SWorld – *1-12 October 2013*
http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conference/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/oct-2013
SCIENTIFIC RESEARCH AND THEIR PRACTICAL APPLICATION. MODERN STATE AND WAYS OF DEVELOPMENT '2013
Доклад/Физик и математика-Физика, механика и астрономия

УДК 665.6.504

Борисевич Ю.П., Хохлова Н.Ю.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВСПЛЫТИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ГАЗОВЫХ ПУЗЫРЬКОВ ПРИ СЕПАРАЦИИ НЕФТИ С ОБРАЗОВАНИЕМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ

Самарский государственный технический университет

Россия, Самара, Молодогвардейская, 244

UDC 665.6.504

Borisevich Y.P., Khokhlova N.Y.

THE GAS BUBBLE FLOATING-UP AND DESTRUCTION MODELING IN SEPARATION OIL WITH INDEPENDENT GAS PHASE PRODUCTION

Samara State Technical University

Russia, Samara, Molodogvardeiskaya, 244

В данной работе проведены сравнения существующих методик расчета разгазирования продукций скважин, проведено их усовершенствование и подготовлен алгоритм для создания соответствующей программы расчета.

Ключевые слова: моделирование, разгазирование нефтей, критерий Архимеда.

In this paper we describe the comparisons of existing calculation methods degassing boreholes productions, conducted its improvement and developed an algorithm for generate the appropriate calculation program.

Key words: modeling, oil degassing, the criterion of Archimedes.

Моделирование данного процесса – чрезвычайно сложная задача, т.к. при его осуществлении происходит не только постоянное изменение свойств самого газового пузырька (размеры, плотность, вязкость, состав, поверхностное натяжение, температура и т.д.), но и непрерывное изменение свойств вмещающей пузырёк жидкости (плотность, вязкость, состав, давление на пузырёк, температура и т.д.).

К тому же, жидкость и вся система в целом зачастую находятся в сложном движении и нередко подвергаются дополнительным воздействиям из вне, влияние которых не изучено.

Мы ограничимся рассмотрением лишь простейших ситуаций.

Модель № 1. Всплытие одиночного пузырька постоянного размера в неподвижной жидкости [1].

На такую частицу будут действовать три силы.

Сила тяжести F:

$$F = \rho_п \cdot g \frac{\pi \cdot d_п^3}{6},$$

$\rho_п$ – плотность газа в пузырьке;

$d_п$ – диаметр пузырька;

g – ускорение свободного падения.

Подъёмная сила Архимеда (F_A):

$$F_A = \rho_ж \cdot g \frac{\pi \cdot d_п^3}{6},$$

где $\rho_ж$ – плотность жидкости.

Сила сопротивления жидкости равноускоренному всплытию пузырька находится из закона Ньютона (F_c):

$$F = \frac{\omega^2 \cdot \xi \cdot \rho_ж \cdot \pi \cdot d_п^2}{8},$$

где ξ – безразмерный коэффициент сопротивления среды;

ω – нарастающая скорость всплытия пузырька.

Так как пузырёк всплывает под действием разности постоянных сил F и F_A, то он будет двигаться равноускоренно.

Но с ростом скорости всплытия увеличивается и сила сопротивления жидкости и, в результате, после короткого участка равноускоренного движения дальнейшее всплытие будет происходить с постоянной скоростью под действием следующего баланса сил:

$$F\text{-}F_A=F_c, \text{ или:}$$

$$\rho_П \cdot g\frac{\pi \cdot d_п^3}{6} - \rho_ж \cdot g\frac{\pi \cdot d_п^3}{6} - \frac{\omega^2 \cdot \xi \cdot \rho_ж \cdot \pi \cdot d_п^2}{8} = 0.$$

Откуда, скорость всплытия:

$$\omega_{вспл} = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{(\rho_ж - \rho_п) \cdot d_п \cdot g}{\rho_ж \cdot \xi}}.$$

Границы между режимами всплытия определяются численными значениями критерия Рейнольдса:

$$\mathrm{Re} = \frac{\omega_{вспл} \cdot \rho_ж \cdot d_п}{\mu_ж},$$

где $\mu_ж$ – динамическая вязкость жидкости.

Ламинарному режиму соответствует:

$$\mathrm{Re} > 0{,}2 \div 2{,}0.$$

Турбулентному режиму соответствует:

$$\mathrm{Re} \le 500.$$

Переходному режиму соответствует:

$$0{,}2 \div 2{,}0 \le \mathrm{Re} < 500.$$

Но, для нахождения скорости всплытия необходимо знать ξ.

Однако $\xi = f(\mathrm{Re})$, а число Рейнольдса, в свою очередь: $\mathrm{Re} = f(\omega_{вспл})$.

В результате, приходится задаваться режимом всплытия, а после определения проводить проверку, вычисляя *Re*, т.е., вести расчет методом последовательного приближения.

Однозначно решить эту задачу можно выразив коэффициент сопротивления ξ из уравнения равномерного движения:

$$\xi = \frac{4}{3}\frac{(\rho_ж - \rho_п) \cdot d_п \cdot g}{\rho_ж \cdot \omega_{вспл}^2}.$$

После умножения обоих частей уравнении на Re^2 и подстановке в правой части критерия Рейнольдса получим:

$$\xi \cdot \mathrm{Re}^2 = \frac{4}{3}\frac{(\rho_{ж} - \rho_{п}) \cdot \rho_{ж} \cdot d_{п}^3 \cdot g}{\mu_{ж}^2}.$$

Величина:

$$Ar = \frac{(\rho_{ж} - \rho_{п}) \cdot \rho_{ж} \cdot d_{п}^3 \cdot g}{\mu_{ж}^2}$$

носит название критерия Архимеда и в него входят только известные величины.

Тогда $\xi \cdot \mathrm{Re}^2 = \frac{4}{3}Ar$, или $\mathrm{Re} = 1{,}155 \cdot \left(\frac{Ar}{\xi}\right)^{0,5}$.

Скорость всплытия:

$$w_{вспл} = \mathrm{Re} \cdot \frac{\mu_{ж}}{\rho_{ж} \cdot d_{п}}.$$

При ламинарном режиме Ar $\leq$ 36, $\xi = \frac{24}{\mathrm{Re}}$ и подставив в $\xi \cdot \mathrm{Re}^2 = \frac{4}{3}Ar$, в результате получим: $\mathrm{Re} = \frac{Ar}{18}$. Находим окончательное выражение для скорости всплытия одиночного сферического пузырька в покоящейся жидкости при ламинарном режиме всплытия:

$$w_{вспл} = \frac{(\rho_{ж} - \rho_{п}) \cdot d_{п}^2 \cdot g}{18 \cdot \mu_{ж}}.$$

При переходном режиме (36 < Ar < 82500). Скорость всплытия одиночного сферического пузырька в покоящейся жидкости при переходном режиме находится по формуле:

$$w_{вспл} = 0{,}153 \cdot \frac{(\rho_{ж} - \rho_{п})^{0,714} \cdot d_{п}^{0,142} \cdot g^{0,714}}{\rho_{ж}^{0,286} \cdot \mu_{ж}^{0,428}}.$$

При турбулентном режиме Ar $\geq$ 82500, ξ = 0,44 и $\mathrm{Re} = 1{,}74 \cdot Ar^{0,5}$, получаем скорость всплытия одиночного сферического пузырька в покоящейся жидкости при турбулентном режиме всплытия:

$$w_{вспл} = 0{,}174 \cdot \frac{(\rho_{ж} - \rho_{п})^{0,5} \cdot d_{п}^{0,5} \cdot g^{0,5}}{\rho_{ж}^{0,5}}.$$

Критерий Рейнольдса можно вычислить и без знания коэффициента сопротивления, если воспользоваться выражением, пригодным для всех режимов всплытия:

$$\mathrm{Re} = \frac{Ar}{18 + 0{,}575 \times \sqrt{Ar}}.$$

При ламинарном течении вторым слагаемым в знаменателе можно пренебречь. При турбулентном течении первым слагаемым в знаменателе можно пренебречь, так что формула весьма универсальна.

Модель № 2. Всплытие одиночного пузырька постоянного размера в двигающейся жидкости.

Если пузырёк всплывает в двигающейся жидкости, то приходится учитывать векторный характер скорости всплытия:

$$\vec{w}'_{\text{вспл}} = \vec{w}_{\text{вспл}} + \vec{w}_{\text{ж}},$$

где $\vec{w}'_{\text{вспл}}$ – векторная скорость всплытия одиночного пузырька постоянного размера в двигающейся жидкости;

$\vec{w}_{\text{вспл}}$ – векторная скорость всплытия одиночного пузырька постоянного размера в неподвижной жидкости;

$\vec{w}_{\text{ж}}$ – векторная скорость жидкости.

Модель № 3. Всплытие сообщества пузырьков постоянного размера в неподвижной жидкости.

Всплытие сообщества пузырьков при достижении ими концентрации начиная с которой их взаимодействием (прежде всего соударением) пренебречь, становятся невозможным, называется всплытием в стеснённых условиях.

Если взаимодействием пузырьков в их всплывающем сообществе можно пренебречь, то это всплытие в свободных условиях.

Стеснённые условия реализуются, если $\varphi_{\text{ср}} > 5$ %.

Причём, $\varphi_{\text{ср}}$ находится как среднее арифметическое между $\varphi_{\text{н}}$ и $\varphi_{\text{к}}$;

где $\varphi_{\text{ср}}$ – средняя концентрация пузырьков в жидкости, %;

$\varphi_{\text{н}}$ – начальная концентрация пузырьков в жидкости, %;

$\varphi_к$ – конечная концентрация пузырьков в жидкости, %.

В этом случае, критерий Рейнольдса можно найти по уравнению:

$$\mathrm{Re} = \frac{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 + 0,575 \cdot \sqrt{Ar \cdot \varepsilon^{4,75}}},$$

где ε – относительная доля жидкости в исходной смеси:

$\varepsilon = \dfrac{V_{ж}}{V_{ж} + V_{п}}$, в этой формуле $V_{ж}$ – объём жидкости; $V_{п}$ – объём пузырьков.

Скорость всплытия сообщества пузырьков постоянного размера в неподвижной жидкости в стеснённых условиях при любых режимах движения будет иметь вид:

$$w'_{вспл} = \frac{(\rho_{ж} - \rho_{п}) \cdot d_{п}^{2} \cdot g \cdot \varepsilon^{4,75}}{18 \cdot \mu_{ж} + \sqrt{(\rho_{ж} - \rho_{п}) \cdot \rho_{ж} \cdot d_{п}^{3} \cdot g \cdot \varepsilon^{4,75}}}.$$

Экспериментальными исследованиями установлена следующая связь между скоростью всплытия в свободных и стеснённых условиях:

$$w'_{вспл} = w_{вспл} \cdot \varepsilon^{-n},$$

где n – эмпирический коэффициент, величину которого в практических расчетах можно принять равной 4,7.

Известны также зависимости:

$$w'_{вспл} = w_{вспл} \cdot \varepsilon^{2} \cdot 10^{-1,81 \cdot (1-\varepsilon)};$$

$$w'_{вспл} = w_{вспл} \cdot \frac{0,123}{1-\varepsilon}\varepsilon^{3}$$

Первая формула справедлива при $\varepsilon > 0,7$ вторая при $\varepsilon \le 0,7$.

Иногда, вместо критерия Архимеда используют критерий Галилея (Ga), взаимосвязь между ними определяется уравнением:

$$Ga = Ar \cdot \frac{\rho_{ж}}{\rho_{ж} - \rho_{п}}.$$

А вместо критерия Рейнольдса часто используют критерий Лушенко (Ly), взаимосвязь между этими критериями определяется уравнением:

$$Ly = \frac{\mathrm{Re}^{3}}{Ar}.$$

Графически взаимосвязь критериев Рейнольдса, Архимеда и Лушенко проиллюстрирована номограммой (рис. 1).

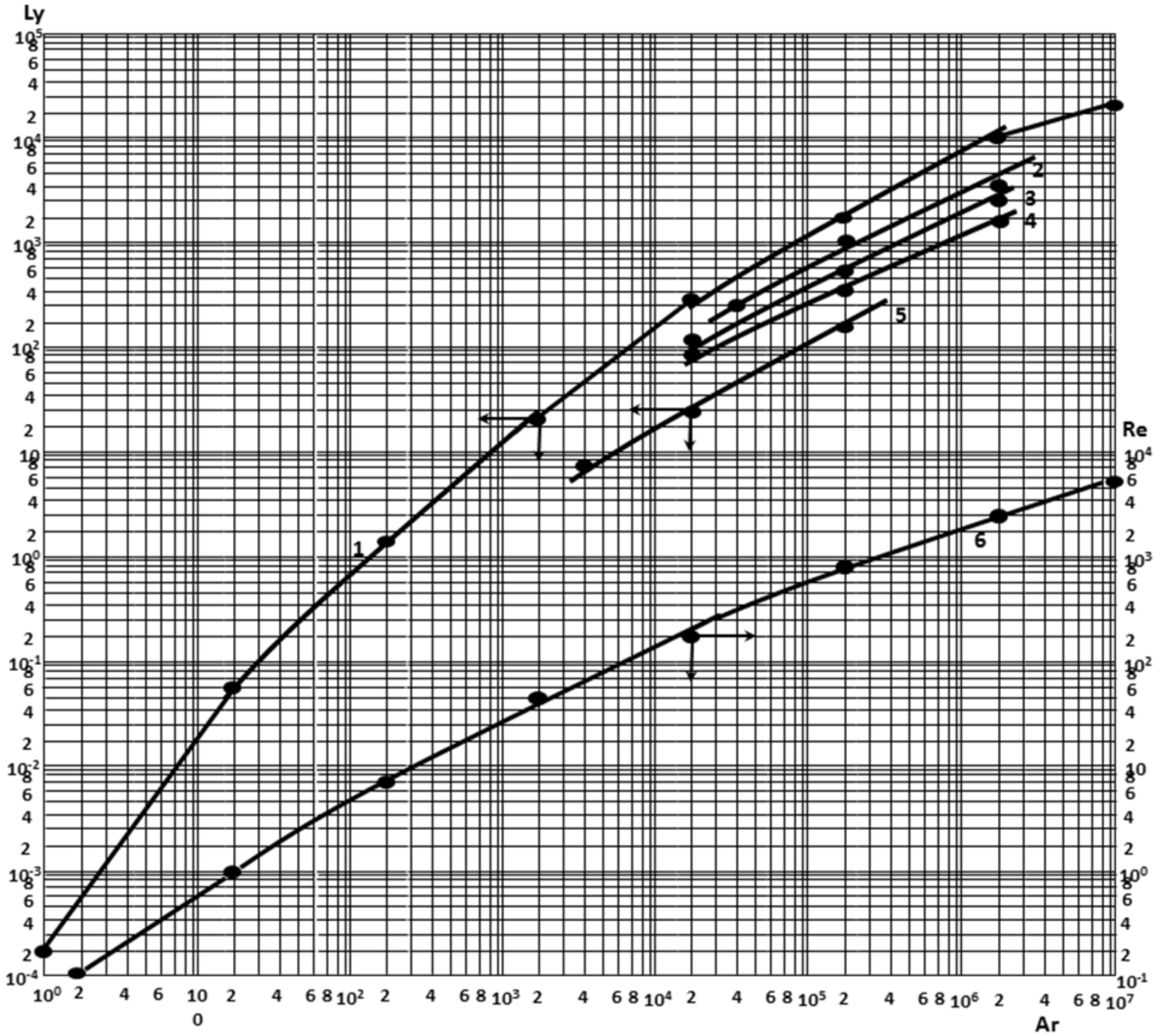

Рис.1. Взаимосвязь критериев Рейнольдса, Архимеда и Лушенко

Таким образом, мы можем использовать разработанный алгоритм расчета при создании программы для разгазирования продукции скважин, основываясь на нескольких методиках.

Литература:

1. Тронов В.П. Промысловая подготовка нефти – Казань: Фэн, монография. 2000. - 416 с.

References:

1. Toronov V.P The commercial preparation of oil - Kazan: Fen, a monograph. 2000. - 416 p.