

Малярчук Б.М., Малярчук О.Б., Худолей В.Ю.

## МЕТОД РОЗРАХУНКУ ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ БУРОВОЇ СВЕРДЛОВИНИ

При складанні математичних моделей процесів, що протікають у трубопровідних системах, необхідно розділити та окремо розглянути два основних напрямки. Перший із них пов'язано з рівняннями, що описують течію нафти, а другий – з тою вихідною інформацією, котра мається в наявності при проектуванні та експлуатації системи. Причому в залежності від того, що розглядається – локальний об'єм або система в цілому, рівняння та вихідна інформація, котра буде отримана при їх розв'язанні, будуть значно різнитися тим більш, чим буде вищим ступінь деталізації урахування різних факторів при розгляданні окремих елементів та системи в цілому. Для практичного застосування результатів розрахунків це треба пов'язувати як з можливостями обчислювальних методів, так і можливістю реалізацією їх на ЕОМ при даній вихідній інформації з тими «вихідними» параметрами, котрі являються шуканими при розгляданні системи нафтопередачі. Таким чином, постановка задачі та припущення, що приймаються, в різних випадках будуть різними і визначаються цілями та вимогами, які стоять при дослідженні тої чи другої інженерної проблеми, та можливостями реалізації моделі. При цьому обидва вказаних аспекти знаходяться у взаємозв'язку: ступінь вірогідності вихідної інформації визначає вимоги до математичної моделі процесу і, навпаки, усунення із розглядання окремих ефектів і тим самим «загрубілість» моделі знижує вимоги до точності вихідних даних [1,2].

Коливання потоку бурового розчину являються одним із джерел виникнення вимушених коливань бурильної колони, які збуджуються за рахунок пульсацій потоку бурового розчину, що викликає змінні зусилля, котрі і являються причиною вібрацій [3].

Буровий розчин при коливаннях проявляє властивості акустичного середовища і тому для визначення навантажень, як в маніфольдній системі, так і в бурильній колоні, необхідно проводити аналіз і розрахунок його акустичних коливань. Силовий вплив бурового розчину проявляється на конструктивних неоднорідностях системи – арматури, муфтових з'єднаннях, переході СБТ в ОБТ та ін. При розрахунках вібрацій бурильної колони, які збуджуються коливанням тиску бурового розчину, визначення збуджуючих сил доцільно проводити імпедансним методом [4]. Розрахунок схем гідросистеми бурових свердловин був запропонований авторами роботи [5], як розрахунок нерозгалуженої гідравлічної системи.

Гідравлічна система бурової свердловини включає маніфольд, буровий шланг, бурильні труби, ОБТ і затрубний простір, поперечні перетини якого можуть змінюватись при заглибленні свердловини в значних границях. При розрахунках такої гідросистеми її необхідно розбити на ряд ділянок в межах яких, поперечні перетини і приведенний модуль пружності є постійні, а таким чином, будуть постійні і швидкості розповсюдження хвиль.

Такий імпедансний метод розрахунку системи по ділянках дозволяє отримати повне уявлення про гідравлічну систему свердловини з точки зору гідравліки та динаміки її режиму роботи не використовуючи наближення і спрощення.

На рис. 1 приведено одну із розрахункових гідравлічних схем свердловини, яка складається з бурового насоса з постійною подачею з характеристикою  $Q = const$ , з послідовних ланок маніфольда колони бурильних труб – представлених окремими ланка-

ми (труби ОБТ), та трубопроводу, що моделює затрубний простір. Розрахункова лінія, яка має навантаження  $Z_{k+1}$ , і включена по її довжині  $l_k$  в  $k+1$  точках на нерівних від-  
 далях  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_k$  від початку. Система розбита на окремі ланки з врахуванням неоднорідностей в точках  $1 \dots k$ .

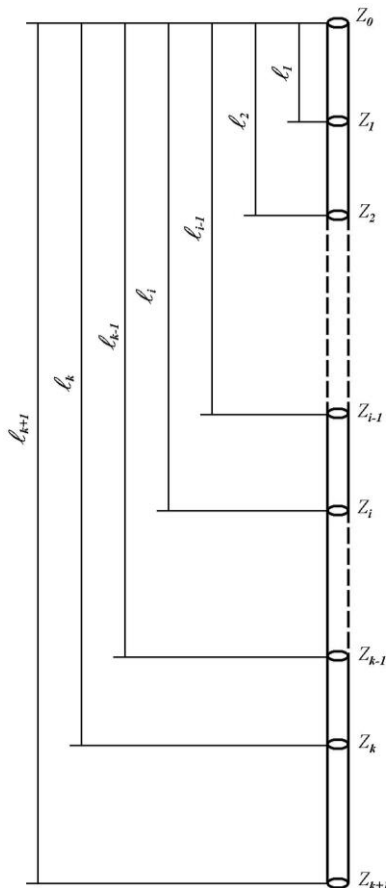


Рисунок 1 – Гідравлічна схема свердловини

Імпеданс затрубного простору визначимо як імпеданс ємності:

$$Z_{V(k+1)} = -\frac{\rho_p C^2}{i\omega V}, \quad (1)$$

де  $\rho_p$  – густина бурового розчину;  $C$  – швидкість звуку в буровому розчині;  $\omega$  – частота;  $V$  – об’єм затрубного простору.

Для бурового розчину, замкнутого в простий трубопровід, виходячи з теорії пасивних чотирьох полюсників [6] можна записати:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= P_L ch\gamma L + \frac{\rho_p C}{F} sh\gamma L \\ V_0 &= \frac{P_L}{\rho_p C} sh\gamma L + V_L ch\gamma L \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де  $V_0, V_L, P_L, P_0$  – амплітуди коливань об’ємної швидкості відповідно на початку та кінці ділянки трубопроводу або колони довжиною  $L$ ;  $F$  – площа поперечного перетину перерізу труб;  $V = \beta + i\alpha$  – постійне розповсюдження;  $\beta$  – коефіцієнт затухання;  $\alpha$  – фазова постійна.

Якщо тиск в кінці лінії  $P_k$ , то використовуючи позначенням рис. 1, можна для ділянки  $l_k - 1$  виразити зв’язок між тиском на початку та кінці в наступному вигляді:

$$P_{k-1} = P_k \left[ ch\gamma(l_k - l_{k-1}) + \frac{Z_b}{Z_k} sh\gamma(l_k - l_{k-1}) \right]. \quad (3)$$

Збурення від насосів відповідає рівності  $P_k = P_0 l^{i\alpha}$ , тоді  $P_k = P_0$ . У цьому разі після перетворень і підстановки рівняння (3) запишеться як:

$$P_{k-1} = P_0 ch\gamma(l_k - l_k - 1) + \frac{\rho_p C}{F_k} V_{(lk-lk-1)} sh\gamma(l_k - l_k - 1). \quad (4)$$

Вхідний опір цієї ділянки можна представити наступним чином:

$$Z_{bx(k-1)} = Z_{bx.k} \frac{ch\gamma(l_k - l_k - 1) + \frac{Z_b}{Z_k} sh\gamma(l_k - l_k - 1)}{ch\gamma(l_k - l_k - 1) + \frac{Z_k}{Z_b} sh\gamma(l_k - l_k - 1)}. \quad (5)$$

Для наступної ділянки розрахунок може бути проведений аналогічним чином, при цьому навантаження другої ланки являється опором  $Z_{k-1}$ , до якого послідовно підключено знайдений вхідний опір від першого  $Z_{bx(k-1)}$ .

Опір навантаження другої від кінця ділянки можна визначити з співвідношення:

$$\frac{1}{Z_{bx(k-1)}} = \frac{1}{Z_{k-1}} + \frac{1}{Z_{bx(k-1)}}, \quad (6)$$

тоді

$$P_{k-2} = P_{k-1} \left[ ch\gamma(l_{k-1} - l_{k-2}) + \frac{Z_b}{Z_{bx(k-1)}^1} sh\gamma(l_{k-1} - l_{k-2}) \right], \quad (7)$$

$$Z_{bx(k-2)} = Z_{bx(k-1)}^1 \frac{ch\gamma(l_{k-1} - l_{k-2}) + \frac{Z_b}{Z_{bx(k-1)}^1} sh\gamma(l_{k-1} - l_{k-2})}{ch\gamma(l_{k-1} - l_{k-2}) + \frac{Z_{bx(k-1)}^1}{Z_b} sh\gamma(l_{k-1} - l_{k-2})}. \quad (8)$$

Виконуючи аналогічні розрахунки для всіх ланок, число котрих відповідає числу включення неоднорідностей, таких, як перехід діаметрів, різьбових з’єднань, бруд, за-

движки і тому подібне, можна визначити відношення тисків у кожній точці включення навантаження до тиску на бурових насосах.

В загальному вигляді, для любого відрізка гідравлічної системи свердловини довжиною  $l_1 - l_i - 1$  відношення тисків на початку та в кінці може бути записане як:

$$\frac{P_{i-1}}{P_i} = ch\gamma(l_i - l_{i-1}) + \frac{Z_b}{Z_{bxi}^1} sh\gamma(l_i - l_i - 1). \quad (9)$$

Вхідний опір для гідравлічної системи свердловини в цілому можна визначити із співвідношення

$$\frac{1}{Z_{bx,n}} = \frac{\frac{1}{Z_{bxi}^1} + \frac{1}{Z_\beta} th\gamma l_1}{1 + \frac{Z_b}{Z_{bxi}^1} th\gamma l_1}, \quad (10)$$

де

$$\frac{1}{Z_{bxi}^1} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_{bxi}}. \quad (11)$$

Приведене показує, що із запропонованих залежностей можуть бути визначені як значення резонансних частот, так і головні форми коливань бурового розчину в бурильній колоні при заданому джерелі збурення. Така формалізація розрахунків дає можливість проведення розрахунків із застосуванням ЕОМ.

#### Література

1. Агапкин В.П., Кривошеин Б.Л., Юфин В.А. Тепловой и гидравлический расчеты трубопроводов для нефти и нефтепродуктов – М.: «Недра» 1981.– 256 с.
2. Дубина М.М., Красовицкий Б.А. Теплообмен и механика взаимодействия трубопроводов и скважин с грунтами – Новосибирск: «Наука».– 1983.– 133 с.
3. Гуревич И.Л. Технология переработки нефти и газа – М.: «Химия» 1972. 360 с.
4. Скучик Е. Простые и сложные колебательные системы – М.: Мир. 1971. 557 с.
5. Ловчев С.В., Рощупкин В.И., Залкин С.Л. и др. Буровые насосы с регулируемой подачей – М.: «Недра» 1977.– 220 с.
6. Вибрации технологических трубопроводов на нефтехимических предприятиях – М.: ЦНИИнефтехим, 1970.– 211 с.

УДК 536.416

Малярчук Б.М., Малярчук О.Б., Худолей В.Ю.

#### МЕТОД РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БУРОВОЙ СКВАЖИНЫ

В статье рассмотрен импедансный метод расчета гидравлической системы буровой скважины. Показано преимущество предложенного метода по сравнению с традиционными методами.