

УДК 622.244.442

## Исследование новых составов буровых растворов на основе биополимеров для бурения скважин в сложных условиях

Вафин Р. М.

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия*

Поступила в редакцию 01.03.11, принята к печати 18.03.11

### **Аннотация**

В статье представлены результаты исследования основных свойств растворов на основе биополимеров ксантанового ряда в зависимости от концентрации. Проведены исследования плотности минеральной части шлаков, абразивности, магнитных свойств и фракционного состава подготовленного утяжеляющего агента.

Ключевые слова: буровой раствор, биополимер.

На кафедре бурения скважин Санкт-Петербургского государственного горного института ведутся исследования по созданию рецептур промысловых жидкостей повышенной плотности для бурения скважин с аномально высокими пластовыми давлениями.

Утяжеленные буровые растворы представляют собой сложные многокомпонентные системы с большим содержанием твердой фазы (выбуренная порода, утяжелитель и т.д.). Создание таких систем возможно увеличением концентрации дисперсионной фазы или увеличением плотности непосредственно самой дисперсной среды раствора. В процессе бурения утяжеленный раствор подвергается термобарическим и солевым воздействиям, влиянию пластового флюида. Все эти факторы приводят к ухудшению показателей растворов. В связи с этим приходится выполнять дополнительные обработки раствора с одновременным регулированием плотности, вводом утяжелителя, а так же вести постоянный контроль за структурно-реологическими и седиментационными характеристиками утяжеленного раствора.

Основным критерием оценки эффективности тех или иных составов утяжеленных растворов является их способность удерживать утяжеляющий материал в скважинных термобарических условиях. В настоящее время при бурении нефтяных и газовых скважин, особенно при вскрытии продуктивных пластов, все большее распространение приобретают малоглинистые и безглинистые буровые растворы, основным загущающим компонентом в которых выступает ксантановый полимер. За счет особенностей микробных полисахаридов, биополимерные растворы, в отличие от глинистых, обладают уникальными структурно-реологическими свойствами, а именно низкой пластической вязкостью, высоким динамическим напряжением сдвига и повышенными структурными характеристиками. При высоких градиентах сдвига эффективная вязкость раствора резко снижается и приближается к вязкости воды. Подобные реологические свойства обеспечивают высокие скорости бурения и эффективную очистку забоя и ствола скважины от шлама.

Исследовались составы безглинистых буровых растворов на основе биополимеров ксантановой смолы российского производства «Робус» и французского «Rhodopol».

В табл. 1 представлены результаты измерения параметров растворов, в зависимости от концентрации биополимеров.

Табл. 1. Технологические параметры биополимерных растворов (через 2 часа)

Концентрация реагента по массе	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Водоотдача за 30 мин., см <sup>3</sup>	СНС через 10 мин., Па	Предельное напряжение сдвига, дПа	Коэффициент консистенции, Па·с	Показатель текучести	Коэффициент трения корки
0,5% Робус	1040	8,6	9,3	23,3	1,8	0,3231	0,0476
0,6% Робус	1040	8,4	14,4	24,3	4,27	0,2725	0,0484
0,7% Робус	1040	8,1	28,8	30,2	5,97	0,2681	0,0586
0,8% Робус	1050	7,3	43,54	33,7	7,18	0,2637	0,0629
0,9% Робус	1052	6,7	49,76	39,3	14,05	0,2671	0,0654
1% Робус	1060	6,3	93,3	52,9	16,27	0,2508	0,0749
0,5% Rhodopol 23 P/W	1040	8,1	9,8	19,1	1,97	0,4335	0,0454
0,6% Rhodopol 23 P/W	1040	7,3	11	25,4	2,39	0,4262	0,0462
0,7% Rhodopol 23 P/W	1060	7,2	39,8	26,5	2,77	0,493	0,0491
0,8% Rhodopol 23 P/W	1045	6,5	53,4	31,8	6,42	0,3664	0,0524
0,9% Rhodopol 23 P/W	1040	6,3	67,5	50	11,7	0,3442	0,0591
1% Rhodopol 23 P/W	1050	5,7	115,6	64,7	17,1	0,3178	0,0699

Из таблицы видно, что показатель водоотдачи для растворов снижается, с повышением концентрации биополимеров. Причем водоотдача растворов на основе биополимера «Робус» незначительно выше, при всех концентрациях и варьируется от 8,6 до 6,3 см<sup>3</sup> за 30 мин., по сравнению с раствором на основе биополимера «Rhodopol».

Если рассматривать седиментационную устойчивость бурового раствора и способность удерживать шлам во взвешенном состоянии, то в первую очередь они зависят от статического напряжения сдвига (СНС). Соединения на основе ксантановых смол обеспечивают буровым растворам близкие значения величин статического напряжения сдвига через одну и десять минут.

Сравнивая значения СНС растворов, можно сделать вывод, что при увеличении концентрации биополимера в 2 раза (с 0,5%-1%), показатель седиментационной устойчивости увеличивается, для раствора на основе «Робуса» в 10 раз, а для раствора «Rhodopol» в 12 раз. Причем, начиная с концентрации в 0,7% происходит резкое увеличение статического напряжения сдвига для обоих растворов.

Буровой раствор, как дисперсная систем, при наложении нагрузки не деформируются до тех пор, пока касательное напряжение не достигнет порогового значения  $\tau_0$ , называемого предельным напряжением сдвига. После этого деформация происходит так же, как и в ньютоновской вязкой жидкости, то есть чем выше значение предельного напряжения сдвига, тем больше раствор сопротивляется течению.

Из данных табл. 1. следует, что величина ПДНС для раствора на основе Робуса ниже при концентрациях от 0,6%, 0,9% и 1% чем для раствора на основе биополимера «Rhodopol».

Коэффициент консистенции  $k$  соответствует вязкости при градиенте среза 1 с-1. Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что коэффициент консистенции увеличивается с ростом концентрации биополимера. Для растворов на основе биополимера Робус, резкое увеличение показателя  $k$  происходит при концентрации 0,6% (с 1,8 до 4,27 Па·с), второй скачок возрастания свойств наблюдается при концентрации 0,8% (с 7,18 до 16,27 Па·с). В растворе на основе биополимера «Rhodopol» резкое увеличение показателя консистенции происходит, начиная с концентрации 0,7% (с 2,77 до 17,1 Па·с).

Показатель текучести  $n$  (возрастание при представлении в логарифмических координатах напряжения сдвига и градиента среза) описывает отклонение от ньютоновских свойств текучести. Оптимальными псевдопластичными свойствами обладают растворы с показателем текучести  $n = 0,3-0,48$ .

Из табл. 1 видно, что показатель текучести для обоих растворов уменьшается с увеличением концентрации, это характерно как для реологической модели Гершеля–Балкли, так и Оствальда–де Ваале. Однако, значения показателя текучести для растворов на основе биополимера «Робус», по модели Оствальда–де Ваале, значительно ниже, значений текучести растворов на основе биополимера «Rhodopol», во всех концентрациях.

Влияние биополимеров на антифрикционные свойства можно оценить с помощью коэффициента трения корки. В отношении исследованных реагентов можно сделать вывод, что во всех концентрациях показатель трения корки ниже критического предела в 0,1 и имеют колебание от 0,04 до 0,07.

Кроме вышеизложенного, при разработке композиций буровых растворов следует иметь в виду далеко не последний по значимости фактор – экономический. Биополимер Rhodopol является широко используемым зарубежными нефтегазодобывающими компаниями реагентом из Франции, его цена в 2010 году составляет от 470 тыс. руб. за тонну. «Робус» также относится к экзополисахаридам, продуцируемым бактериями рода *Xanthomonas*, но его производство развёрнуто в России. На момент проведения опытов цена биополимера «Робус» составляла от 197 тыс. руб. за тонну. Ввиду столь значительного различия в стоимости, и небольшой разницы между показателями, для продолжения исследований был выбран более дешёвый реагент отечественного производства «Робус».

Далее проводились исследования изменения технологических параметров биополимерного раствора «Робус» в стандартных термобарических условиях. Зависимость изменения статического напряжения сдвига от времени представлены на рис. 1.

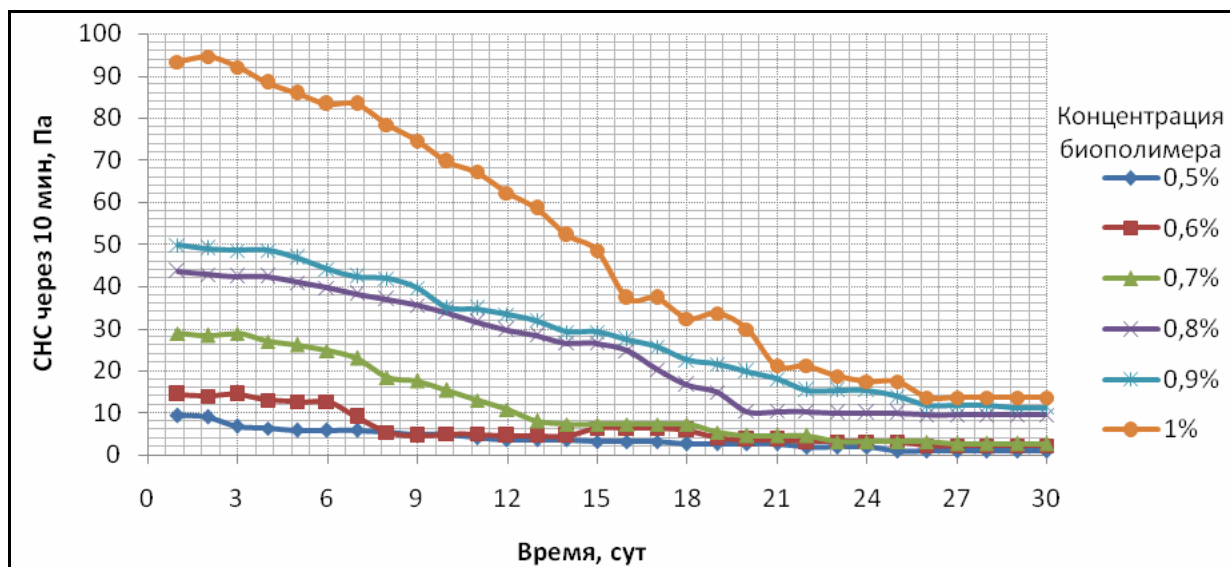


Рис. 1 Зависимость изменения статического напряжения сдвига от времени.

С увеличением концентрации реагента Робус в составе бурового раствора с 0,5 до 0,6 % наблюдается линейная зависимость роста СНС от 9,3 Па до 14,4 Па. Начиная с концентрации биополимера 0,7%, происходит резкое увеличение показателей - в три раза (28,8 Па), а при концентрации биополимера 1% этот показатель увеличивается уже в 10 раз (93,3 Па). Таким образом при увеличении концентрации биополимера в 2 раза (с 0,5%-1%), показатель седиментационной устойчивости увеличивается, для раствора на основе «Робуса» в 10 раз, с 9,3 Па до 93,3 Па. СНС растворов для всех концентраций остается стабильным в течении первых 5-6 дней. Уже на 9 день после приготовления раствора значения СНС падают более чем на 30%, и происходит дальнейшее уменьшение прочности структуры растворов. Начиная с 18 дня исследования, значения СНС для концентрации растворов 0,5%-0,7%, линейно уменьшаются.

Особенностью биополимерных буровых растворов является загущение при снижении скорости сдвига, эта область реологического поведения буровых растворов удовлетворительно описывается моделью Оствальда–де Ваале (1), а так же Гершеля–Балкли (2), которое получено путем сочетания моделей Оствальда–де Ваале и вязкопластичной.

$$\tau = \tau_0 \cdot D^n \quad (1)$$

где  $\tau$  – напряжение сдвига, Па;  
 $D$  – скорость деформации,  $c^{-1}$ ;  
 $K$  – показатель консистенции, Па·с;  
 $n$  – показатель нелинейности, безразмерная величина.

$$\tau = \tau_0 + K \cdot D^n \quad (2)$$

где  $\tau_0$  – предельное напряжение сдвига, Па;

Реологические свойства растворов с различными концентрациями биополимера, при различных скоростях деформации, определялись с помощью ротационного вискозиметра Rheotest RN 4.1.

На рисунках 2, 3, 4 представлены зависимости изменения реологических свойств растворов от времени.

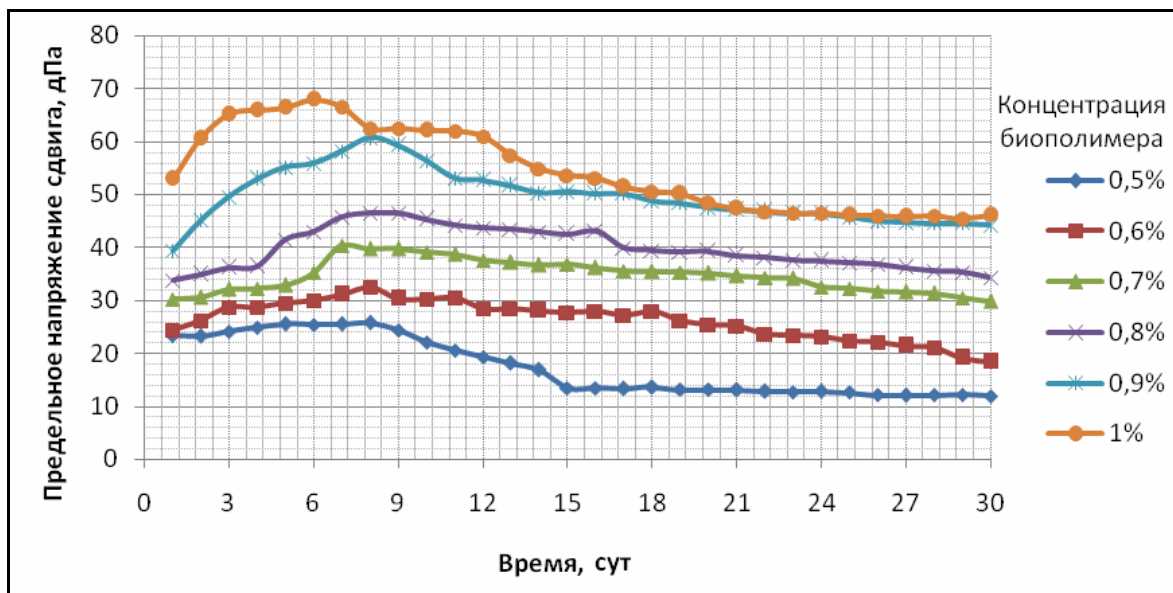


Рис. 2 Зависимость изменения предельного динамического напряжения сдвига от времени.

Как видно из рис 2 значения ПДНС монотонно возрастают с 23,3 дПа до 52,9 дПа, что соответственно положительно сказывается на тиксотропных свойствах раствора. Затем, начиная с 8 дня, с момента приготовления растворов, начинается плавное понижение показателей.

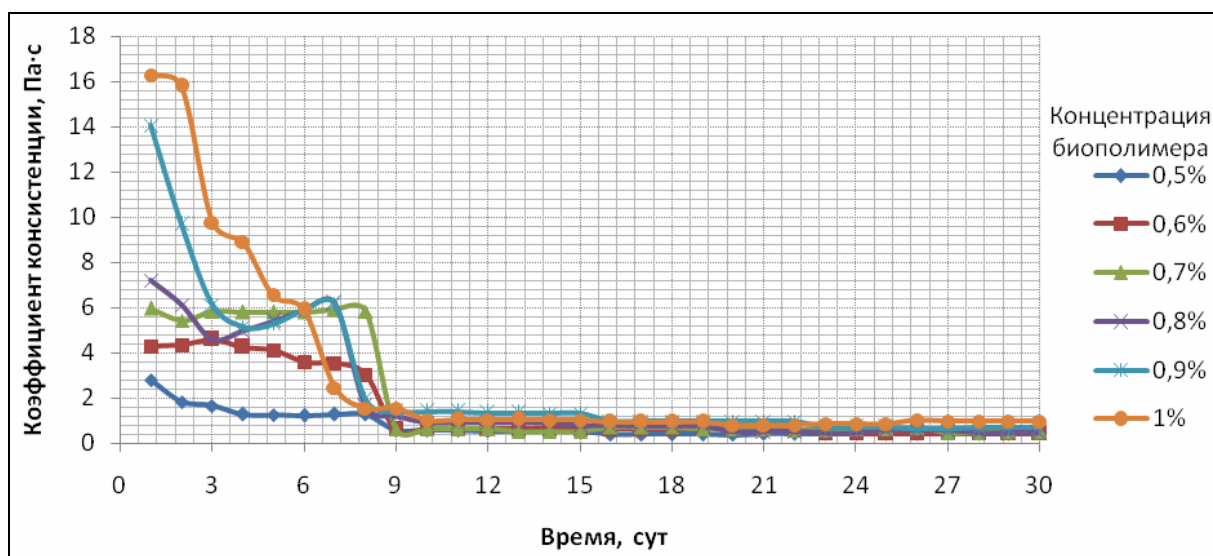


Рис. 3 Зависимость изменения коэффициента консистенции от времени.

Из рис. 3 видно, что коэффициент консистенции монотонно снижается во всех концентрациях раствора в течении 7–8 дней, с момента приготовления раствора. Затем на 9 день происходит резкое падение свойств, и значение консистенции изменяется в пределах от 1,04 Па·с до 0,378 Па·с.

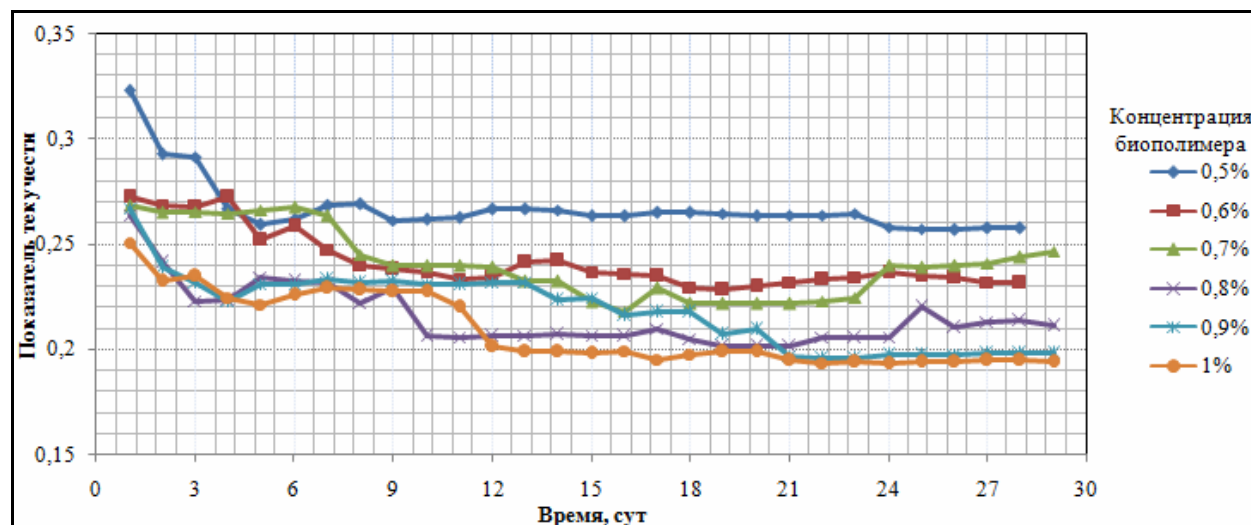


Рис. 4 Зависимость изменения показателя текучести от времени.

Согласно рис. 4, растворы во всех концентрациях имеют оптимальные псевдопластичные свойства в пределах от 0,3231 до 0,2508.

При разработке биополимерных буровых растворов повышенной плотности в качестве утяжеляющих материалов были выбраны отходы алюминиевого производства, а именно угольная пена (образец №1), шлак алюминиевый от литейного производства (образец №2), шлак от заливки ниппелей обожженных анодов (образец №3), что на наш взгляд может существенно снизить стоимость утяжеленной композиции. Кроме того одновременно решается не менее важная экологическая задача, так как использование указанных отходов исключает необходимость их утилизации и захоронении на специальных полигонах. Были проведены исследования плотности минеральной части шлаков, абразивности, магнитных свойств и фракционного состава подготовленного утяжеляющего агента. Ввиду низкой плотности первых двух отходов, из исследований они были исключены. Плотность образца №3 оказалась приемлемой для обеспечения плотности буровых растворов до 1,50 г/см<sup>3</sup>.

При выборе утяжелителя для приготовления бурового раствора большое значение имеют его абразивные свойства. На приборе ПОАП-2М были проведены исследования абразивности образца №3 (различного фракционного состава), а так же абразивности утяжелителей, применяющихся в настоящее время при бурении (табл. 2).

Табл. 2. Коэффициенты абразивности утяжелителей

Утяжелитель		Коэффициент абразивности, $K_a$
Образец №3	фракция 0,25-0,5 мм	0,195
	фракция 0,1-0,25 мм	0,148
	фракция $\leq 0,1$ мм	0,11
Барит		0,088
Магнетит		0,214

Как видно из табл. 2 величина абразивности напрямую зависит от фракционного состава. Проведя сравнительный анализ полученных данных, образец №3 можно считать малоабразивным, наряду с баритом.

Фракционный состав утяжелителей (табл. 3) был определен на лазерном дифракционном анализаторе Malvern Mastersizer 2000.

Табл. 3. Фракционный состав утяжелителей

Фракции, мм	Процентное содержание фракций		
	Доломит	Барит	Образец №3
≤0,002	14,42	25,88	7,05
0,01-0,002	43,77	36,91	35,02
0,05-0,01	22,17	12,14	13,32
0,1-0,05	18,55	12,41	14,74
0,1-0,25	1,09	5,94	7,62
0,25-0,5		0,67	1,17

Одной из причин более высокой, по сравнению с другими утяжелителями, абразивности образца №3, является повышенное процентное содержание крупных фракций, что устраняется более качественным помолом.

В результате исследований была создана рецептура бурового раствора на основе биополимера Робус, утяжеленного шлаком алюминиевого производства. В таблице 4 представлены результаты исследования структурных и реологических свойств полученных композиций.

Табл. 4. Параметры бурового раствора

№ п/п	Параметры	Ед. измерения	Минерализованный биополимерный раствор
1.	Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1100–1470
2.	Условная вязкость	с	25–80
3.	Показатель фильтрации	см <sup>3</sup> /30мин	2–6
4.	Стабильность	г/см <sup>3</sup>	0,05
5.	рН		7–9
6.	СНС <sub>1/10</sub>	дПа	4,8–24 / 6–29
7.	Пласт. вязкость	мПа·с	2–20
8.	Динам. напряжение сдвига	дПа	24–80
9.	Показатель текучести		0,4375–0,3168
10.	Удельное электрическое сопротивление, не менее	Ом·м	0,15

Выводы: результаты исследований свидетельствуют о перспективности использования биополимеров для создания буровых растворов повышенной плотности с применением отходов алюминиевого производства в качестве альтернативного утяжеляющего агента. Использование отходов алюминиевого производства в составах буровых растворов позволяет решать следующие задачи – снижение расходов на их утилизацию и стоимости бурения скважин.

© Вафин Р. М., 2011.

#### **Анотація**

У статті представлені результати дослідження основних властивостей розчинів на основі біополімерів ксантанова ряду низки залежно від концентрації. Проведено дослідження щільності мінеральної частини шлаків, абразивності, магнітних властивостей і фракційного складу підготовленого утяжеляючого агента..

Ключові слова: буровий розчин, біополімер.

#### **Abstract**

It shows the experimental results of the basic properties of drilling fluids with different biopolymers doses in the paper. We have tested the density of some mining cinders, abrasive and magnetic properties, fractional structure of weighting materials.

Keywords: drilling fluid, biopolymer.