

# ПЕНА

Выполнил студент 4  
курса Цепенков М. М.

Проверил ст. преп. каф.  
МФПиС Вершинин В.Е.

# Что такое пена?

Пена — это одна из разновидностей дисперсий (от лат. *Dispersus* — **рассеянный, разбросанный**). Диспергированием в технике называют процесс измельчения, дробления твердых, жидких или газообразных веществ. Для того, чтобы раздробить (рассеять) газообразное вещество нужно равномерно распределить газ в виде мелких пузырьков в жидкой или твердой среде (матрице).

В зависимости от того, какое вещество (в каком агрегатном состоянии) служит матрицей, а какое диспергируется, дисперсии будут называться по-разному. ***Дисперсию газа в жидкости называют пеной.***

# Типы пены. Сферические пены



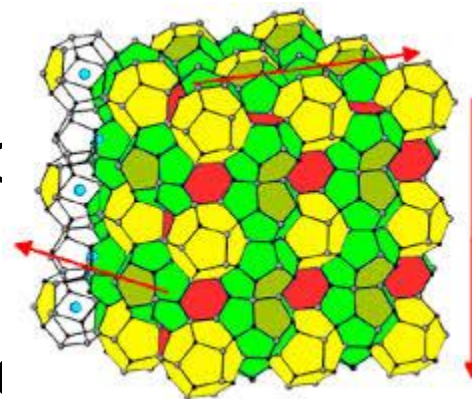
в зависимости от формы газовых пузырьков предложил разделять пены на два типа: **сферические** и **многогранные**.

**Сферические пены** отличаются высоким содержанием жидкости и в силу этого малой вязкостью. Поэтому их относят к неустойчивым (условно стабильным). В

неустойчивых пенах наблюдается так называемый эффект Плато: жидкая фаза из перегородок удаляется, истекая под действием силы тяжести, и происходит быстрая **коагесценция** (от лат. *Coalesce* — **срастаюсь, соединяюсь**) — слияние соприкасающихся газовых пузырьков.

# Многогранные пены

**Многогранные пены** отличаются малым содержанием жидкой фазы и характеризуются высокой стабильностью. В таких пенах отдельные пузырьки сближены и разделены тонкими растянутыми упругими перепонками, которые благодаря внешнему механическому воздействию или повышению температуры могут сохраняться в течение длительного времени. Эти пленки в силу упругости и ряда других факторов препятствуют коалесценции газовых пузырьков.



# Многогранные пены

По мере утончения разделительных пленок пузырьки все плотнее сближаются, прилегают друг к другу и приобретают четкую форму многогранников. Каждый пузырек в такой пене (если все пузырьки имеют одинаковый размер) обладает формой правильного пентагонального додекаэдра, т. е. двенадцатигранника, любая сторона которого представляет собой правильный пятиугольник.

# Имитационная модель

## *Уравнения сохранения пены*

Eclipse имитирует пену как эффективную концентрацию ПАВ, переносимого в газовой среде. Таким образом концентрацию пены можно представлять как концентрацию ПАВ, существующего в форме пены.

Уравнения сохранения пены решаются полностью неявно в конце каждого шага по времени, после определения перетоков нефти, воды и газа. Предполагается, что пена существует только в газовой фазе. Учитывается адсорбция и распад пены. Изменение подвижности газа рассчитывается явно и учитывается на последующем шаге по времени.

# Имитационная модель

## *Адсорбция*

Считается, что адсорбция пены является мгновенной, и количество адсорбированной пены представляет собой функцию концентрации активной пены. Необходимо задать изотерму адсорбции как функцию концентрации пены (см. ключевое слово FOAMADS).

# Имитационная модель

## Адсорбция

Количество пены, адсорбированной породой, дается соотношением:

$$m = V \cdot \left( \frac{1 - \varphi}{\varphi} \right) \cdot \rho_r \cdot CA(C_{foam}) \quad \text{— масса адсорбционной пены; (1)}$$

где  $V$  - поровый объем ячейки;

$\varphi$  - пористость ;

$\rho_r$  - массовая плотность породы;

$CA(C_{foam})$  - изотерма адсорбции как функция локальной концентрации пены в растворе.



# Распад пены

Как правило, эффективность пены уменьшается со временем, даже при условиях, весьма благоприятных для устойчивости пены. Скорость этого снижения эффективности может увеличиться в присутствии воды или нефти. Это явление моделируется путем учета распада пены со временем; период полураспада может быть функцией нефтенасыщенности и водонасыщенности. Если он является функцией обеих этих величин, то предполагается, что пена распадается с минимальным периодом полураспада.

# Снижение подвижности газа

Пена изменяет подвижность газа путем ввода простого множителя, являющегося функцией концентрации пены (т. е. эффективной концентрацией ПАВ). Изменение подвижности применяется явно; изменение, связанное с условиями в конце каждого шага по времени, применяются на последующем шаге.

Не модифицированный поток  
газа:

$$F_g = \frac{K_{rg}}{\mu_g B_g} (T \cdot DP) \quad (2)$$

Модифицированный  
поток:

$$F_{gm} = M(C_{foam}) \frac{K_{rg}}{\mu_g B_g} (T \cdot DP) = M(C_{foam}) F_g \quad (3)$$

# Смысл компонентов формул (2) и (3)

$K_{rg}$  - относительная проницаемость газа;

$\mu_g$  - вязкость газа;

$V_g$  - объемный коэффициент газа;

$T$  – проводимость;

$DP$  - разность потенциалов;

$M(C_{foam})$  - введенный коэффициент снижения подвижности газа;

$C_{foam}$  - концентрация пены.

Коэффициент снижения подвижности с учетом влияния давления имеет вид:

$$MP = (1 - M(C_{foam}))M_p(P) + M(C_{foam}) \quad (4)$$

где:

$MP$  - коэффициент снижения подвижности с учетом влияния давления ;

$M(C_{foam})$  - исходный коэффициент снижения как функция концентрации пены;

$M_p(P)$  - функция, зависящая от давления;

$p$  - давление в нефтяной фазе.

Коэффициент снижения подвижности с учетом влияния сдвига имеет вид:

$$MF = (1 - MP)M_s(v) + MP \quad (5)$$

где:  
MF - итоговый коэффициент снижения подвижности газа;  
MP - коэффициент снижения подвижности газа после учета влияния давления;  
 $M_s(v)$  - функция, зависящая от сдвига;  
 $v$  - скорость газа.

Скорость газовой фазы вычисляется следующим образом:

$$v = B_g \left( \frac{F_g}{\varphi \cdot A} \right) \quad (5)$$

где:

$F_g$  - скорость течения газа через единицу поверхности;

$B_g$  - объемный коэффициент газа;

$\varphi$  - средняя пористость двух ячеек;

$A$  - площадь сечения потока между двумя ячейками.

# Использование модели пены

Модель пены активизируется с помощью ключевого слова FOAM в секции RUNSPEC. Есть возможность вывода геометрических данных, используемых для расчета эффекта уменьшения сдвига с помощью мнемоники FOAM в ключевом слове RPTGRID. При этом выводится карта  $1/(\text{poro} * \text{area})$  значений, применяемых для расчета скорости газа. Есть обязательное ключевое слово в секции PROPS, которое описывает снижение подвижности газа как функцию концентрации пены. Кроме того, имеются 5 дополнительных ключевых слов, которые могут активировать опции адсорбции, распада и дополнительные функции подвижности.

- FOAMMOV таблицы фактора снижения подвижности газовой фазы как функции концентрации пены (обязательное)
- FOAMADS данные адсорбции пены. (необязательное)
- FOAMDYW данные по распаду пены (как функции водонасыщенности). (необязательное)
- FOAMDYO данные по распаду пены (как функции нефтенасыщенности). (необязательное)
- FOAMOBP коэффициент снижения подвижности газа как функция давления. (необязательное)
- FOAMOBV коэффициент снижения подвижности газа как функция сдвига. (необязательное)

Данные секции PROPS модели пены можно вывести в файл PRINT с помощью мнемоники FOAM в ключевом слове RPTPROPS. Концентрация нагнетаемой пены для скважины с закачкой воды задается с помощью ключевого слова WFOAM в секции SCHEDULE.

# Управление выводом

Выводом в файл PRINT можно управлять с помощью следующих мнемоник ключевых слов RPTSCHED и RPTSOL:

- FOAM концентрация пены в каждом блоке сетки.
- FIPFOAM баланс пены для месторождения и каждой области.
- FOAMADS пена, адсорбированная породой.
- FOAMDCY период полураспада и время полного распада пены.
- FOAMMOV коэффициент снижения подвижности газа.

Обратите внимание, что снижение подвижности газа учитывает эффект давления, но не сдвиговый эффект, т. к. сдвиговый эффект вычисляется отдельно для каждого потока.

- WELLS=2 Создает сводку данных о нагнетании и добыче пены для месторождения/группы скважин/скважины/соединений.

Список ключевых слов секции SUMMARY расширен, чтобы включить в него данные, относящиеся к пене. Эти ключевые слова используют формат пассивного индикатора: имя ключевого слова объединяется с названием индикатора. Здесь пена идентифицируется именем индикатора FOA. Например, ключевое слово для добычи пены по всему месторождению будет иметь вид FTPRFOA.