

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕФТИ, ГАЗА И ПОРОДЫ В ПАКЕТЕ MODELINGSED

Кучумов Рубин Р., Кучумов Р.Р.

ОАО ВНИИСТ, г. Москва

Рассмотрены алгоритмы расчета физических свойств нефти, газа и породы с использованием пакета программ ModelingSED, разработанного авторами. Предложен аналитический метод расчета давления насыщения нефти газом на основе аппроксимации зависимости давления насыщения от плотности нефти и газосодержания. Построены зависимости объемного коэффициента пластовой нефти от давления, которые используются при проведении гидродинамических расчетов.

Ил. 6, табл. 1, библиогр. 4 назв.

Расчет давления насыщения нефти газом. Как известно, давление насыщения нефти газом обычно определяется в лабораториях по глубинным пробам нефти. В настоящее время аналитические методы определения давления насыщения не получили широкого распространения по причине того, что определение этого параметра в лабораторных условиях является обязательным при анализе физико-химических свойств нефти.

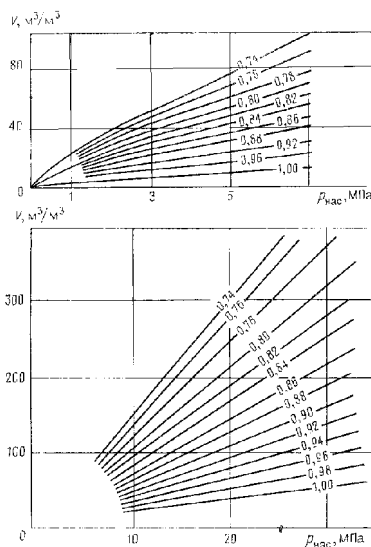
Однако в промысловой практике встречаются ситуации, когда лабораторные данные отсутствуют или пробы нефти еще исследуются, а на том этапе, на котором находится инженер в процессе выполнения работы, уже необходимо знать давление насыщения. В этой связи был разработан аналитический метод определения данного параметра на основе аппроксимации зависимости давления насыщения от плотности нефти и газосодержания, изображенной на рис. 1.

В первую очередь оцифровкой данной номограммы были получены ряды точек зависимости давления насыщения $P_{нас}$ от газосодержания G для каждого значения плотности нефти. Как видно из рис. 1, данная зависимость достаточно хорошо описывается линейной функцией вида

$$P_{нас} = AG, \quad (1)$$

где A – неизвестный коэффициент, подлежащий определению.

Полученные уравнения прямых для соответствующих значений плотности приведены в табл. 1.



Шифр кривых – плотность нефти, г/см³

Рисунок 1. Зависимость давления насыщения нефти газом от газосодержания

Таблица 1

Аппроксимирующие уравнения для различных значений плотности

Плотность нефти, г/см ³	Вид зависимости
0,74	$P_{нас} = 0,0667 G$
0,76	$P_{нас} = 0,0726 G$
0,78	$P_{нас} = 0,0816 G$
0,8	$P_{нас} = 0,0941 G$
0,82	$P_{нас} = 0,1068 G$
0,84	$P_{нас} = 0,1193 G$
0,86	$P_{нас} = 0,1393 G$
0,88	$P_{нас} = 0,1585 G$
0,9	$P_{нас} = 0,1848 G$
0,92	$P_{нас} = 0,2146 G$
0,94	$P_{нас} = 0,2532 G$
0,96	$P_{нас} = 0,3040 G$
0,98	$P_{нас} = 0,3876 G$
1	$P_{нас} = 0,5155 G$

Далее по данным табл. 1 была построена зависимость коэффициента A линейной функции (1) от плотности нефти ρ_n . Эта зависимость хорошо описывается полиномом четвертой степени (коэффициент достоверности аппроксимации $R^2=0,9992$). Данная зависимость имеет вид

$$A = 324,34\rho_n^4 - 1081\rho_n^3 + 1351,2\rho_n^2 - 749,93\rho_n + 155,89 \quad (2)$$

и изображена на рис. 2.

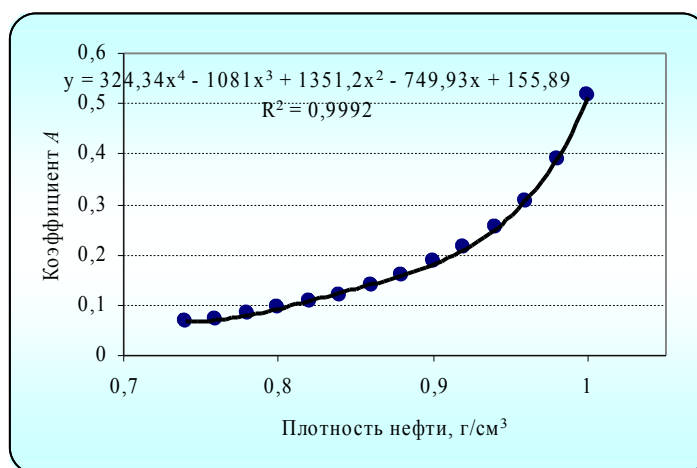


Рисунок 2. Зависимость коэффициента A от плотности нефти

Следовательно, искомая зависимость давления насыщения нефти газом от плотности и газосодержания нефти будет иметь вид:

$$P_{нас} = (324,34\rho_n^4 - 1081\rho_n^3 + 1351,2\rho_n^2 - 749,93\rho_n + 155,89) \cdot G. \quad (3)$$

Не сложно убедиться, что функция (3) является функцией двух переменных, следовательно, мы можем построить трехмерную поверхность, каждая точка которой будет соответствовать определенному давлению насыщения при заданных плотности нефти и газосодержании. Данная поверхность изображена на рис. 3.

Как видно из рис. 3, давление насыщения возрастает при увеличении плотности и газосодержания нефти.

Алгоритм вычисления давления насыщения имеет линейную структуру, блок-схема алгоритма изображена на рис. 4.

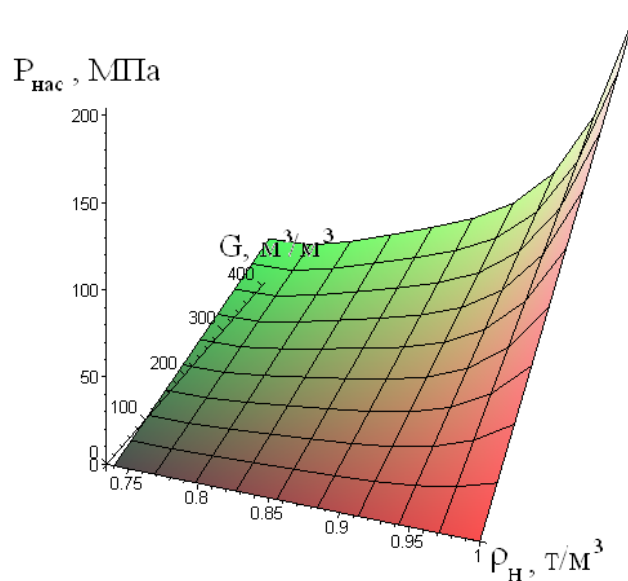


Рисунок 3. Зависимость давления насыщения от плотности и газосодержания нефти

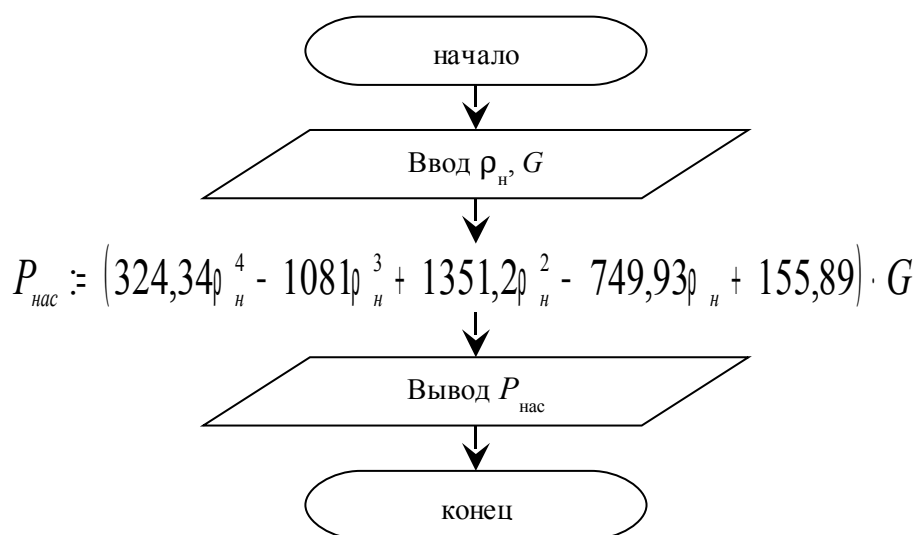


Рис. 4. Блок-схема алгоритма вычисления давления насыщения нефти газом

Оценка плотности нефти в пластовых условиях. Плотность нефти в пластовых условиях с удовлетворительной точностью можно оценить по формуле

$\rho_{пл} := \frac{1}{b}(\rho_n + \rho_z G)$. Алгоритм блока вычисления плотности нефти в пластовых

условиях также будет иметь линейную структуру, блок-схема алгоритма изображена на рис. 5.

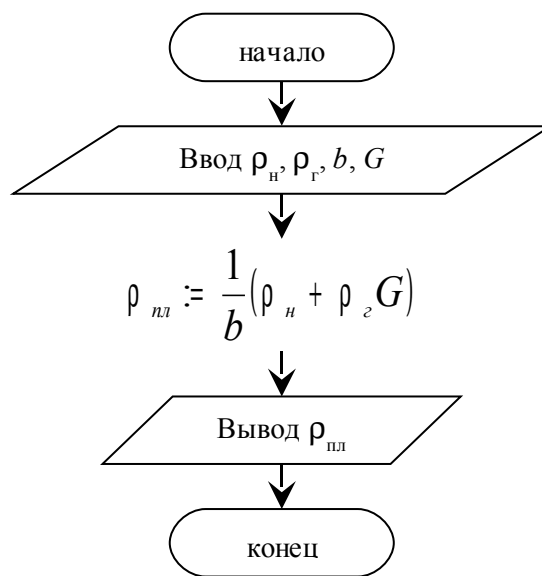


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма вычисления плотности нефти в пластовых условиях

Построение зависимости объемного коэффициента пластовой нефти от давления. Зависимость объемного коэффициента нефти от давления можно получить из формулы для коэффициента сжимаемости нефти [1]:

$$\beta_n = \frac{1}{\Delta p} \cdot \frac{b_1 - b_2}{b_1}, \quad (4)$$

где b_1 и b_2 – объемные коэффициенты пластовой нефти для начального и текущего давлений, Δp – изменение давления.

Пусть нам известно значение объемного коэффициента b_1 при пластовом давлении $p_{пл}$ и коэффициент сжимаемости нефти β_n , тогда уравнение (4) можно преобразовать к виду

$$b_2 = b_1 - \beta_n \cdot b_1 (p - p_{пл}), \quad (5)$$

или

$$b_2 = -\beta_n \cdot b_1 p + (\beta_n \cdot p_{пл} + 1) b_1. \quad (6)$$

Как видно из формулы (6), зависимость объемного коэффициента от давления при известных значениях b_1 , $p_{пл}$ и β_n имеет линейный вид. Однако данная зависимость верна лишь для давлений, превышающих давление насыщения $p_{нас}$, т.е. $p > p_{нас}$.

Для построения участка зависимости при $p < p_{нас}$ необходимо учесть тот факт, что при атмосферном давлении объемный коэффициент равен единице. Установлено, что зависимость при $p < p_{нас}$ также линейна и ее можно построить по двум точкам [2, 3, 4].

Следовательно, для построения зависимости объемного коэффициента от давления необходимо вычислить три точки: объемный коэффициент при атмосферном давлении (он равен единице), объемный коэффициент при давлении насыщения и при конечном давлении, до которого необходимо произвести расчет – по формуле (6).

Построение зависимости объемного коэффициента от давления является обязательным при написании проектных документов и проведении гидродинамических расчетов.

Блок-схема вычисления зависимости объемного коэффициента от давления приведена на рис. 6.

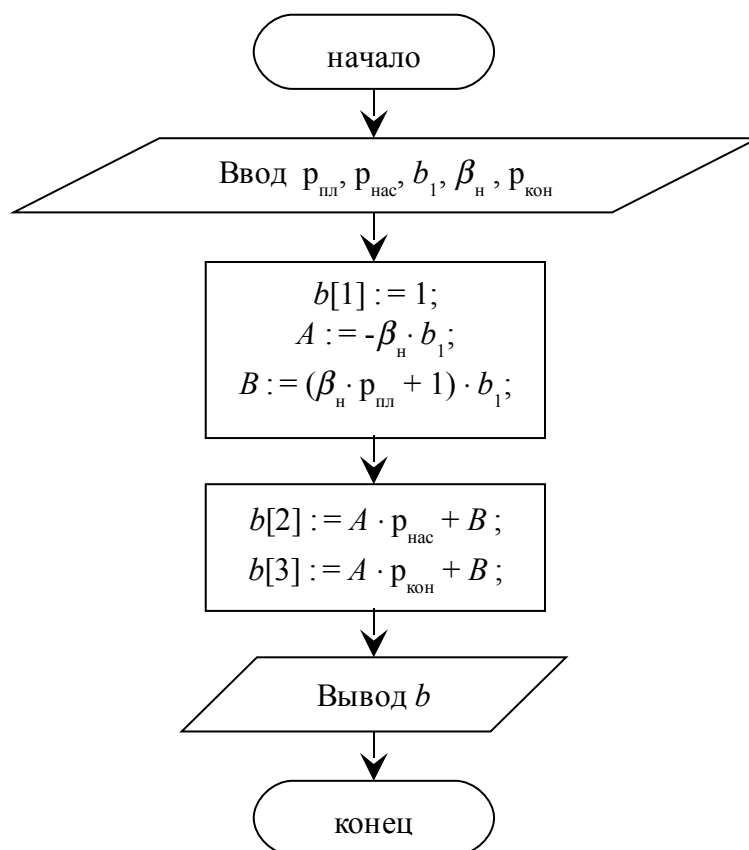


Рисунок 6. Блок-схема алгоритма вычисления зависимости объемного коэффициента от давления

Литература

1. Спутник нефтегазопромыслового геолога: Справочник / Под ред. И.П. Чоловского. – М.: Недра, 1989. – 376 с.
2. Гиматудинов Ш.К. Физика нефтяного и газового пласта. Учебник. – М.: Недра, 1971. – 312 с.
3. Гиматудинов Ш.К., Ширковский А.И. Физика нефтяного и газового пласта. Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 311 с.
4. Медведев Ю.А. Физика нефтяного и газового пласта: Курс лекций. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2000 – 158 с.