

**М.В.НАУГОЛЬНОВ**, студент, *mihailnaugolnov@mail.ru*  
**М.К.РОГАЧЕВ**, д-р техн. наук, профессор, *rogatchev@mail.ru*  
**А.Р.МАВЛИЕВ**, аспирант, *mapneft@inbox.ru*  
**Д.В.МАРДАШОВ**, канд. техн. наук, ассистент, *dmitry\_mardashov@mail.ru*  
*Санкт-Петербургский государственный горный университет*

**M.V.NAUGOLNOV**, student, *mihailnaugolnov@mail.ru*  
**M.K.ROGACHEV**, Dr. in eng. sc., professor, *rogatchev@mail.ru*  
**A.R.MAVLIEV**, post-graduate student, *mapneft@inbox.ru*  
**D.V.MARDASHOV**, PhD in eng. sc., assistant lecturer, *dmitry\_mardashov@mail.ru*  
*Saint Petersburg State Mining University*

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ПОТОВОТКЛОНЯЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

В результате лабораторных исследований по изучению стабильности и реологических свойств гидрофобно-эмульсионных составов, а также моделирования процесса их фильтрации в условиях, максимально приближенных к пластовым, разработан оптимальный состав технологической жидкости, позволяющий регулировать фильтрационные свойства породы-коллектора призабойной зоны пласта.

**Ключевые слова:** гидрофобно-эмульсионный состав, потоковотклоняющие технологии, реология, фильтрация.

## RHEOLOGICAL AND PENETRATION TESTS OF EMULSION COMPOSITIONS FOR THE FLOW-CONTROL TECHNOLOGIES

Based on the investigations of stability and rheological properties of the hydrophobic emulsion compositions, and on modeling the process of filtration in conditions maximally approximated to formation conditions, the optimal composition of process liquids which is able to regulate filtration properties of reservoir-formation of the bottom hole formation zone was developed.

**Key words:** hydrophobic emulsion composition, flow-control technologies, rheology, filtration.

Одной из наиболее актуальных проблем, возникающих при эксплуатации нефтяных добывающих скважин, является рост обводненности добываемой продукции. Преждевременное обводнение добывающих скважин приводит к значительному снижению коэффициента извлечения нефти, и, как следствие, к большим экономическим потерям [3]. Эффективными мероприятиями по предотвращению и устранению преждевременного притока воды к добывающим скважинам являют-

ся потоковотклоняющие технологии, целью которых является тампонирующее движение воды при сохранении проницаемости для углеводородных флюидов.

В настоящее время существует множество различных способов по перераспределению фильтрационных потоков воды, одним из которых является использование в качестве потоковотклоняющей жидкости обрательной водонефтяной эмульсии. Данная технология обладает рядом достоинств [3]:

- селективность воздействия, т.е. способность гидрофобизировать поровую поверхность, снижать фазовую проницаемость по воде в промытых зонах и увеличивать фазовую проницаемость по нефти в слабо дренируемых пропластках;

- простота регулирования реологических свойств путем изменения содержания углеводородной и водной фаз, а также концентрации растворенных в воде солей;

- временный эффект воздействия, позволяющий предотвратить необратимое ухудшение фильтрационных характеристик пласта;

- комплексный эффект воздействия поверхностно-активного (ПАВ) эмульгатора (антикоррозионный, биоцидный, диспергирующий и нефтеотмывающий, свойство поглощать сероводород).

Целью работы является исследование реологических и фильтрационных свойств гидрофобно-эмульсионного состава (ГЭС), разрабатываемого с целью его последующего использования в потокоотклоняющих технологиях в нагнетательных скважинах на нефтяных месторождениях Западной Сибири, отличающихся сложными геолого-физическими и технологическими условиями разработки, в частности, высокой слоистой неоднородностью и повышенными пластовыми температурами (до 80-90 °С).

Основными компонентами ГЭС являются пластовая вода, хлорид кальция ( $\text{CaCl}_2$ ), дизельное топливо и эмульгатор, синтезированный на основе растительных масел и аминов. Предложенный реагент-эмульгатор\* разработан коллективом кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений Санкт-Петербургского горного университета совместно с сотрудниками ООО «Синтез-ТНП» (г.Уфа, Республика Башкортостан).

Для разработки оптимального состава гидрофобной эмульсии в лабораторных условиях проводились следующие исследования:

\* Пат. 2414290 РФ.МПК В 01 F 17/34. Эмульгатор обратных водонефтяных эмульсий / М.К.Рогачев, С.Я.Нилькенбаум, К.В.Стрижнев, Д.В.Мордашов, А.Р.Мавлиев. Опубликовано. 20.03.11. Бюл. № 8.

Pat 2414290 RF.МПК В 01 F 17/34. Emulgator of invert water-in-oil emulsions / M.K.Rogachev, S.Ja.Nilkenbaum, K.V.Strizhnev, D.V.Mardashov, A.R.Mavliev (RF). Publ. 20.03.11. Bul. N 8.

- определение агрегативной устойчивости (исследование электростабильности);

- реологические исследования;

- фильтрационные исследования.

Проведенные ранее экспериментальные исследования продемонстрировали селективность воздействия ГЭС при его фильтрации через модель слоисто-неоднородного пласта, а также высокую агрегативную устойчивость эмульсии при повышенных температурах, регулируемую за счет изменения содержания в ней водной фазы и растворенного хлорида кальция [2].

Электростабильность эмульсии – параметр, косвенно характеризующий ее агрегативную устойчивость и определяющийся величиной напряжения электрического тока, необходимого для электропробоя состава. Этот показатель характеризует степень дисперсности эмульгированной воды и прочность стабилизирующего слоя эмульгатора. Чем стабильнее система, тем выше потенциал пробоя, вызывающий коалесценцию капель водной фазы эмульсии. В результате исследования электростабильности эмульсии установлено, что потенциал пробоя увеличивается с увеличением доли водной фазы и снижается с увеличением ее минерализации:

Опыт .....	1	2	3	4	5	6	7	8
Водная фаза, % по массе ..	70	75	75	80	80	80	80	85
Концентрация $\text{CaCl}_2$ в водной фазе, % по массе ....	20	20	40	0	10	20	30	20
Потенциал пробоя, В .....	68	73	47	97	79	74	71	112

Целью реологических исследований является определение влияния содержания водной фазы, концентрации растворенного в ней хлорида кальция, а также содержания эмульгатора на динамическую вязкость эмульсии. Анализ реологических исследований показал, что вязкость ГЭС меняется в широком диапазоне (95-4000 мПа·с при скоростях сдвига 9-70 с<sup>-1</sup>) и регулируется содержанием водной фазы. Значительное увеличение вязкости наблюдается при содержании дисперсной фазы (воды) более 75 % (рис.1). При содержании водной фазы более 90 % наблюдается инверсия эмульсии и вязкость ее резко падает.

Исследование влияния минерализации дисперсной фазы, в частности соли хлорида

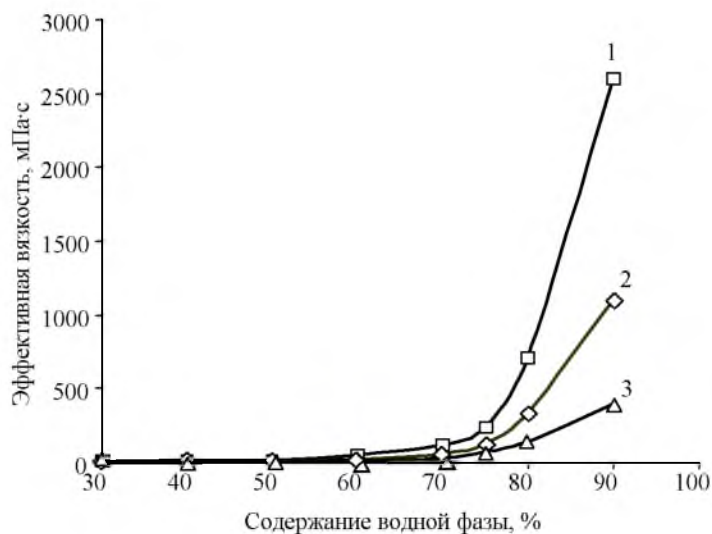


Рис.1. Зависимость эффективной вязкости ГЭС от содержания водной фазы при 20 °С, скорости сдвига 25 с<sup>-1</sup> и различной минерализации дисперсной фазы  
1 – без CaCl<sub>2</sub>; 2 и 3 – при содержании CaCl<sub>2</sub> 20 и 40 % соответственно

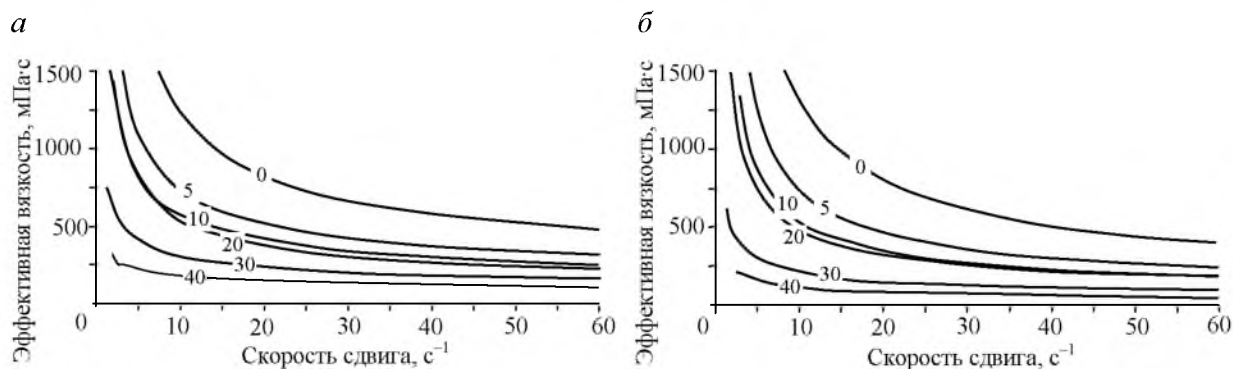


Рис.2. Зависимость эффективной вязкости ГЭС при содержании водной фазы и эмульгатора 80 и 3 % по массе соответственно (содержание CaCl<sub>2</sub> от 0 до 40 % указано на кривых) от скорости сдвига: а – при 20 °С; б – при 80 °С

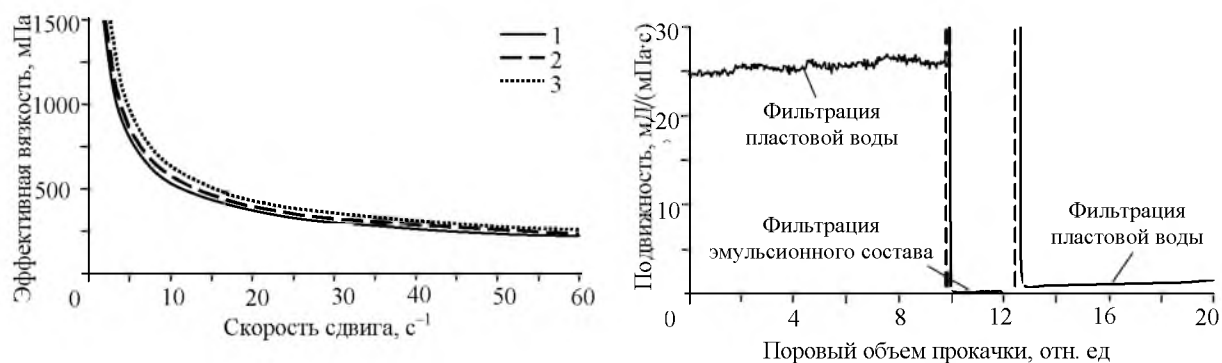


Рис.3. Зависимость эффективной вязкости ГЭС от скорости сдвига при содержании водной фазы 80 % по массе, концентрации хлорида кальция в водной фазе 20 % при 20 °С  
1, 2, 3 – при содержании эмульгатора 3, 4 и 5 % по массе соответственно

Рис.4. Зависимость подвижности от объема закачки технологической жидкости через образец породы-коллектора

кальция, на реологические свойства ГЭС позволяет сделать вывод о том, что растворенный хлорид кальция существенно снижает вязкость эмульсии как при стандартной (20 °С), так и при повышенной (80 °С) температуре. Регулирование реологических свойств эмульсии изменением концентрации растворенного в водной фазе хлорида кальция позволяет осуществлять подбор индивидуально-эмульсионного состава для заданных условий (рис.2 и 3). Это свойство эмульсии значительно расширяет область применения данных составов.

Исследование влияния эмульгатора на вязкость составов показало, что с увеличением его концентрации эффективная вязкость эмульсии возрастает незначительно (рис.3).

Основываясь на проведенных ранее исследованиях по изучению поверхностного натяжения на границе дизельного топлива и водного раствора [4] была определена оптимальная концентрация эмульгатора в эмульсионной системе (3 % по массе).

Для определения эффективности использования ГЭС в качестве тампонирующего материала для потокоотклоняющих технологий были проведены фильтрационные исследования на установке FDES-645 (производство фирмы «Coretest Systems») в условиях, максимально приближенных к пластовым. Исследования проводились на образце породы (песчаника) одного из месторождений Западной Сибири с абсолютной проницаемостью 296 мД. В качестве исследуемого состава был выбран ГЭС с содержанием водной фазы 80 %, концентрацией растворенного в ней хлорида кальция 20 % и концентрацией эмульгатора 3 %.

Лабораторные фильтрационные исследования (рис.4) показали, что подвижность по воде после закачки двух поровых объемов ГЭС значительно снижается. Остаточный фактор сопротивления составил 22,4, градиент давления, необходимый для закачки, эмульсионного состава, около 100 атм/м. Начальный градиент давления сдвига ГЭС в керне 16 атм/м.

1. Гидрофобно-эмульсионные составы являются эффективными временно-блокирующими агентами для потокоотклоняющих технологий. Их использование позволяет снизить проницаемость по воде более чем в 20 раз.

2. Подобранные ГЭС обладают высокой агрегативной устойчивостью при температурах до 80-90 °С, которая регулируется содержанием компонентов.

3. Вязкость ГЭС достигает высоких значений при содержании дисперсной фазы более 75 % и может регулироваться соотношением фаз и минерализацией водной фазы, что позволяет разрабатывать ГЭС для конкретных геолого-физических и технологических условий разработки различных месторождений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гилаев Г.Г. Применение термостойких жидкостей глушения на основе нефтяных эмульсий / Г.Г.Гилаев, Т.В.Хисметов, А.М.Бернштейн и др. // Нефтяное хозяйство. 2009. № 8. С. 64-66.

2. Мавлиев А.Р. Разработка потокоотклоняющих технологий на основе гидрофобно-эмульсионных составов / А.Р.Мавлиев, М.К.Рогачев, Д.В.Мардашов, М.В.Наугольнов // Научные исследования и инновации. 2011. Т.5. № 2. С. 84-87.

3. Рогачев М.К. Борьба с осложнениями при добыче нефти / М.К.Рогачев, К.В.Стрижнев. М., 2006. 295 с.

4. Рогачев М.К. Разработка технологий глушения и стимуляции нефтяных скважин при подземном ремонте / М.К.Рогачев, Д.В.Мардашов, К.В.Стрижнев, Ю.В.Зейгман // Нефтегазовое дело. 2007. Т.5. № 2. С. 55-58.

#### REFERENCES

1. Gilaev G.G., Hismetov T.V., Bernshtein A.M. and others. Application of thermostable liquids of well-killing based on oil emulsions // Oil Industry. 2009. N 8. P. 64-66.

2. Mavliev A.R., Rogachev M.K., Mardashov D.V., Naugolnov M.V. The development of flow-control technologies based on hydrophobic emulsion compositions // Scientific studies and innovations. 2011. Vol. 1. N 2. P. 84-87.

3. Rogachev M.K., Strizhnev K.V. Prevention of troubles during oil recovery. Moscow, 2006. 295 p.

4. Rogachev M.K., Mardashov D.V., Strizhnev K.V., Zeigman Y.V. The development of the technologies of well-killing and well-stimulation during well-servicing // Petroleum engineering. 2007. Vol. 5. N 2. P. 55-58.