А.ИПАТОВ
Фрайбергская горная академия, Германия

ОЦЕНКА СТАБИЛЬНОСТИ ПЕННОГО БУРОВОГО РАСТВОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Стабильность пены является важным параметром для многих технических дисциплин, включая нефтегазовое дело. Оценка поведения пенного бурового раствора в условиях пласта необходима для качественного проведения буровых операций. Существует целый ряд аспектов, которые необходимо учитывать: повышенные давление и температура, изменение состояния пены во времени, свойства ПАВ и т.д. В настоящее время ни одна модель, учитывающая все эти аспекты, не является достаточно развитой. Данная работа ориентирована на исследование стабильности пены методом цифровой обработки фотоизображения. Лабораторные тесты проводились с известным ПАВ при определенной концентрации раствора и при заданных давлении и температуре. Фотографии пены были проанализированы методом цифровой обработки изображения и преобразованы в числовые параметры – средний размер пузырьков, их округлость (компактность) и т.д. как функция времени. Результаты позволяют судить о стабильности пенного раствора в каждый конкретный момент времени.

Froth stability is an important factor for many engineering applications, including oil-and-gas practice. Estimation of reservoir behaviour of the froth drilling fluid is necessary for efficient drilling operations. There are several aspects which have to be taken into account i.e. high pressure and temperature, alteration of the froth condition in time, surfactant characteristics, etc. Currently, none of the existing models which consider these parameters is sufficiently developed. This paper studies froth stability by means of digital image processing. Laboratory tests were carried out with a common surfactant and with a specified solution concentration as well as at fixed pressure and temperature values. Froth images were made at regular periods of time during each test. They were later analyzed with application of a digital image processing technique and interpreted as numeric parameters: average bubble size, bubble roundness (compactness) etc. as a time function. Results of such interpretation help to assess froth stability at any particular time point.

Пена является дисперстным раствором газа в жидкости. Для возникновения пены должны быть выполнены два условия: проникновение газа в жидкость и наличие поверхностно-активного вещества, которое выступает в качестве понизителя поверхностного натяжения, что создает предпосылки для образования пузырьков, защищенных тонкой жидкостной оболочкой.

Термодинамически пена – не постоянная система, ее нестабильность вызвана различными механизмами (Херцхафт и др. [1]). Один из них – это дренирование, когда в результате действия силы тяжести жидкость, как более плотная среда, постоянно стремится вниз, что приводит к утоньшению оболочки пузырьков и к их разрушению.

Другой механизм, описывающий стабильность, – это диффузия газа между пузырьками пены, вызванная разницей давлений в различных по объему пузырьках, имеющих равное поверхностное натяжение. Это приводит к объединению пузырьков и превращению их в более крупные.

Стабильность пены обычно описывается временем полураспада, т.е. временем, за которое половина начального обьема раствора перейдет в жидкую фазу. В течение

этого процесса форма и размеры пузырьков меняются из-за непрерывного изменения поверхностного напряжения.

Дренаж жидкости в пенном растворе - очень сложный процесс, в котором важную роль играют свойства ПАВ, темепература окружающей среды и давление, форма и размер пузырьков. Наше исследование - попытка оценить стабильность пенного бурового раствора как функцию времени с учетом упомянутых факторов, используя метод электронной обработки фотоизображения.

Большинство литературы, посвященной тематике пенных систем, сосредоточено на изучении реологических свойств пены. Как правило, это исследования стабильности и дренажа жидкости.

Росс [2] исследовал взаимодействия между пузырьками различной геометрической формы и объяснил закономерности в изменении газового и жидкого объемов системы с точки зрения поверхностного напряжения. Он описывал стабильность пены посредством потенциальной энергии, которую она приобретает в различных структурных изменениях. Росс заключил, что есть два главных одновременных механизма, которые управляют процессом распада пены, – это распространение газа через жидкостную оболочку и разрыв жидкостных оболочек.

Исследования, которые проводили Маини и Ма [3] для изучения влияния концентрации ПАВ на стабильность пенной системы, показали, что концентрация ПАВ в растворе не оказывает существенного воздействия на его стабильность. Результат их исследования заключается в том, что существует некая оптимальная концентрация ПАВ в растворе, превышение которой не приводит к видимым улучшениям показателя стабильности.

Ученые также установили, что перекрыв поступление газа в жидкость при температуре до 100 °С, объем пенной массы остается постоянным, но при дальнейшем увеличении температуры до 200 °С наблюдается ускорение распада пены. Впрочем, это продемонстрировали не все исследуемые тенсиды - в некоторых случаях наблюдалось увеличение времени полураспада, что объясняется повышенной растворимостью ПАВ при высокой темепературе.

Рэнд и Крайник [4] исследовали эффект создания давления на время дренажа. Они заметили, что с увеличением давления увеличивается и время дренажа, хотя жидкая фракция объема сохраняется постоянной. Таким образом, авторы заключили, что время дренажа увеличивается с уменьшением размера ячейки.

Стрикер и др. [5] изучали влияние действия соли NaCl в качестве стабилизатора на пенный раствор. Однозначный вывод сделать не удалось, так как от тенсида к тенсиду соль оказывала различное действие – в одних случаях наблюдалось увеличение времени полураспада, в других – ее сокращение или отсутствие каких либо изменений. Можно отметить, что при температуре раствора выше 200 °С добавка соли имела дестабилизирующий характер.

Мориссон и Росс [6] получили уравнение состояния для пены, которое связывает объем, давление, молярную долю газа, температуру, площадь поверхности жидкости и поверхностное напряжение при использовании уравнения Лапласа, отношения площади и объема для сферы и закона идеального газа. Предложенное уравнение может использоваться для одного пузырька и системы с двумя пузырьками, однако непригодно для гетерогенных систем пены.

Чтобы идентифицировать различные параметры пены из полученной фотографии, нужно задействовать несколько методов обработки начального изображения (рис.1) [7].

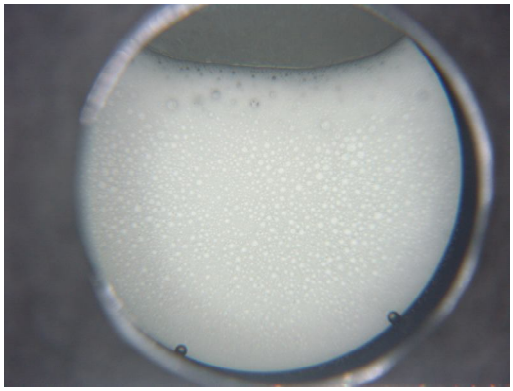


Рис.1. Типичное начальное фотоизображение

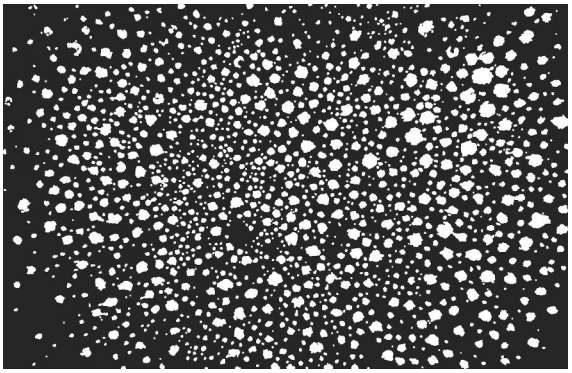


Рис.2. Конечное увеличенное фотоизображения после всех преобразований

Во-первых, должен быть выбран и вырезан интересующий фрагмент. Затем он проходит несколько стадий повышения качества изображения, которые обеспечивают возможность извлечения индивидуальных характеристик пены и ее физических особенностей. В этих случаях используется изменение уровня яркости картинки и повышение ее контрастности. Следующий этап идентификации фотографии – установление определенных визуальных ограничений (фильтров) с применением ряда функций: заливка, размывание, сгущение и т.д. Данный этап может повторяться, пока изображение не стабилизируется. На последней стадии обработки производится маркирование объекта (рис.2).

Затем каждый отдельный фрагмент пены преобретает индивидуальный характер, из которого можно выявить ее физические особенности.

Пенный раствор производится в условиях, приближенных к условиям в пласте – высоком давлении и температуре. В наших лабораторных опытах температура измерялась от 20 до 100 °С, давление от 1 до 100 бар. После создания пены через фиксированные интервалы времени делается цифровая съемка с высоким разрешением (5 Мпиксель). Затем, используя цифровые методы обработки, фотоизображение анализируется. Как результат находим площадь поверхности пены, периметр, центр массовых координат, диаметр отдельных пузырьков и их округлость. По этим данным строятся графики-гистограммы. Типичная гистограмма диаметра пузырьков для теста стабильности (период 1 мин, давление 50 бар, температура 23 °С, концентрация тенсида 1 %) показана на рис.3.

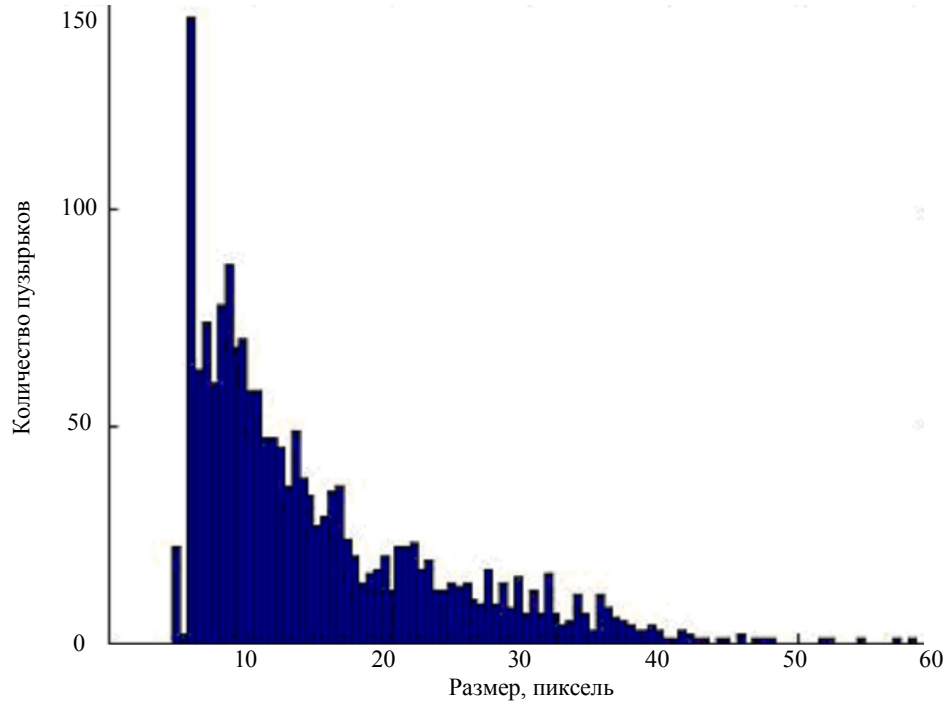


Рис.3. Гистограмма диаметра пузырьков

Сравнение гистограмм в различные моменты времени показывает, что размеры пузырьков с течением времени увеличиваются. По аналогии можно установить, что и структура пузырьков из округлой становится многогранной, преобретая вид ячеек. При этом округлость (компактность) определяется уравнением *компактность = периметр*^{2} / *площадь*.

Идеальный круг имеет компактность 4π, т.е. примерно 12-13, чем больше это число, тем больше форма является некруглой.

Ниже представлены результаты эксперимента:

Время, мин	1	5	10	15	20	30	40
Площадь пузырьков, пиксель	75	75	60	50	75	75	75
Периметр пузырьков, пиксель	25	20	20	20	25	30	30
Диаметр, пиксель	8	7	8	7	8	9	10
Компактность	12	13	14	14	14	15	15

Используя полученную информацию, можно сделать соответствующие выводы о свойствах стабильности данного раствора ПАВ и предсказать характер его поведения в пласте.

Следующим шагом данного исследования может быть тестирование других типов ПАВ, а также добавка полимеров-стабилизаторов.

Выводы

На примере 1%-ного раствора алкилполиглюкосида (НА-1128) при температуре 23 °С и давлении 50 бар была изучена структура пены в течение теста стабильности. Электронная обработка изображения дала многообещающие результаты для оценки ряда параметров пены: средний размер пузырьков и округлость как функция времени. Метод может быть улучшен путем контроля за качеством пены в процессе ее производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Herzhaft B., Toure A., Bruni F., Saintpere S.*, "Aqueous Foams for Underbalanced Drilling : The Question of Solids", SPE 62898, Presented at the 2000 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas-Texas (October 1-4, 2000).
2. *Ross, S.*, "Bubbles and Foams", Industrial & Engineering Chemistry, Volume 61, No 10, pp.48-5 (October, 1969).
3. *Maini R.*, "Equilibrium Properties of Foam Films Formed From Non-Ionic Surface-Active Agents", Number 6, pp.73-89.
4. *Rand P.B., Kraynik A.M.*, "Drainage of Aqueous Foams : Generation-Pressure and Cell-Size Effects", SPE Journal, pp.152-154 (February, 1983).
5. *Strycker, N.*, "Recursive morphological operators for gray image processing. Application in granulometry analysis", Image Processing, 1997. Proceedings., International Conference, 26-29 Oct. 1997, Vol: 2, pp: 672-675.
6. *Morrison I.D., Ross S.*, "The Equation of State of a Foam", Journal of Colloidal and Interface Science, Volume 95 No.1, pp.97-101 (September, 1983).
7. *Gonzales R.C., Woods R.E., Eddins L.S.*, Digital Image Processing using Matlab, Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River NJ, 2004, p:334-377.