,988/198,7	-0,092/0,5	-0,024/0,1
$r_{Ty}/K$	0,773/9,6	-0,100/0,5	-0,027/0,1
$r_{\theta_1 y}/K$	-0,145/0,7	-0,201/1,1	-0,146/0,7
$r_{\theta_{10} y}/K$	0,050/0,2	-0,207/1,1	0,081/0,4
$r_{\sigma y}/K$	0,422/2,6	-0,302/1,7	-0,707/7,1
$r_{\tau_0 y}/K$	-0,125/0,6	-0,043/0,2	-0,002/0
$r_{ky}/K$	0,025/0,1	-0,092/0,5	0,176/0,9
$r_{ny}/K$	0,138/0,7	0,172/0,9	-0,201/1,0

Приведенные данные указывают на тесную корреляционную связь ( $K > u_{\alpha/2}$ ) между некоторыми показателями свойств и концентрациями реагентов: плотностью и  $c_c$ , условной вязкостью и  $c_c$ , межфазным натяжением и  $c_c$ , межфазным натяжением и  $c_n$  ( $u_{\alpha/2}$  – квантиль стандартизированного нормального распределения с доверительной вероятностью  $\alpha$ , для  $\alpha = 0,05$   $u_{\alpha/2} = 1,96$ ).

По данным таблицы 1 с помощью (2) построено уравнение для плотности биополимерной системы:

$$\rho = 985,9 + 6,3c_c - 11,6c_s, \tag{3}$$

оценка дисперсии адекватности которого составляет  $38,31 \text{ (кг/м}^3\text{)}^2$ . Для области планирования эксперимента концентрация неанола  $c_n$  не оказывает статистически значимого влияния на плотность системы. Отметим, что здесь и ниже единицы измерений параметров уравнений вида (1) и (3) соответствуют принятым в табл. 1 единицам измерений исходных величин.

В таблице 2 приведены оценки параметров уравнений (1) в соответствии с (2) для условной вязкости  $T$  и показателей статического напряжений сдвига  $\theta_1$  и  $\theta_{10}$ , а также дисперсий  $\sigma_\varepsilon^2$  адекватности. Класс  $E$  сформирован из линейной части полинома с включением комбинаций произведений, квадратов и кубов исходных факторов (см. табл. 2) и составил 1260 моделей.



Таблица 2 – Параметры уравнений состояния показателей свойств биополимерной системы

Базисные функции $b_i$	Параметры модели	Значения параметров $\hat{B}_{ij}$ модели						
		$T$	$\theta_1$	$\theta_{10}$	$\sigma$	$\tau_0$	$k$	$n$
1	$B_{i1}$	114,00	2,095	3,188	4,084	-1,942	1,574	0,283
$c_c$	$B_{i2}$	-2,310	-	-0,169	-0,140	0,546	-0,151	0,049
$c_s$	$B_{i3}$	-	-	-	-6,008	-	1,822	-0,334
$c_n$	$B_{i4}$	-	0,044	-	-9,614	-	22,73	-0,802
$c_s c_n$	$B_{i5}$	-	-	-	-0,628	-64,78	9,438	0,697
$c_c c_n$	$B_{i6}$	-	-	-	0,254	0,479	-3,474	0,052
$c_c c_s$	$B_{i7}$	-	-	-	0,210	0,452	-0,219	0,012
$c_n^2$	$B_{i8}$	-	-	0,101	11,941	-	-	-1,152
$c_s^2$	$B_{i9}$	-	0,067	0,283	3,765	-	-	-
$c_c^2$	$B_{i10} \cdot 10^3$	86,00	-1	8,000	3,351	-0,030	14,60	-3,373
$c_c c_n c_s$	$B_{i11}$	-	-0,085	-	0,809	4,752	-	0,033
$c_n^2 c_s$	$B_{i12}$	-	-	-	-3,501	-	-11,94	-1,065
$c_n^2 c_c$	$B_{i13}$	-	-	-	-0,638	-	-	-0,028
$c_s^2 c_n$	$B_{i14}$	-	2,253	-0,014	-14,074	-	-	-0,54
$c_s^2 c_c$	$B_{i15}$	-	-	-	-0,053	-	-	-0,012
$c_c^2 c_s$	$B_{i16} \cdot 10^3$	-	-	-	-2,990	-44,20	-	-
$c_c^3$	$B_{i17} \cdot 10^5$	-	4,509	-11,02	-1,714	0,518	-0,329	6,392
$c_c^2 c_n$	$B_{i18} \cdot 10^4$	-	-	-	-	-609,0	1721	-9,133
$c_n^3$	$B_{i19}$	-	-	-	-	-	-	3,201
$c_s^3$	$B_{i20}$	-	-0,216	0,233	-	-	-	0,257
$c_c^3 c_n$	$B_{i21} \cdot 10^3$	-	-	-	-	1,519	-2,640	-
$c_c^3 c_s$	$B_{i22} \cdot 10^4$	-	-	-	-	9,320	2,054	-
$c_c^2 c_s c_n$	$B_{i23} \cdot 10^3$	-	-	-	-	-2,985	-0,398	-
Дисперсия адекватности модели $\sigma_\epsilon^2$		33,43	0,010	0,011	0,023	0,138	0,165	$5,2 \cdot 10^{-4}$

Примечание: Для условной вязкости  $T$  и показателя нелинейности  $n$  оценки параметров  $B$  построены для модели (1), а других свойств – модели (4).

Для условной вязкости использовано модель (1), а для показателей статического напряжений сдвига  $\theta_1$  и  $\theta_{10}$  регрессионную модель в виде:

$$a(c_c, c_s, c_n) = \exp\{Bb(c_c, c_s, c_n)\} \tag{4}$$

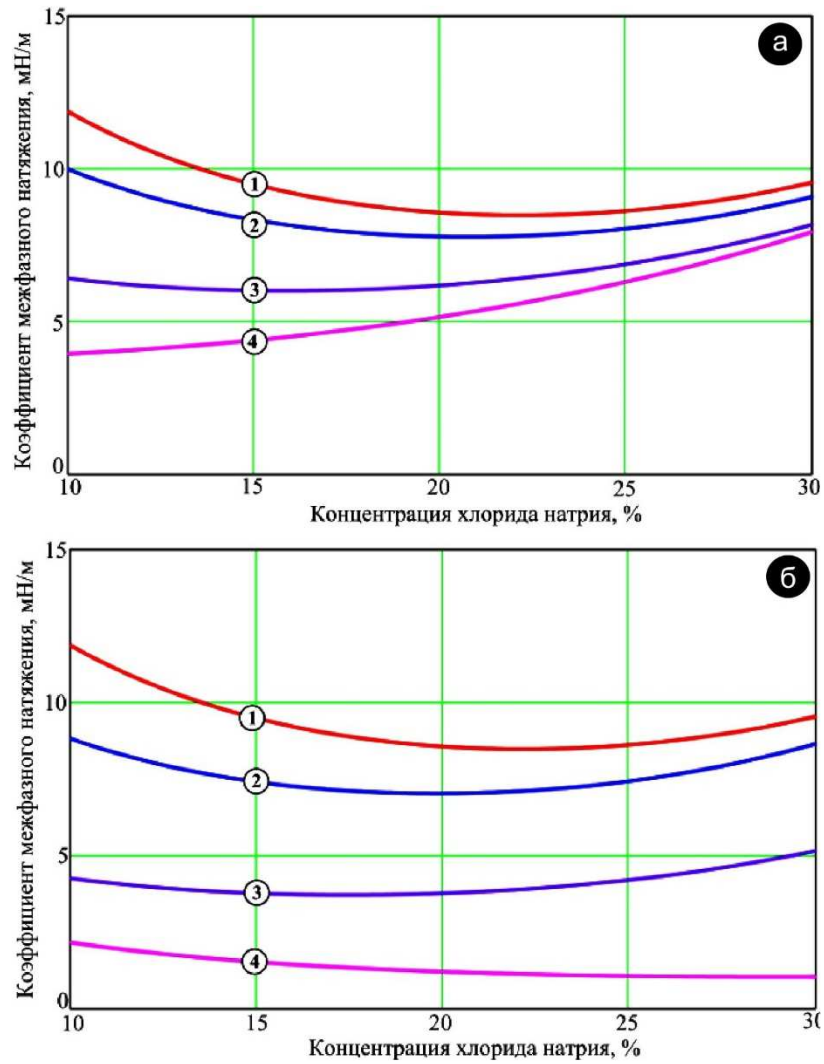
Оценки дисперсий адекватности модели (4) даны для ее линеаризованной формы.

### Поверхностные свойства

Уравнение для коэффициента межфазного натяжения построено в виде (4), а в таблице 2 приведены оценки его параметров  $B$  в соответствии с условием (2).

На рисунке 1 показано влияние концентрации хлорида натрия на коэффициент межфазного натяжения для различных сочетаний концентраций ПАВ. Анализ этих и других данных свидетельствует о различном влиянии  $c_c$  на характер изменения коэффициента межфазного натяжения  $\sigma$ . Наблюдаются монотонные увеличения или снижения коэффициента  $\sigma$  от концентрации хлорида натрия  $c_c$ , а также зависимости  $\sigma(c_c)$  с явно выделенными минимумами. Для  $c_c = idem$  с увеличением концентраций ПАВ коэффициент межфазного натяжения уменьшается.

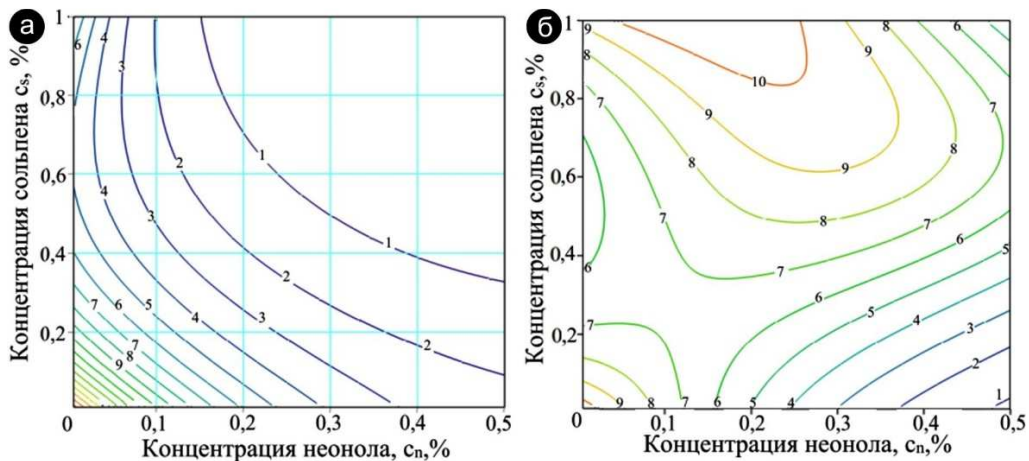
Проникновение фильтратов технологических жидкостей на водной основе, вследствие их физико-химического взаимодействия с пластовыми флюидами и горными породами, ухудшает коллекторские свойства продуктивных пластов. В [8] отмечено, что повышение реологических свойств эмульсий фильтрат технологической жидкости – нефть в сочетании с поверхностными явлениями на границах раздела фаз усложняют фильтрационные процессы в продуктивном пласте и снижают дебит скважины.



**Рисунок 1** – Зависимость коэффициента межфазного натяжения от концентрации хлорида натрия:  
 а –  $c_n = 0,05\%$ ; 1 –  $c_s = 0,05\%$ , 2 –  $c_s = 0,1\%$ , 3 –  $c_s = 0,25\%$ , 4 –  $c_s = 0,5\%$ ;  
 б –  $c_s = 0,05\%$ ; 1 –  $c_n = 0,05\%$ , 2 –  $c_n = 0,1\%$ , 3 –  $c_n = 0,25\%$ , 4 –  $c_n = 0,5\%$

Исследованиями показано [8], что выбор композиции ПАВ из условия минимизации межфазного натяжения на границе раздела фаз фильтрат – флюид существенно снижает реологические свойства возможных эмульсий в прискважинной зоне пласта. Это предопределяет соответствующие требования к составу композиции ПАВ.

На рисунке 2 показаны зависимости фиксированных значений концентраций хлорида натрия.



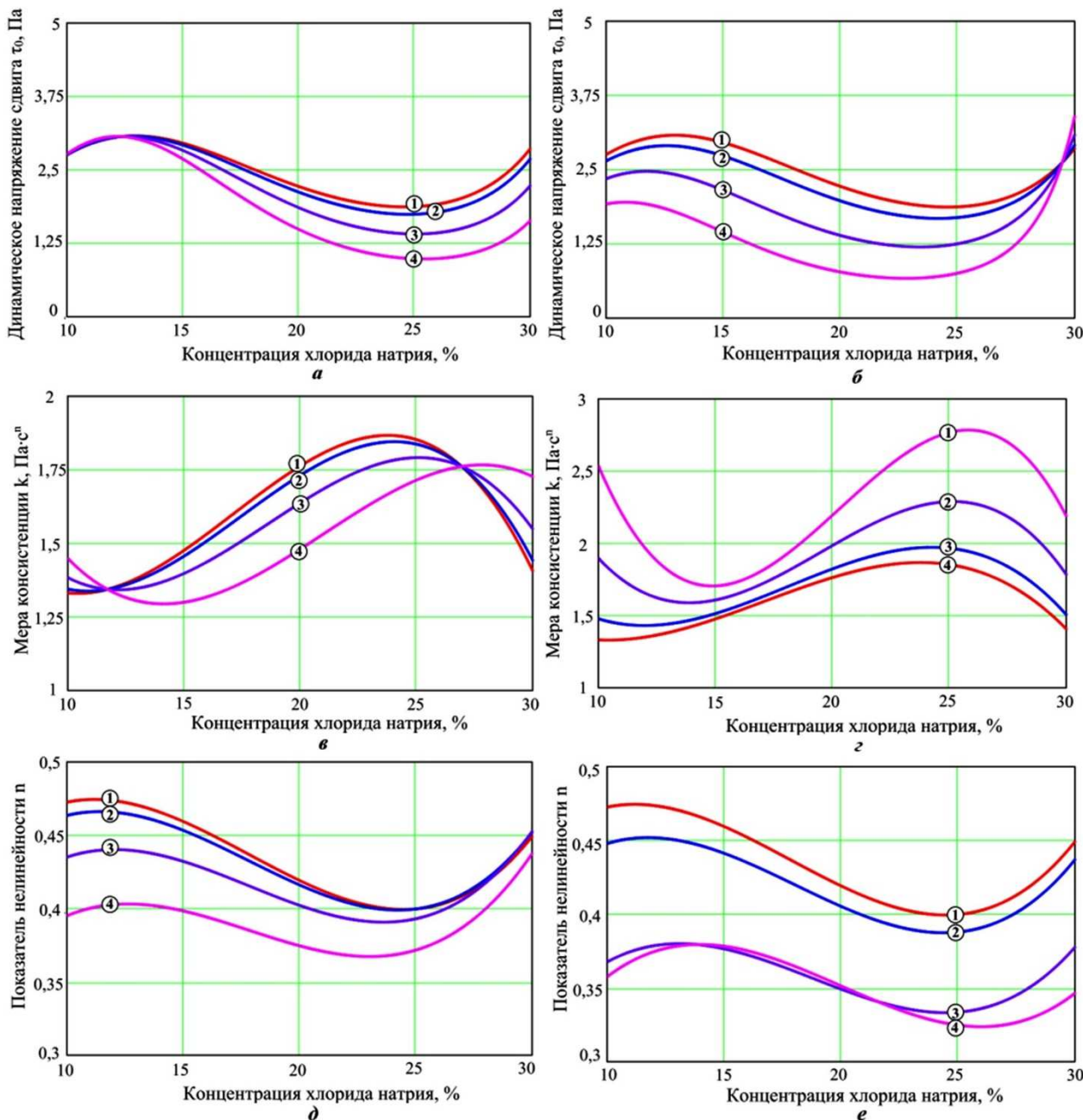
**Рисунок 2** – Зависимость коэффициента межфазного натяжения от концентраций неолола и сольпена:  
 а –  $c_c = 10\%$ ; б –  $c_c = 25\%$



Зависимости  $\sigma(c_s, c_n) = idem$  (рис. 2) для фиксированных значений концентраций хлорида натрия, которые построены с помощью регрессионной модели (4) с учетом данных таблицы 2 и иллюстрируют оптимальную область концентраций ПАВ. Эта область определена соответствующей изолинией, например  $\sigma(c_s, c_n) = 1$  мН/м и условием  $\sigma(c_s, c_n) \leq 1$  мН/м (см. рис. 2). Очевидно, что выбор оптимальных концентраций ПАВ зависит от ограничений на технологические свойства жидкости глушения.

**Реологические свойства**

Оценки параметров наиболее адекватных моделей показателей реологических свойств от концентраций хлорида натрия и ПАВ, а также их дисперсий адекватности приведены в таблице 2. На рисунке 3 показано влияние концентраций неолола и сольпена на характер зависимостей реологических свойств (динамическое напряжение сдвига, мера консистенции, показатель нелинейности) биополимерной системы от содержания хлорида натрия.



**Рисунок 3 –** Зависимость реологических параметров:  
 а, б – динамическое напряжение сдвига; в, г – мера консистенции;  
 д, е – показатель нелинейности) от концентрации хлорида натрия:  
 а, в, д –  $c_n = 0,05$  %; 1 –  $c_s = 0,05$  %, 2 –  $c_s = 0,1$  %, 3 –  $c_s = 0,25$  %, 4 –  $c_s = 0,5$  %;  
 б, г, е –  $c_s = 0,05$  %; 1 –  $c_n = 0,05$  %, 2 –  $c_n = 0,1$  %, 3 –  $c_n = 0,25$  %, 4 –  $c_n = 0,5$  %



Отметим, что в области планирования эксперимента переменные факторы ( $c_c, c_s, c_n$ ) не оказывают в количественном плане существенного влияния на показатели реологических свойств. В качественном отношении характерны нелинейные зависимости реологических свойств от концентраций хлорида натрия и ПАВ.

Анализ результатов исследований (см. табл. 1) указывает на отсутствие статистически значимой корреляционной связи между показателями реологических свойств и коэффициентом межфазного натяжения на границе раздела фаз фильтрат – нефть:

$$r_{\tau_0\sigma} = 0,144, K = 0,74; r_{k\sigma} = -0,235, K = 1,241; r_{n\sigma} = 0,340, K = 1,93 (K < u_{0,025} = 1,96).$$

Полученные уравнения регрессии показателей реологических (как и некоторых технологических) свойств представляют интерес при выборе оптимальной рецептуры жидкости глушения на основе биополимерной системы и хлорида натрия.

Очевидно, что выбор композиции ПАВ с целью понижения поверхностных свойств на границе раздела фаз фильтрат – флюид в каждом конкретном случае требует проведения комплекса экспериментальных исследований.

### Выводы

На основании результатов экспериментальных исследований изучены некоторые свойства биополимерной системы для глушения скважин, включающей (мас. %) ксантановую камедь Duovis (0,5), полианионную целлюлозу PAC-R (0,3), хлорид натрия (10 – 30), неолол АФ 9-19 (0–0,5) и сольпен 10-Т (0–1,0). Получены уравнения регрессии для оценки технологических (плотность, условная вязкость, статическое напряжение сдвига через 1 и 10 мин.) и реологических свойств, а также коэффициента межфазного натяжения на границе раздела фаз фильтрат – нефть Бугруватовского месторождения в зависимости от концентраций хлорида натрия и ПАВ.

Изучено влияние концентраций неолола и сольпена на коэффициент межфазного натяжения в зависимости от содержания хлорида натрия. Показано существование оптимальных областей концентраций ПАВ, обеспечивающих минимальные значения коэффициента межфазного натяжения для заданного содержания хлорида натрия.

Установлено наиболее адекватную реологическую модель Гершеля – Балкли во всех точках плана эксперимента биополимерной системы для глушения скважин. Отмечено статистически незначимую корреляционную связь между показателями реологических свойств и концентрациями хлорида натрия и ПАВ, а также коэффициентом межфазного натяжения. Показано нелинейный характер зависимостей показателей реологических свойств от концентраций хлорида натрия и ПАВ.

### Литература

1. Булатов А.И. Капитальный подземный ремонт нефтяных и газовых скважин в 4 томах / А.И. Булатов, О.В. Савенок. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012. – Т. 1 – 540 с.
2. Крылов В.И. Выбор жидкостей для заканчивания и капитального ремонта скважин / В.И. Крылов, В.В. Крещул. – М. : Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. – 196 с.
3. Рябоконт С.А. Технологические жидкости для заканчивания и ремонта скважин. Изд. 3-е, доп. и перераб. – Краснодар, 2016. – 383 с.
4. Мыслюк М.А. О методике определения реологических свойств дисперсных сред по данным ротационной вискозиметрии // Инженерно-физический журнал. – 1988. – Т. 54. – № 6. – С. 975–979.
5. Myslyuk M. The evaluation rheological parameters of non-Newtonian fluids by rotational viscosimetry / M. Myslyuk, I. Salyzhyn // Applied Rheology. – 2012. – № 22(3). – P. 32381 (7 pages).
6. Русанов А.И. Межфазная тензометрия / А.И. Русанов, В.А. Прохоров. – Санкт-Петербург : Химия, 1994. – 397 с.
7. Кісіль І.С. Аналіз процесу утворення крапель при вимірюванні поверхневого і міжфазного натягів сталагмометричним методом / І.С. Кісіль, С.В. Бульбас, К.О. Усенко // Методи та прилади контролю якості. – 1999. – № 3. – С. 21–24.
8. Мыслюк М.А. Об ухудшении коллекторских свойств продуктивных пластов / М.А. Мыслюк, Ю.М. Салыжин, В.В. Богославец // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 1. – С. 36–40.

### References

1. Bulatov A.I. Capital underground repairs of oil and gas wells in 4 volium / A.I. Bulatov, O.V. Savenok. – Krasnodar : Publishing house – South, 2012. – Vol. 1. – 540 p.
2. Krylov V.I. Selection of fluids for well completion and workover / V.I. Krylov, V.V. Kretsul. – M. : Russian State University of Oil and Gas I.M. Gubkina, 2005.–196 p.
3. Ryabokon S.A. Process fluids for completion and repair of wells. Ed. 3rd, add. and foreman. – Krasnodar, 2016.– 383 p.
4. Myslyuk M.A. About the methodology for determining the rheological properties of dispersed media according to rotational viscometry // Engineering Physics Journal. – 1988. – Vol. 54. – № 6. – P. 975–979.



5. Myslyuk M. The evaluation rheological parameters of non-Newtonian fluids by rotational viscosimetry / M. Myslyuk, I. Salyzhyn // *Applied Rheology*. – 2012. – № 22(3). – P. 32381 (7 pages).
6. Rusanov A.I. Interfacial tensometry / A.I. Rusanov, V.A. Prokhorov. –St. Petersburg : Chemistry, 1994.– 397 p.
7. Kasil I.S. Analysis of the process of droplet formation in the measurement of surface and interfacial tensions by the steelagmometric method / I.S. Kasil, S.V. Bulbas, K.O. Usenko // *Methods and devices of quality control*. – 1999. – № 3. – P. 21–24.
8. Myslyuk M.A. The deterioration of reservoir properties of productive layers / M.A. Myslyuk, Y.M. Salyzhyn, V.V. Bogoslavets // *Oil Industry*. – 2014. – № 1. – P. 36–40.