

УДОСКОНАЛЕНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ВУГЛЕВОДНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НОВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ У ГАЛУЗІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ФАЗОВОЇ РІВНОВАГИ

М.Є. Чернова, В.І. Коваль

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48090,
e-mail: physics@nuing.edu.ua

Розглядається спосіб проведення аналітичних досліджень та вдосконалення уніфікації методики оцінки початкових запасів вуглеводнів на основі новітніх досягнень у галузі використання рівнянь стану речовини з врахуванням компонентовіддачі покладу.

Ключові слова: флюїд, свердловина, речовина, видобуток, родовище

Рассматривается способ проведения аналитических исследований и усовершенствование унификации методики оценки предварительных запасов нефтепродуктов, с учетом новейших достижений в области использования уравнений состояния вещества с учетом компонентоотдачи залежей.

Ключевые слова: флюид, скважина, вещество, добыча, месторождение

Analytical study and improvement of unification of preliminary supply of oil products estimation technique taking into consideration the up-to-date achievements in the sphere of state of matter equation use in view of productive capacity of reservoirs is considered.

Keywords: fluid, well, substance, production, field

Точність визначення початкових запасів вуглеводнів відіграє важливу роль у подальшій розробці родовища та впливає на темпи розробки, об'єм буріння, величину капітальних вкладень та будівництво наземних комунікацій. Як відомо, методи підрахунку запасів поділяються на дві групи: об'ємний та метод матеріального балансу. Як перший, так і другий метод підрахунку передбачає наявність достатньої кількості вхідної інформації. Так, для об'ємного методу визначальним є достовірність результатів інтерпретації матеріалів ГДС та способу усереднення параметрів за площею та об'ємом покладу на ділянках між пробуреними свердловинами. В основу методу матеріального балансу покладено точність визначення початкового та поточного значення пластового тиску та залежності фізичних параметрів пластового флюїду від тиску, таких як об'ємний коефіцієнт, газо- або конденсатоміст та коефіцієнт пружності. Як свідчить практика, оцінка запасів за матбалансом більш точно відображає особливості пластової гідродинамічної системи, ув'язує усі параметри в спільну систему рівнянь та може слугувати підставою для встановлення проникності тектонічних порушень та зв'язку між різними ділянками покладу.

Аналіз існуючих методів розрахунку запасів вуглеводнів [1,2] свідчить, що метод матеріального балансу ґрунтується на постійності маси речовини в процесі розробки, тобто початкова кількість речовини дорівнює сумі тієї, що залишилась у пласті та тієї, що була видобута. На практиці здебільшого використовується рівняння, що уможливує перехід від масових одиниць до об'ємних з введенням відповідних коефіцієнтів. Залежно від режиму розробки по-

кладу та повноти врахування фізичних процесів у процесі видобування рівняння можна поділити на 3 групи: пружний, змішаний та газовий режим. Найбільш простими для розрахунку є пружний режим для нафтового покладу ($R_{пл} > R_{нас}$) та газовий для чисто газового покладу ("сухий газ"). На практиці ж досить часто розробка родовищ відбувається у змішаних режимах, внаслідок розробки на виснаження, коли відбувається перехід до нафтових покладів у режим розчиненого газу, а газових – розробки в умовах ретроградного випадання та випаровування рідких вуглеводнів у пласті. Вказані умови розробки значно ускладнюють розрахунок, а деколи і взагалі його унеможливають.

Для нафтових родовищ у такому випадку застосовується узагальнений об'ємний коефіцієнт, який є функцією від тиску і розраховується з врахуванням диференціального розгазування. Цей підхід використовується і для газоконденсатних покладів, коли за основу береться крива диференціальної конденсації. Проте, такий підхід у більшості випадків може призвести до значних неточностей у розрахунку. Пов'язано це з тим, що у формули закладаються коефіцієнти отримані для початкової суміші внаслідок однократного процесу пониження тиску. У випадку, коли після значного зниження тиску та розробки покладу в області двофазної фільтрації, розробку було призупинено для відновлення тиску з подальшим введенням в експлуатацію, а у випадку нагнітання газу («сайклінг процес»), або іншого агенту, що спричиняє фазові переходи, використання вищезгаданих коефіцієнтів взагалі стає неправомірним. Також недостатньо обґрунтованим є використання результатів диференціального розгазування чи

конденсації, у зв'язку із двофазною фільтрацією флюїдів.

Нами здійснено аналітичні дослідження, з метою вдосконалення та уніфікації методики оцінки початкових запасів вуглеводнів, на основі новітніх досягнень в галузі використання рівнянь стану речовини, що базується на компонентовіддачі покладу. Наведемо окремий випадок застосування методики без врахування пружності пласта та води. В основі запропонованої методики використовується рівняння:

$$N_0 = N_B + N_3, \quad (1)$$

де N_0, N_3, N_B – масова частка речовини у пласті, відповідно початкова, видобута та залишкова.

Загальновідомо, що в замкненій системі «газ – рідина» весь тиск P створюється газовою частиною, а рідина передає тиск. Припустимо, для початкового наближення, що за деяких термобаричних умов пластова суміш перебуває у двофазному стані. Таким чином, для даного випадку рівняння визначення тиску набуває вигляду:

$$P = \frac{N_G \cdot z_G \cdot R \cdot T \cdot M_G}{V_G}, \quad (2)$$

де: N_G – кількість газу (в молях);
 Z_G – коефіцієнт надстисливості газу;
 R – універсальна газова стала;
 M_G – молярна маса газу;
 T – термодинамічна температура;
 V_G – об'єм, що займає газ.

$$V_G = V_0 - V_P, \quad (3)$$

де V_0, V_P – відповідно початковий об'єм пор та об'єм рідини.

Введемо позначення ω_G – молярної частки газової фази:

$$\omega_G = \frac{N_G}{N}, \quad (4)$$

де N – загальна кількість речовини (в молях).

Об'єм, що займає рідина становить:

$$V_P = \frac{N_P \cdot z_P \cdot R \cdot T \cdot M_P}{P}. \quad (5)$$

З врахуванням наведених співвідношень рівняння 2 набуває вигляду:

$$P = \frac{\omega_G \cdot N \cdot z_G \cdot R \cdot T \cdot M_G}{V_0 - \frac{(1 - \omega_G) \cdot N \cdot z_P \cdot R \cdot T \cdot M_P}{P}}. \quad (6)$$

Після елементарних спрощень отримуємо:

$$P = (\omega_G \cdot z_G \cdot M_G + (1 - \omega_G) \cdot z_P \cdot M_P) \frac{N \cdot R \cdot T}{V_0}. \quad (7)$$

Рівняння 7 є узагальненим рівнянням стану з врахуванням фазової рівноваги. Значимо, що коефіцієнти надстисливості газу, рідини та молярні маси фаз розраховуються за компонентним складом цих фаз.

Введемо такі позначення:

$$N_0 = \sum_{i=1}^n N_{0i}, \quad (8)$$

$$N_B = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k N_{ij}, \quad (9)$$

$$N_3 = N_0 - N_B, \quad (10)$$

де: N_{0i}, N_{ij} – відповідно початкова кількість речовини i -того компонента системи (в молях) та кількість видобутого i -того компонента (в молях);

n – кількість компонентів системи;

k – кількість періодів, по яких проводиться сумування кількості видобутого i -того компонента.

Відповідно рівняння для початкового об'єму системи відносно початкового термобаричного стану:

$$V_0 = (\omega_{G0} \cdot z_{G0} \cdot M_{G0} + (1 - \omega_{G0}) \cdot z_{P0} \cdot M_{P0}) \times \frac{N_0 \cdot R \cdot T}{P_0}. \quad (11)$$

Після підстановки рівняння 8 у 7, та заміни N на N_3 зважаючи, що йдеться про кількість речовини, що залишилась у пласті, та здійснивши відповідні спрощення отримуємо:

$$P = \frac{(\omega_G \cdot z_G \cdot M_G + (1 - \omega_G) \cdot z_P \cdot M_P) \cdot N_3 \cdot P_0}{(\omega_{G0} \cdot z_{G0} \cdot M_{G0} + (1 - \omega_{G0}) \cdot z_{P0} \cdot M_{P0}) \cdot N_0}. \quad (12)$$

Отримане рівняння 12 є рівнянням матеріального балансу вуглеводневої системи з врахуванням фазових переходів та покомпонентного видобутку. Для спрощення рівня проведено заміни:

$$B = \omega_G \cdot z_G \cdot M_G + (1 - \omega_G) \cdot z_P \cdot M_P; \quad (13)$$

$$A = \omega_{G0} \cdot z_{G0} \cdot M_{G0} + (1 - \omega_{G0}) \cdot z_{P0} \cdot M_{P0}. \quad (14)$$

З врахуванням 13 та 14 отримуємо рівняння:

$$P = \frac{B \cdot N_B \cdot P_0}{A \cdot N_0}. \quad (15)$$

Визначивши з рівняння 15 початкову кількість речовини (в молях), та провівши заміну N_3 з рівняння 10, отримуємо:

$$N_0 = \frac{B \cdot N_3 \cdot P_0}{B \cdot P_0 - A \cdot P}. \quad (16)$$

Таким чином, рівняння 16 є універсальним рівнянням матеріального балансу для визначення початкової кількості речовини, незалежно від того в якому початковому стані перебувала система та режиму розробки. Враховуючи, що початковий компонентний склад системи відомий, перейти до вираження запасів у масових чи об'ємних одиницях справа елементарних перетворень. Зважаючи, що коефіцієнт B залежить від компонентного складу флюїду, що залишився у пласті, і який на початковому етапі розрахунку невідомий, авторами пропонується реалізувати розрахунок методом послідовних наближень. Алгоритм наведено нижче:

1. За заданим компонентним початковим складом суміші знаходимо початкові коефіцієнти надстисливості та молярні маси фаз, що входять у рівняння 14 та знаходимо коефіцієнт А.

2. Задаємо, що компонентний склад пластової суміші рівний поточному, що видобувається на момент розрахунку;

3. Знаходимо коефіцієнти надстисливості та молярні маси фаз, що входять у рівняння 13 та знаходимо коефіцієнт В;

4. За формулою 9 знаходимо кількість видобутої речовини (в молях);

5. Розв'язуємо рівняння 16 та знаходимо початкову кількість речовини;

6. Уточнюємо поточний компонентний склад пластової суміші за рівнянням:

$$n_i = \frac{N_0 \cdot n_{0i} - N_i}{N_0 - N_B}, \quad (17)$$

де: n_{0i} , n_i – відповідно початковий та поточний вміст і-того компонента в системі;

N_i – сумарна видобута кількість речовини і-того компонента.

За уточненим складом знаходимо коефіцієнти надстисливості та молярні маси фаз, що входять у рівняння 13, та знаходимо коефіцієнт В.

7. Повторюємо розрахунки з пункту 5 поки не буде досягнуто задану точність розрахунку.

Враховуючи світові досягнення в галузі використання рівнянь стану речовини, їхню значну кількість та особливості застосування, з метою знаходження коефіцієнтів надстисливості та молярних мас фаз, мольної частки газової фази, а також розрахунків фазової рівноваги та усіх фізичних параметрів вуглеводнів авторами реалізовано розрахунок з використанням чотирьохкоефіцієнтного рівняння стану речовини запропонованого Брусіловським А.І. [3]

Практично всі рівняння стану Ван-дер-Ваальсового типу, що знайшли застосування в задачах проектування розробки та експлуатації родовищ природних вуглеводнів є частинними формами чотирьох коефіцієнтного рівняння стану. Загальний вигляд рівняння наступний:

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{(V+c) \cdot (V+d)}, \quad (18)$$

де: P – тиск, МПа;

R – газова стала, Дж/(моль·К);

V – об'єм речовини, м³;

a, b, c, d – коефіцієнти рівняння.

Більш докладно рівняння, коефіцієнти та особливості застосування розглянуто в [3], зазначимо тільки, що в рівнянні враховуються коефіцієнти попарної взаємодії компонентів вуглеводневої суміші в залежності від температури, їх критичні параметри та ацентричний фактор. Точність отриманих результатів вища, ніж за використання рівняння Пенга-Робінсона, та значно вища, ніж розрахунок за рівнянням Редліха-Квонга та його модифікацій. В порівнянні з іншими рівняннями особливо точно моделюється рідина. Для розрахунку властивос-

тей речовини та фазової рівноваги розроблено програмний комплекс в середовищі DELPHI. З метою знаходження кількості видобутих рідких вуглеводнів рекомендуємо використовувати результати фракційної розгонки по температурах кипіння з подальшою екстраполяцією в певному часовому інтервалі.

Варто підкреслити універсальність запропонованої методики, так як у випадку однофазного стану флюїду (рідкого чи газового) формула 16 спрощується і набуває вигляду ідентичного до чисто пружного для нафти чи газу відповідно, причому неважливо в якій області, до чи після тиску насичення проводиться розрахунок. Можливість покомпонентного врахування видобутку згідно запропонованої методики та використання удосконаленого рівняння стану речовини дає змогу з високою точністю моделювати пластові багатокомпонентні системи. Використання такого ж, або максимально подібного рівняння стану з тим, що використовується в гідродинамічних стимуляторах провідних фірм, таких як ROXAR та SCHLUMBERGER, дасть змогу провести оперативну оцінку відповідності моделі та її адаптацію.

Література

1 Гришин Ф.А. Промышленная оценка месторождений нефти и газа; 2-е изд. перераб. и доп. / Ф.А. Гришин – М.: Недра, 1985. – 277 с.

2 Бойко В.С. Довідник з нафтогазової справи / Бойко В.С., Кондрат Р.М., Яремійчук Р.С. – К.: Львів, 1996. – 620 с.

3 Брусіловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа / А.И. Брусіловский – М.: Грааль, 2002. – 575 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
15.07.10

Рекомендована до друку професором
Мойсишиним В.М.