

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ БУРОВЫХ РЕАГЕНТОВ НА ОСНОВЕ КАМЕДЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

М.Е. Логинова¹, И.А. Четвертнева¹, Э.М. Мовсумзаде^{1,2}, Н.С. Тивас¹, Е.В. Чуйко¹

¹Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Российская Федерация, 450062
E-mail: ufamel@yandex.ru

²Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Российская Федерация, 117997
E-mail: eldammm@yahoo.com

Статья посвящена математическому моделированию при применении биополимерных реагентов на основе камедей ферментативного способа получения различных производителей - отечественного реагента марки КК (Россия), Кет-Х (США) и Родопол-23R (Франция). Использование данных реагентов в составе буровых растворов (БР) приводит к тому, что буровые растворы (БР) проявляют свойства псевдопластичности, которые необходимы для безаварийного прохождения многометровых горизонтальных интервалов и качественного вскрытия продуктивных пластов на различных месторождениях России, в том числе, месторождениях Волго-Уральского региона. Получены уравнения динамического напряжения сдвига (ДНС) и эффективной вязкости (ЭВ) в зависимости от концентрации исследуемых камедей (биополимерных реагентов) и скорости сдвига. Эти уравнения представляют собой функции двух переменных, которые визуализированы как поверхности в трехмерном пространстве, две оси которого соответствуют значениям независимых переменных (концентрации и скорости сдвига), а по третьей оси откладываются значения функции (ДНС, ЭВ). Из анализа данных, полученных уравнений и зависимостей по результатам экспериментальных данных, показано, что с повышением скорости сдвига величина динамического напряжения сдвига увеличивается для водных растворов с применением камеди марки КК, и уменьшается для растворов с применением реагентов марки Кет-Х и Родопол-23R. В то же время эффективная вязкость растворов с применением реагента марки КК уменьшается с увеличением скорости сдвига, в отличие от растворов с реагентами марки Кет-Х и Родопол-23R. Сравнительный анализ уравнений регрессии основных параметров буровых растворов с использованием данных реагентов позволил оценить эффективность различных камедей (биополимерных реагентов), как отечественного, так и зарубежного производства. Показано, что отечественный биополимерный реагент на основе камеди марки КК не только не уступает зарубежным аналогам (реагентам марки Кет-Х и Родопол-23R), но и превосходит их по проявлению псевдопластичных свойств в составе бурового раствора.

Ключевые слова: биополимерный буровой раствор, псевдопластичность, динамическое напряжение сдвига, эффективная вязкость, уравнение регрессии, факторы, факторное пространство

OPTIMIZATION OF CONCENTRATIONS OF DRILLING REAGENTS BASED ON GUMS USING MATHEMATICAL MODELING METHODS

M.E. Loginova¹, I.A. Chetvertneva¹, E.M. Movsumzade^{1,2}, N.S. Tivas¹, E.V. Chuyko¹

¹Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation, 450062

²Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Moscow, Russian Federation, 117997

The article is devoted to mathematical modeling when using biopolymer reagents based on gums of an enzymatic method for producing various manufacturers - domestic reagent of the brand

KK (Russia), Kem-X (USA) and Rodopol-23R (France). The use of these reagents in the composition of drilling muds leads to the fact that drilling muds exhibit pseudoplasticity properties that are necessary for accident-free passage of multi-meter horizontal intervals and qualitative penetration of productive formations at various fields in Russia, including those in the Volga-Ural region. Equations of dynamic shear stress (DPS) and effective viscosity (EV) were obtained depending on the concentration of the studied gums (biopolymer reagents) and shear rate. These equations are functions of two variables that are rendered as surfaces in three-dimensional space whose two axes correspond to the values of independent variables (concentration and shear rates), and the third axis lays the value of the function (DNA, EV). From the analysis of the data obtained by the equations and dependencies based on the results of experimental data, it was shown that with an increase in the shear rate, the value of the dynamic shear stress increases for aqueous solutions using KK gum, and decreases for solutions using Kem-X and Rodopol- 23R reagents. At the same time, the effective viscosity of solutions using the QC reagent decreases with increasing shear rate, in contrast to solutions with reagents of Kem-X and Rodopol-23R. Comparative analysis of the equations of regression of the main parameters of drilling fluids using these reagents made it possible to assess the effectiveness of various gums (biopolymer reagents), both domestic and foreign production. It has been shown that the domestic biopolymer reagent based on gum of KK brand is not only not inferior to foreign analogues (reagents of Kem-X and Rodopol-23R brands), but also exceeds them in the manifestation of pseudoplastic properties in the composition of drilling mud.

Key words: biopolymer drilling mud, pseudoplasticity, dynamic shear stress, effective viscosity, regression equation, factors, factor space

Для цитирования:

Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Мовсумзаде Э.М., Тивас Н.С., Чуйко Е.В. Оптимизация концентраций буровых реагентов на основе камедей с применением методов математического моделирования. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 1. С. 3–10. DOI: 10.6060/RCJ.2023671.1.

For citation:

Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Movsumzade E.M., Tivas N.S., Chuyko E.V. Optimization of concentrations of drilling reagents based on gums using mathematical modeling methods. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 1. P. 3–10. DOI: 10.6060/RCJ.2023671.1.

Промысловый опыт применения биополимерных буровых растворов, имеющих в своем составе реагенты на основе камедей, при проводке горизонтальных участков большой протяженности показал, что данные системы растворы наиболее эффективны по сравнению с другими полимерными системами буровых растворов, поскольку биополимерные растворы обладают уникальными псевдопластичными свойствами, которые обеспечивают [1–7]:

- эффективную работу бурильного инструмента (породоразрушающего) за счет высокой «мгновенной» фильтрации;

- хорошую удерживающую и выносящую способность благодаря структурированию при низких скоростях сдвига.

При этом наличие псевдопластичных свойств биополимерных растворов способствует снижению значений устьевого давления на величину до 3,5–5,5 МПа по сравнению с растворами, не обладающими данными свойствами. Данная способность биополимерных растворов не только

облегчает работу бурового и бурильного оборудования, но и в целом положительно влияет на технологический процесс бурения нефтегазовых скважин [8–10].

Очевидно, что стабильность свойств биополимерных растворов напрямую связана с природой, происхождением и псевдопластичностью применяемых в составе растворов высокомолекулярных компонентов – камедей, большое количество которых в настоящее время появилось на рынке реагентов для буровых растворов.

В работе проведены экспериментальные исследования псевдопластичных свойств различных биополимерных реагентов на основе камедей как отечественного, так и зарубежного производства с целью оптимизации концентраций биополимерных буровых реагентов на основе камедей с применением методов математического моделирования [11–17].

Многие научные исследования сводятся к решению экстремальных задач, направленных на отыскание оптимальных условий протекания про-

цессов или на оптимальный выбор состава многокомпонентных систем [18, 19].

Существуют два различных подхода к решению подобной рода задач.

Первый подход заключается в том, чтобы хорошо изучить механизм процесса или свойства состава, а затем создать теорию процесса, с помощью которой будут решаться экстремальные задачи. Однако этот путь очень долгий и поэтому он используется редко.

Второй подход – экспериментальный, когда экстремальные задачи решаются при неполном знании механизма явлений.

Методы эмпирического поиска оптимальных условий протекания процессов долгое время оставались неформализованными. Экспериментатор выбирал тот или иной путь исследования, базируясь только на своём опыте и интуиции. Лишь совсем недавно, на протяжении последних 45-50 лет, стала развиваться математическая теория экстремальных экспериментов, позволяющая выбирать оптимальную стратегию исследования при неполном знании механизмов явлений.

Эффективность этого метода тем выше, чем сложнее изучаемая система.

Очень важным здесь является то, что экспериментатор одновременно получает и математическую модель процесса, которая может быть использована при переходе к автоматическому управлению.

На математическом языке задача формулируется следующим образом: нужно получить некоторое представление о функции отклика:

$$Y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (1)$$

где η – параметр процесса, подлежащий оптимизации; $x_1; x_2; \dots; x_k$ – независимые переменные, которые можно варьировать при постановке экспериментов. Переменные x_1, x_2, \dots, x_k называются факторами, а пространство, образуемое ими, – факторным пространством.

Геометрический образ, соответствующий функции отклика, называют поверхностью отклика. Зависимая переменная Y имеет еще много других названий: выходной параметр, параметр оптимизации, отклик, цель, целевая функция и другие.

Применение метода математического моделирования для прогнозирования основных параметров буровых растворов позволяет изучать и прогнозировать их свойства, а также определять оптимальные условия их функционирования [18–20].

Таким образом, математическая модель рассматриваемых в работе параметров БР при регулировании свойств буровых растворов для вскрытия продуктивных пластов может быть описана

либо на основе анализа статистических данных, либо на основе установленных (детерминированных) математических моделей. В связи с отсутствием детерминированных моделей в работе использовался метод статистической обработки данных с линейной моделью, имеющей две входные переменные. Для отдельных выходных параметров была рассмотрена модель степенной зависимости. Все полученные уравнения проверялись на корректность с помощью коэффициента детерминации. Также на основе результатов вычисления и удобства использования нужно было определить оптимальный программный пакет для математического моделирования. С этой целью для выполнения обработки данных использовались программные пакеты Excel, Maple17.

При бурении горизонтальных скважин широкое применение получили реологически сконструированные системы буровых растворов на основе биополимерных реагентов (камедей) ксантанового типа, поскольку применение биополимерных реагентов за счет придания раствору псевдопластичных свойств обеспечивает более эффективную очистку горизонтального ствола скважин от частиц выбуренной породы и способствует снижению загрязняющего действия БР на продуктивный пласт [11, 12, 21].

Поэтому наличие псевдопластических свойств у данных систем БР, характеризующихся снижением эффективной вязкости [12, 13, 16, 19] (при высоких скоростях сдвиговых нагрузок) и загущением раствора (при низких сдвиговых нагрузках) является их принципиальным отличием от других систем буровых растворов, не имеющих в своем составе камедей.

Биополимерные добавки (камеди) стали применяться с 1997 года [10, 12, 16] на месторождениях Башкортостана растворы. В качестве биополимерного реагента (камеди) использовался микробный полисахарид с торговым названием Кет-Х, поставляемый американской фирмой Кет-Трон. Проведенные исследования структурно-реологических свойств водных растворов различных типов камедей, позволили оценить их эффективность, в том числе марки КК (Россия), Кет-Х (США) и Родопол-23R, производимый французской фирмой Rhodia. Данные экспериментов, показывающие изменение динамического напряжения сдвига приведены в табл. 1, а данные экспериментов, показывающие зависимость эффективной вязкости водных растворов полисахаридов от скорости сдвига приведены в табл. 2. Исследования проводились на 12-ти скоростном вискозиметре Фанн-35 SA.

Таблица 1

Зависимость динамического напряжения сдвига водных растворов биополимеров от скорости сдвига

Марка биополимера	Концентрация биопол., %	Скорость сдвига, об/мин											
		600	300	200	180	100	90	60	30	6	3	1,8	0,9
		Динамическое напряжение сдвига, дПа											
Ксантановая камедь	0,10	44,46	30,66	26,06	25,04	20,44	17,89	15,33	11,24	6,132	5,11	4,088	2,555
	0,25	76,65	58,77	51,1	48,55	40,88	38,33	30,66	23	12,78	10,22	7,665	5,11
	0,50	138	112,4	102,2	99,65	86,87	84,32	79,21	66,43	51,1	43,44	38,33	33,22
	0,75	204,4	168,6	158,4	155,9	140,5	138	132,9	125,2	104,8	89,43	81,76	66,43
	1,00	281,1	242,7	224,8	222,3	207	201,8	194,2	184	155,9	145,6	132,9	127,8
Кем-Х	0,10	68,99	51,1	43,44	40,88	33,22	31,68	28,11	23	7,665	5,11	3,577	1,022
	0,25	139	109,9	94,54	93	79,21	76,65	68,99	58,77	41,9	36,79	33,22	28,11
	0,50	278,5	230	204,4	201,8	178,9	176,3	166,1	150,7	125,2	115	104,8	99,65
	0,75	424,1	352,6	319,4	316,8	281,1	275,9	255,5	230	186,5	171,2	161	143,1
	1,00	523,8	467,6	421,6	413,9	367,9	360,3	334,7	286,2	217,2	201,8	186,5	163,5
Родопол-23R	0,10	45,99	30,66	24,53	23	16,35	15,33	13,8	10,22	6,132	5,11	4,088	2,555
	0,25	102,2	71,54	59,79	56,21	44,46	41,9	35,77	30,66	18,91	15,33	12,78	10,22
	0,50	237,6	186,5	163,5	155,9	132,9	128,8	116,5	101,2	76,65	68,99	63,88	58,77
	0,75	365,4	291,3	256,5	251,4	218,2	214,6	196,7	178,9	144,1	136,4	127,8	120,1
	1,00	493,1	408,8	357,7	350	309,2	304	283,6	255,5	204,9	194,2	181,4	171,2

Таблица 2

Зависимость эффективной вязкости водных растворов биополимеров от скорости сдвига

Марка биополимера	Концентрация биопол., %	Скорость сдвига, об/мин											
		600	300	200	180	100	90	60	30	6	3	1,8	0,9
		Эффективная вязкость, мПа·с											
Ксантановая камедь	0,10	4,35	6	7,65	8,163	12	11,67	15	22	60	100	133,3	166,7
	0,25	7,5	11,5	15	15,83	24	25	30	45	125	200	250	333,3
	0,50	13,5	22	30	32,49	51	54,99	77,5	130	500	850	1250	2167
	0,75	20	33	46,5	50,81	82,5	89,99	130	245	1025	1750	2667	4333
	1,00	27,5	47,5	66	72,47	121,5	131,7	190	360	1525	2850	4333	8333
Кем-Х	0,10	6,75	10	12,75	13,33	19,5	20,66	27,5	45	75	100	116,7	66,67
	0,25	13,6	21,5	27,75	30,32	46,5	50	67,5	115	410	720	1083	1833
	0,50	27,25	45	60	65,81	105	115	162,5	295	1225	2250	3417	6500
	0,75	41,5	69	93,75	103,3	165	180	250	450	1825	3350	5250	9333
	1,00	51,25	91,5	123,8	134,9	216	235	327,5	560	2125	3950	6083	10667
Родопол-23R	0,10	4,5	6	7,2	7,497	9,6	9,999	13,5	20	60	100	133,3	166,7
	0,25	10	14	17,55	18,33	26,1	27,33	35	60	185	300	416,7	666,7
	0,50	23,25	36,5	48	50,81	78	83,99	114	198	750	1350	2083	3833
	0,75	35,75	57	75,3	81,97	128,1	140	192,5	350	1410	2670	4167	7833
	1,00	48,25	80	105	114,1	181,5	198,3	277,5	500	2005	3800	5916	11167

Табл. 3 является матрицей планирования эксперимента, которая была нами обработана с применением методов математического моделирования. Для этого в качестве входных X_i и выходных Y_i (измеренных/рассчитанных в ПО) параметров были определены следующие показатели:

- X_1 – Концентрация ксантановой камеди, %;
- X_2 – Концентрация реагента Кем-Х, %;
- X_3 – Концентрация реагента Родопол-23R, %;
- X_4 – Скорость сдвига, об/мин;

Y_1 – Динамическое напряжение сдвига для реагента с ксантановой камедью, т.е зависит от X_1 и X_4 , дПа;

Y_2 – ДНС для реагента с Кем-Х, зависит от X_2 и X_4 , дПа;

Y_3 – Динамическое напряжение сдвига для реагента Родопол-23R, зависит от X_3 и X_4 , дПа;

Y_4 – Эффективная вязкость для реагента с ксантановой камедью, зависит от X_1 и X_4 , мПа·с;

Y_5 – ЭВ для реагента с Кем-Х, зависит от

X_2 и X_4 , мПа·с;

Y_6 – ЭВ для реагента с Родопол-23R, зависит от X_3 и X_4 мПа·с.

За основу принято допущение, что все выходные параметры имеют линейный характер распределения (линейные зависимости).

Таблица 3

Независимые переменные

Концентрация ксантановой камеди, %	Концентрация Кет-Х, %	Концентрация Родопол-23R, %	Скорость сдвига, об/мин
X_1	X_2	X_3	X_4
0,1	0,1	0,1	1,8
0,25	0,25	0,25	8
0,5	0,5	0,5	60
0,75	0,75	0,75	200
1	1	1	600

В классическом подходе математического моделирования используется следующий алгоритм выведения зависимостей типа $Y_i=f(X_i)$: первоначально принимается гипотеза о линейности данных зависимостей, выводится уравнение, которое проверяется на адекватность при принятой величине среднеквадратического отклонения (обычно погрешность модели принимается 5% или 10%). Точки, которые находятся за пределом доверительного интервала, исключаются из модели и модель снова оценивается на адекватность. В случае не-

адекватности модели (большая погрешность модели), принимается гипотеза о нелинейном характере функции $Y_i = f(X_i)$ и производится очередная итерация и оценка адекватности принятой модели.

Данный подход требует множество итераций и является достаточно трудоемким. В связи с этим, в данной работе используется другой подход: по полученным линейным моделям первоначально оценивалась величина их фактической погрешности (коэффициент детерминации), в соответствии с которыми принималось решение о применении нелинейных моделей для отдельных выходных параметров Y_i , имеющих достаточно большую погрешность. Преимуществом данного подхода, по сравнению с традиционным, классическим подходом, является возможность оценки точности каждой модели до проведения оценки ее адекватности на линейность. Также принятый подход позволяет работать с малым количеством исходных данных (небольшой матрицей планирования).

Результаты обработки матрицы планирования.

В ходе расчетов по данным табл. 1-2, с применением методов планирования эксперимента были получены 6 линейных уравнений регрессии (таблица 4), которые описывают выходные параметры Y_i , в зависимости от изменения входных значений X_i типа:

$$Y_i = a + b \cdot X_i + c \cdot X_j + d \cdot X_i \cdot X_j$$

Значения констант а и коэффициентов а, b, c, d представлены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов коэффициентов уравнений регрессии

Константы	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Y_6
(a)	-6,2548	0	0	0	0	-360
(b)	140,39	190,388	221	1202,3	3361	2200
(c)	0,031	-0,093	-0,023	-0,6	0,131	0,52
(d)	0,304	1,693	0,65	-2,02	-7,957	-6,5
Коэффициент детерминации	0,86	0,82	0,81	0,77	0,77	0,74

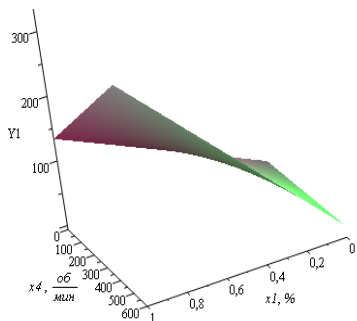
По результатам расчетов (табл. 4) на рисунке представлены трехмерные поверхности ДНС и ЭВ в зависимости от двух переменных (концентраций реагентов и скорости сдвига).

Из анализа данных, приведенных в табл. 4, очевидно, что с повышением скорости сдвига величина динамического напряжения сдвига увеличивается для водных растворов с применением камеди КК, и уменьшается для растворов с применением реагентов Кет-Х и Родопол- 23R. В то же время эффективная вязкость растворов с приме-

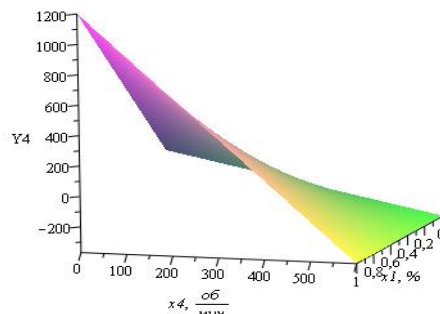
нием реагента КК уменьшается с увеличением скорости сдвига, в отличие от растворов с реагентами Кет-Х и Родопол-23R, о чем говорит знак при коэффициенте с. Результаты экспериментальных исследований показали, что у водных растворов с наличием отечественного реагента - камеди ксантановой природы КК преобладают свойства псевдопластичности более явно, чем у зарубежных реагентов Кет-Х и Родопол- 23R, поскольку наблюдается большее снижение значений реологических характеристик водного раствора реагента марки

КК от повышения сдвиговых нагрузок и повышение их значений в большей степени при снижении сдвиговых нагрузок при сравнении с аналогич-

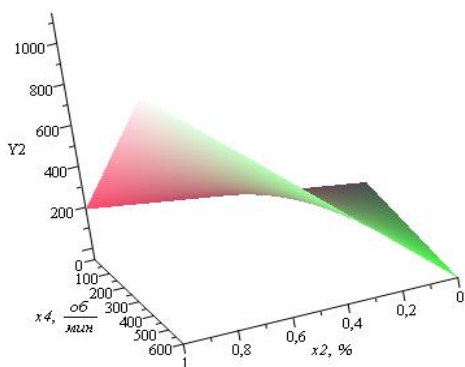
ными зависимостями водных растворов биополимерных реагентов марки Кем-Х и Родопол- 23R [22–25].



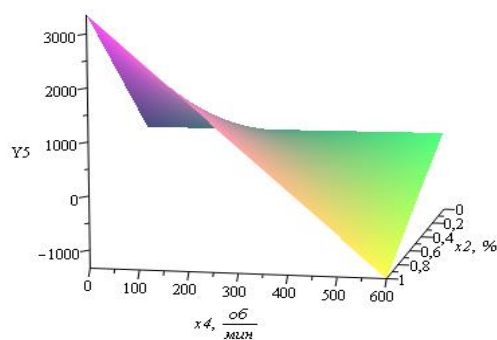
1а



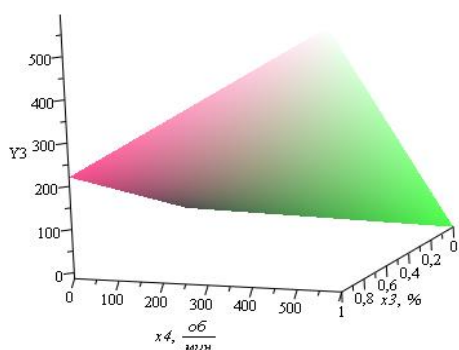
1б



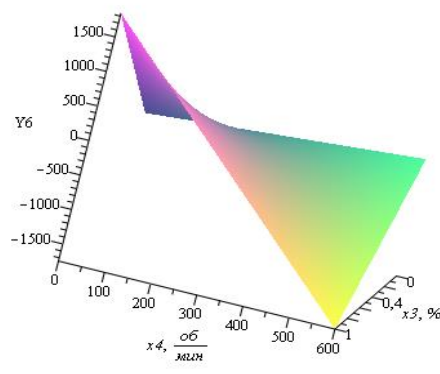
2а



2б



3а



3б

Рисунок. Трехмерные поверхности динамического напряжения сдвига (а) и эффективной вязкости (б)

- 1 – от концентрации камеди x_1 и скорости сдвига x_4 ;
- 2 – от концентрации реагента Кем-Х x_2 и скорости сдвига x_4 ;
- 3 – от концентрации Родопол-23R x_3 и скорости сдвига x_4

Таким образом, считаем, что применение биополимерных реагентов (камедей) является перспективным и востребованным направлением практики бурения, особенно при прохождении многометровых горизонтальных стволов нефтегазовых скважин для обеспечения безаварийного процесса бурения, эффективной очистки ствола скважин и качественного вскрытия продуктивных пластов. Особенно важным в настоящее время яв-

ляется, по нашему мнению, применение более эффективных реагентов отечественного производства на основе ксантановой камеди, что отвечает государственной политике импортозамещения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Шарипов А.У. Научные и технологические основы применения полимерных растворов при бурении и заканчивании глубоких скважин. - Москва:ВНИИОЭНГ, 1991. 51 с.
2. Пеньков А.И., Никитин Б.А. Состав и свойства буровых растворов для строительства горизонтальных скважин. Материалы НТС РАО Газпром. Ставрополь. 1996. С. 63–73.
3. Грей Дж.Р., Дарли Г.С.Г. Состав и свойства буровых агентов (промывочных жидкостей). М.: Недра, 1985. 509 с.
4. Рязанов Я.А. Энциклопедия по буровым растворам. - Оренбург: Летопись. 2005. 664 с.
5. Кошелев В.Н., Вахрушев Л.П., Беленко Е.В., Лушпаева О.А. Полимер-дисперсные синергетические явления и новые системы буровых растворов. Нефтяное хозяйство. 2001. № 4. С. 22–23.
6. Лукманов Р.Р., Антонов К.В., Шарипов А.У., Четвертнева И.А. Эффективность бурения и заканчивания скважин при применении полимерных растворов Москва, ВНИИОЭНГ. 1995. 31 с.
7. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Рябченко В.И. Технология промывки скважин. М.: Недра. 1981. 303 с.
8. Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Тивас Н.С. Особенности вскрытия аргиллитно-глинистых отложений при бурении горизонтальных скважин. Материалы VI Международной научно-практической конференции Булатовские чтения. (31 марта 2022 г.) С. 402–404.
9. Роговина С.З., Прут Э.В., Берлин А.А. Композиционные материалы на основе синтетических полимеров, армированных волокнами природного происхождения. Высокомолек. соед. Сер. А. 2019. Т. 61. № 4. С. 291–315.
10. Четвертнева И.А., Тептерева Г.А., Шавишукова С.Ю., Конесев В.Г. Появление, развитие и совершенствование различных типов буровых растворов в мировой и отечественной практике. История и педагогика естествознания. 2019. № 2. С. 25–29. DOI: 10.24411/2226-2296-2019-10204.
11. Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Исмаков Р.А., Мовсумзаде Э.М., Чуико Е.В. Исследование влияния нового биополимерного реагента на свойства безглинистого полимерного бурового раствора. Нефтегазохимия. 2022. № 4. С. 36–39. <https://doi.org/10.24411/2310-8266-2022-4-36-39>.
12. Четвертнева И.А., Тептерева Г.А., Гайсин И.Ф., Шавишукова С.Ю. Оценка эффективности применения биополимерных буровых реагентов при бурении горизонтальных стволов. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2019. № 2. С. 40–43.
13. Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Мовсумзаде Э.М., Ахтямов Э.К., Чуико Е.В., Тивас Н.С. Возникновение и развитие систем буровых растворов с начала XX века. Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук», посвященной памяти профессора В.Х. Хамаева, 2022 г. Уфа. С. 221–225.
14. Шарипов А.У. Scientific and technological bases of application of polymer solutions in drilling and completion of deep wells. Moscow:VNIIOENG. 1991. 51 p.
15. Penkov A.I., Nikitin B.A. Composition and properties of drilling fluids for the construction of horizontal wells. Materials of NTS RAO Gazprom. Stavropol. 1996. P. 63-73.
16. Gray J.R., Darley G.S.G. Composition and properties of drilling agents (washing liquids). Moscow. Nedra, 1985. 509 p.
17. Ryazanov Ya.A. Encyclopedia of drilling fluids. - Orenburg: Chronicle. 2005. 664 p.
18. Koshelev V.N., Vakhrushev L.P., Belenko E.V., Lushpaeva O.A. Polymer-dispersed synergetic phenomena and new systems of drilling fluids. Oil industry. 2001. N 4. P. 22-23.
19. Lukmanov R.R., Antonov K.V., Sharipov A.U., Chetvertneva I.A. Efficiency of drilling and completion of wells when using polymer solutions Moscow.: VNIIOENG. 1995. 31 p.
20. Bulatov A.I., Proselkov Yu.M., Ryabchenko V.I. Technology of well flushing. M.: Nedra. 1981. 303 p.
21. Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Tivas N.S. Features of the opening of mudstone-clay deposits when drilling horizontal wells. Materials of the VI International Scientific and Practical Conference Dulatov readings. (March 31, 2022) P. 402-404.
22. Rogovina S.Z., Prut E.V., Berlin A.A. Composite materials based on synthetic polymers reinforced with fibers of natural origin. High-molecular compounds. Ser. A. 2019. V. 61. N 4. P. 291-315.
23. Chetvertneva I.A., Teptereva G.A., Shavshukova S.Yu., Knyazev V.G. Appearance, development and improvement of various types of drilling fluids in world and domestic practice. History and pedagogy of natural science. 2019. N 2. P. 25-29. DOI: 10.24411/2226-2296-2019-10204.
24. Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Ismakov R.A., Movsumzade E.M., Chuiko E.V. Investigation of the effect of a new biopolymer reagent on the properties of a clay-free polymer drilling mud. Oil and gas chemistry. 2022. N 4. P. 36-39. <https://doi.org/10.24411/2310-8266-2022-4-36-39>.
25. Chetvertneva I.A., Teptereva G.A., Gaisin I.F., Shavshukova S.Yu. Evaluation of the effectiveness of the use of biopolymer drilling reagents when drilling horizontal shafts. Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials. 2019. N 2. P. 40-43.
26. Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Movsumzade E.M., Akhtyamov E.K., Chuiko E.V., Tivas N.S. The emergence and development of drilling mud systems since the beginning of the twentieth century. Materials of the International Scientific and Technical Conference "Actual problems of technical, natural and humanitarian sciences" dedicated to the memory of Professor V.H. Khamaev. Ufa. 2022. P. 221-225.
27. Kuksov V.A. Research and development of polymer clay-free solutions for drilling and completion of directional and horizontal wells: Dis. Candidate of Technical Sciences: Krasnodar. 2001. 135 p.

14. Куксов В.А. Исследование и разработка полимерных безглинистых растворов для бурения и заканчивания наклонно направленных и горизонтальных скважин: Дис. канд. техн. наук: Краснодар. 2001. 135 с.
15. Логинова М. Е., Конесев Г. В., Тептерева Г. А., Мовсумзаде Э. М., Бабушкин Э. В., Буянова М. Г. Обоснование рецептуры модифицированного бурового раствора для применения при строительстве скважин севера Западной Сибири. Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2022. N 1. 015-018. №3. С. 13–19.
16. Heinze T., Koschella A. Carboxymethyl ethers of cellulose and starch. *Macromolecular Symposia*. 2005. V. 223. N 1. P. 13–40.
17. Четвертнева И.А., Каримов О.Х., Тептерева Г.А., Акчурин Х.И. Практические аспекты применения буровых реагентов на основе природных полимеров на месторождениях Башкортостана. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2020. № 1. С. 42–47.
18. Ибатуллин В.В., Логинова М.Е., Дихтярь Т.Д. Синтетические промывочные жидкости для бурения скважин в сложных горно-геологических условиях. В сборнике: современные технологии в нефтегазовом деле. Сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х т. 2019. С. 328–331.
19. Логинова М.Е., Конесев Г.В., Тептерева Г.А., Баулин О.А., Мовсумзаде Э.М., Бабушкин Э.В., Буянова М.Г. Применение метода планированного эксперимента для обоснования рецептуры модифицированного бурового раствора. Промышленное производство и использование эластомеров. 2021. № 4. С. 27–34. DOI: 10.24412/2071-8268-2021-4-27-34.
20. Крылов В.И., Крецул В.В. Реологическое моделирование биополимерных промывочных жидкостей. Нефтеотдача. 2002. № 5. С. 16–20.
21. Логинова М.Е., Агзамов Ф.А., Исмаков Р.А., Аль-сухили М.Х., Бабкина А.А. Оптимизация реологических свойств тампонажного материала использованием функции желательности. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2022. № 3-4. С. 51–55. DOI:10.24412/0131-4270-2022-3-4-51-55.
22. Логинова М.Е., Мовсумзаде Э.М., Четвертнева И.А., Шаммазов А.М. О профилях скоростей биополимерных буровых растворов. Российский химический журнал. 2022. Т. LXVI. №3. С. 50–55.
23. Колчина Г.Ю., Тептерева Г.А., Каримов О.Х., Чуйко Е.В., Каримов Э.Х., Мовсумзаде Э.М., Логинова М.Е. Гетероатомные модификаторы в процессах адсорбции и мембранной диффузии. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 12–19.
24. Логинова М.Е., Четвертнева И.А., Мовсумзаде Э.М., Тивас Н.С. Псевдопластичные свойства реагентной системы на основе природных полимеров. IX Международная (XVII Всероссийская) научно-практическая конференция «Нефтепромысловая химия». 2022. С. 67–69.
25. Логинова М.Е., Тептерева Г.А., Баулин О.А., Мовсумзаде Э.М., Бабкина А.А., Четвертнева И.А., Чуйко Е.В., Ахтямов Э.К. Синергетический эффект композиций крахмала и камеди для дисперсионных сред. Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2022. № 1-2. С. 83–87. DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-83-87.
26. Валеева Н.Ш., Хасанова Г.Б. Биополимеры – перспективный вектор развития полимерной промышленности. Вестник технологического университета. 2013. Т. 16. Вып. 22. С. 184–187.
27. Loginova M. E., Konesev G. V., Teptereva G. A., Movsumzade E. M., Babushkin E. V., Buyanova M. G. Substantiation of the formulation of modified drilling mud for use in the construction of wells in the north of Western Siberia, *Scientific works of NIPI Neftegaz SOCAR*. 2022. N 1. 015-018. N 3. P. 13-19.
28. Heinze T., Koschella A. Carboxymethyl ethers of cellulose and starch. *Macromolecular Symposia*. 2005. V. 223. N 1. P. 13–40.
29. Chetvertneva I.A., Karimov O.H., Teptereva G.A., Akchurin H.I. Practical aspects of the use of drilling reagents based on natural polymers in the fields of Bashkortostan. *Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials*. 2020. N 1. P. 42-47.
30. Ibatullin V.V., Loginova M.E., Dichtyar T.D. Synthetic washing fluids for drilling wells in difficult mining and geological conditions. In the collection: modern technologies in the oil and gas business. *Proceedings of the International Scientific and technical conference in 2 t*. 2019. P. 328-331.
31. Loginova M.E., Konesev G.V., Teptereva G.A., Baulin O.A., Movsumzade E.M., Babushkin E.V., Buyanova M.G. Application of the planned experiment method to substantiate the formulation of modified drilling mud. *Industrial production and use of elastomers*. 2021. N 4. P. 27-34. DOI: 10.24412/2071-8268-2021-4-27-34.
32. Krylov V.I., Kretsul V.V. Rheological modeling of biopolymer washing liquids. *Oil recovery*. 2002. N 5. P. 16-20.
33. Loginova M.E., Agzamov F.A., Ismakov R.A., Al-saheli M.H., Babkina A.A. Optimization of rheological properties of grouting material using the desirability function. *Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials*. 2022. N 3-4. P. 51-55. DOI:10.24412/0131-4270-2022-3-4-51-55.
34. Loginova M.E., Movsumzade E.M., Chetvertneva I.A., Shammazov A.M. On velocity profiles of biopolymer drilling fluids. *Russian Chemical Journal*. 2022. V. LXVI. N 3. P. 50-55.
35. Kolchina G.Yu., Teptereva G.A., Karimov O.H., Chuiko E.V., Karimov E.H., Movsumzade E.M., Loginova M.E. Heteroatomic modifiers in the processes of adsorption and membrane diffusion. *Izv. universities. Chemistry and chemical technology*. 2022. V. 65. N 6. P. 12-19.
36. Loginova M.E., Chetvertneva I.A., Movsumzade E.M., Tivas N.S. Pseudoplastic properties of a reagent system based on natural polymers. IX International (XVII All-Russian) Scientific and practical conference "Oilfield chemistry". 2022. P. 67-69.
37. Loginova M.E., Teptereva G.A., Baulin O.A., Movsumzade E.M., Babkina A.A., Chetvertneva I.A., Chuiko E.V., Akhtyamov E.K. Synergetic effect of starch and gum compositions for dispersion media. *Transportation and storage of petroleum products and hydrocarbon raw materials*. 2022. N 1-2. P. 83-87. DOI: 10.24412/0131-4270-2022-1-2-83-87.
38. Valeeva N.S., Khasanova G.B. Biopolymers – a promising vector of polymer industry development. *Bulletin of the Technological University*. 2013. V. 16. N 22. P. 184-187.

Поступила в редакцию (Received) 29.11.2022

Принята к опубликованию (Accepted) 17.03.2023