Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова.
1988. Т. 116

УДК 622.244.443:06.069.85

ЗАВИСИМОСТЬ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И УСТОЙЧИВОСТИ ПЕНЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ И КОНЦЕНТРАЦИИ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ

Н.И.СЛЮСАРЕВ, Л.С.СТРЕЛЕНЯ, О.В.МЕДЖИТОВ

Важнейшие функции пены как промывочного агента при бурении скважины (выносная и удерживающая способность, кольматирующий эффект и др.) тесно связаны с реологическими свойствами и устойчивостью. В процессе циркуляции пены в скважине, особенно с ростом глубины, изменяются условия (температура, концентрация шлама, давление), что необходимо учитывать при совершенствовании технологии бурения. По реологическому поведению пены следует относить к реологически сложным жидкостям, так как они обладают тиксотропными и дилатантными свойствами [3]. Для пены характерны вязкоупругие свойства - скорость сдвига и вязкость зависят от напряжений и сдвиговых деформаций. Такие среды часто называют "жидкостями с памятью" [2]. Кроме того, пены как дисперсные системы принципиально неустойчивы во времени: их свойства изменяются с изменением кратности пены и формы ячеек.

До настоящего времени обоснованной методики для оценки реологического поведения пены не разработано. Наиболее целесообразно в качестве реологического параметра использовать эффективную вязкость при установленной скорости сдвига, которая характеризует удельные затраты энергии [4]. При этом реологические характеристики следует определять по "неравновесной" методике [6] на ротационном вискозиметре. Сущность "неравновесной" методики заключается в том, что исследуемый агент деформируется в коаксиальном зазоре вискозиметра при максимальной скорости сдвига до стабилизации напряжений сдвига, а затем фиксируются мгновенные показатели напряжений сдвига.

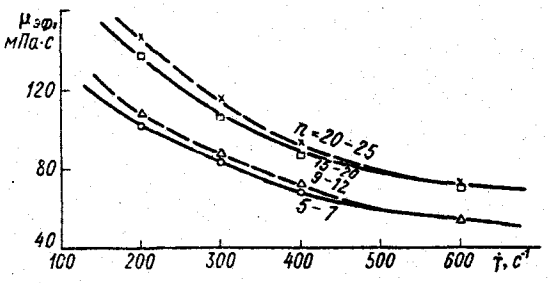


Рис.1. Зависимость эффективной вязкости пены от скорости сдвига и газосодержания при t = 16 °С и кратности пены n

Реологические свойства пены определялись на ротационном вискозиметре ВСН-3 [5]. Предельное статическое напряжение сдвига (СНС) определялось на приборе СНС-2. С целью исключения эффекта пристенного скольжения измерительные элементы прибо-

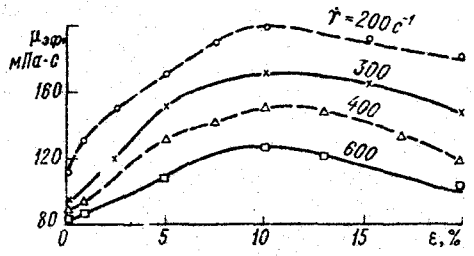


Рис.2. Зависимость эффективной вязкости пены от концентрации твердых частиц фракции 0,2-0,3 мм при t = 16 °С и скорости сдвига $\dot{\gamma}$

ра СНС-2 имели рифления. Устойчивость пены S оценивалась по методике [I]:

$$S = 1/v_{ср},$$

где $v_{ср}$ - скорость выделения из пены 50 % пенообразующей жидкости.

Установлено, что с увеличением скорости сдвига эффективная вязкость пены понижается (рис.I). Отмечена характерная зависимость: эффективная вязкость с ростом газосодержания повышается только при скоростях сдвига до 400 $с^{-I}$.

Для исследования влияния концентрации шлама на структурно-механические характеристики и реологические свойства в пену различной кратности вводились и равномерно размешивались частицы пород с эквивалентным диаметром 0,2; 0,3; 0,4 мм. Концентрация частиц составляла по массе от I до 30 %. Установлено, что при наличии твердых частиц пена сохраняет свойства неньютоновской жидкости, при этом эффективная вязкость возрастает и достигает максимального значения при концентрации твердых частиц I0-I5 % в диапазоне скорости сдвига 200-600 $с^{-I}$ (рис.2). Дальнейшее увеличение концентрации твердых частиц приводит к снижению эффективной вязкости.

Исследованиями установлено, что устойчивость пены возрастает по мере увеличения концентрации твердых частиц. Максимум устойчивости достигается при концентрации I5-20 % (рис.3). Дальнейшее увеличение концентрации твердых частиц приводит к снижению устойчивости пенных систем. Однако пенные системы с твердыми частицами практически не разрушаются в течение длительного времени. Опытами установлено, что в пенных системах на основе пенообразователя НП-I и воды при концентрации твердых частиц фракции 0,2-0,4 мм от 5 до 25 % первая половина жидкой фазы в статических условиях вытекает только за I5-20 мин. В дальнейшем, даже по истечении 70-90 мин, жидкая фаза практически не вытекает, а твердые частицы, не осаждаясь, удерживаются в остаточном пенном каркасе до полного его разрушения. При концентрации твердых частиц до 2,5 % происходит снижение статического напряжения сдвига пенной системы, а затем его рост, причем при концентрации твердых частиц I5-20 % статическое напряжение сдвига достигает максимального значения, которое значительно превосходит численное значение СНС

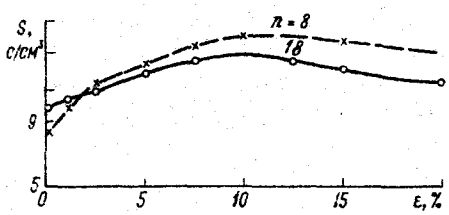


Рис.3. Зависимость устойчивости пены от концентрации твердых частиц фракции 0,2-0,3 мм при t = 18 °С и кратности пены n

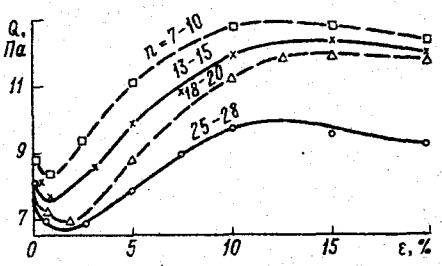


Рис.4. Зависимость статического напряжения сдвига от концентрации твердых частиц фракции 0,2-0,3 мм при t = 18 °С и кратности пены n

исходной пены (рис.4). При дальнейшем росте концентрации твердых частиц до 30 % СНС медленно снижается.

Тонкодисперсная твердая фаза (например, шлам при алмазном бурении) повышает стабильность и изменяет эффективную вязкость и статическое напряжение сдвига пены, улучшает свойства пены как промывочного агента. Максимальные значения эффективной вязкости (при скорости сдвига 200-600 $с^{-1}$), СНС, устойчивости достигаются при концентрации твердых частиц от 10 до 15 %.

Характер изменения структурно-механических свойств и устойчивости трехфазной пены показывает, что между этими параметрами существует корреляционная связь. Следовательно, контроль качества может осуществляться по одному из параметров, наиболее приемлемому с практической точки зрения.

Механизм роста устойчивости, СНС и эффективной вязкости с увеличением содержания твердых частиц в некотором диапазоне концентраций можно объяснить следующими факторами:

1. Твердые частицы уменьшают относительный объем деформируемой части системы.

2. Пенные системы, как и дисперсные системы типа "твердые частицы в жидкости", в процессе тиксотропного упрочнения в условиях напряженного состояния увеличивают как скорость тиксотропных явлений, так и конечное значение СНС. Напряженное состояние в пенной системе возникает вследствие действия сил тяжести твердых частиц. Проявление упрочнения дисперсных систем под действием напряжений, вероятно, обусловлено упорядочением структуры.

3. Энергия взаимодействия между твердыми частицами и пузырьками пены (вандерваальсовы силы притяжения) способствуют росту СНС. Этот фактор известен в теории эмульсий как стабилизация дисперсных систем тонко измельченными порошками. Механизм стабилизации заключается в предотвращении утончения жидких пленок.

Согласно молекулярно-кинетической теории вязкость газов с ростом температуры увеличивается, а вязкость растворов - уменьшается, поэтому исследование влияния температуры на реологические свойства и устойчивость пены является актуальной задачей как для научных, так и для практических целей.

В процессе эксперимента генератор пены, измерительный элемент вискозиметра, пробоотборник с термостатной рубашкой и исходный раствор ПАВ нагревали (или охлаждали) до температуры опыта. В процессе измерений эффективной вязкости заданная температура в пробоотборнике вискозиметра поддерживалась с помощью термостата. Для определения устойчивости пены

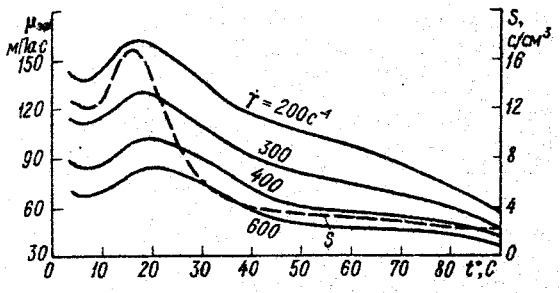


Рис.5. Зависимость эффективной вязкости μ и устойчивости S пены от температуры

мерный цилиндр устанавливался в специально изготовленную прозрачную рубашку, в которой циркулировала вода заданной температуры.

Установлено, что в интервале температур 4-8 и I8-99 °С эффективная вязкость пены, как на основе только пенообразователя, так и с вводом порошка бентонита, снижается (рис.5).

В интервале температур 8-I9 °С наблюдается рост эффективной вязкости исследуемых пен, что, по всей вероятности, обусловлено повышением тиксотронных взаимодействий. Особо следует отметить, что с ростом температуры (85-99 °С) в пенных системах уменьшаются отклонения от ньютоновской жидкости, причем наиболее характерно это проявляется с повышением скорости сдвига (рис.5).

Устойчивость пены имеет характерную связь с вязкостью при изменении температуры (рис.5). С повышением температуры от 4 до 8 °С устойчивость пены снижается, при дальнейшем росте температуры до I7 °С, наоборот, повышается, однако при повышении температуры до 80 °С устойчивость пены снижается, что аналогично изменению эффективной вязкости в этих же интервалах температур. Температура оказывает существенное влияние на реологические свойства пены, особенно в интервале 8-I9 °С, где установлен рост эффективной вязкости до 60 % (при общей закономерности снижения эффективной вязкости с повышением температуры).

Анализ экспериментальных данных и результатов исследований показывает, что характеристика устойчивости пены по скорости вытекания жидкой фазы [I] может быть выражена безразмерным комплексом

$$Y = d\theta/\sigma,$$

где d – средний размер пузырьков пены, м; θ – статическое напряжение сдвига, Па; σ – поверхностные натяжения, Па·м.

По опытным данным установлена связь устойчивости S с безразмерным комплексом. Безразмерный комплекс отражает физическую связь устойчивости пены с ее структурно-механическими параметрами и может определяться как в лабораторных, так и в производственных условиях. Если при заданной концентрации ПАВ и составе жидкой фазы $\sigma = const$, то $Y = (d\theta)$.

Выводы

I. Тонкодисперсные частицы горных пород увеличивают стабильность и устойчивость пенных систем. Это свойство пен должно учитываться в выборе способа и устройства для ее разрушения в отводной линии циркуляционной системы.

2. Для оценки устойчивости пены предложен безразмерный комплекс физико-механических параметров Y.

3. При изменении температуры в диапазоне 4–90 °С эффективная вязкость пены имеет своеобразный характер: при общей тенденции снижения вязкости с ростом температуры от 8 до 20 °С эффективная вязкость пены повышается до 60 %; при температуре свыше 90 °С поведение пены как реологической среды приближается к ньютоновской жидкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амиян В.А., Амиян А.В., Васильева Н.П. Вскрытие и освоение нефтегазовых пластов. М. : Недра, 1980. 384 с.

2. Астрата Дж., Марруччи Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. М. : Мир, 1978. 134 с.

3. Евгеньев А.Е. О реологических свойствах пены в пористой среде // Изв. вузов. Нефть и газ. 1967. № 12. С. 78–82.

4. Михайлов Н.В., Лихтгейм А.М. Исследование полных реологических кривых и формулы для расчета эффективной вязкости структурированных жидкостей с молекулярно-кинетической интерпретацией входящих в них членов // Коллоид. ж. 1955. Т.17. № 5. С.364–365.

5. Прибор для определения структурно-механических характеристик буровых растворов / Стреленя Л.С., Осипов Е.Г., Кармолин В.Г., Киящко Д.А. // Нефтяная и газовая промышленность. 1966. № 5. С. 20–23.

6. Сегалова Е.Е., Ребиндер П.А. Исследование структурно-механических свойств и тиксотропии в олеоколлоидных системах // Коллоид.ж. 1948. Т. 10. № 3. С. 132–136.