

ТРАНСПОРТ ДВОФАЗНИХ СЕРЕДОВИЩ У ПРОМИСЛОВИХ І МІЖПРОМИСЛОВИХ ГАЗОПРОВОДАХ

І.І.Капцов, С.М.Стецюк

*УкрНДГаз, 61125, Харків, Красношкільна наб., 20, тел. (0572) 200266,
e-mail: gaz@ukrniigaz.kharkov.ua*

Рассмотрены режимы течения газожидкостных потоков в газопроводах. Проведен анализ процессов, связанных с транспортированием двухфазных сред по шлейфам, промышленным и межпромышленным газопроводам.

Modes of gas-liquid flows' movement in gas pipelines are considered. The processes connected to two-medium transportation across loops, commercial and intercommercial gas pipelines are analyzed.

Особливістю видобутку газу в Україні є експлуатація газоконденсатних родовищ з різним вмістом важких вуглеводнів, які помітно впливають на технологію збору, підготовки і промислового транспорту газу. Для проектування і вибору технологічного обладнання, а також оптимізації режимів його роботи необхідно мати достовірні дані, пов'язані з вивченням фізичних процесів двофазних середовищ, які утворюються при транспортуванні газу по шлейфам, промислових і міжпромислових газопроводах.

Особливістю односпрямованих рухів у двофазних системах є те, що вони у більшості випадків рухаються у газопроводі не як одне ціле, а одна фаза рухається відносно другої, до того ж фаза, що має більшу питому вагу, рухається повільніше, гальмуючи рух легкої фази. Існує декілька видів рухів таких систем залежно від масової швидкості кожної фази (газонасиченості), а також від горизонтального чи вертикального напрямку їх руху. Крім того, при транспортуванні газорідинної суміші по газопроводах, траса яких ідентична рельєфу місцевості, на окремих ділянках виникає зміна меж рідинної і газової фаз, що створює різноманітність структури руху.

Встановлені такі режими руху газорідинних потоків у газопроводах.

Бульбашковий режим, при якому газ рухається в рідкій фазі у вигляді окремих бульбашок зі швидкістю, яка перевищує швидкість рідини. Такий режим може виникнути при транспортуванні по конденсатопроводу нестабільного конденсату.

Пробковий режим, при якому бульбашки об'єднуються у так звані газові пробки з головною параболічного обрису. Таким чином, по газопроводу рухаються змінні стосовно один одного газові і рідинні пробки.

Кільцевий режим, при якому газ рухається по центру труби газопроводу, а рідина — по його внутрішній поверхні.

Режим емульгування, або **пінний режим**, який виникає у газопроводі при досягненні значних швидкостей газу, коли він стає суцільною фазою, а рідина диспергується у ньому. При цьому система рухається у вигляді суцільної однорідної диспергованої маси рідини і дрібних

бульбашок газу, що складає газорідинну емульсію.

Дисперсно-кільцевий режим, при якому відбувається зрив крапель рідини у газовий потік з поверхні кільцевої плівки, що виникає на внутрішній стінці газопроводу.

При порівняно малих навантаженнях на газ і рідину на горизонтальних ділянках газопроводу відбувається розшарування системи на рідину і газ, що рухається нею, без хвилеутворення і з хвилеутворенням.

Для горизонтального руху у трубопроводах найбільш широко відома і найчастіше використовується карта режимів руху Бейкера [6]. Параметри λ і ψ є нормувальними коефіцієнтами, які враховують фізичні властивості кожної з фаз (рис. 1),

$$\lambda_B = \left[\left(\frac{\rho_G}{\rho_A} \right) \left(\frac{\rho_L}{\rho_W} \right) \right]^{1/2}, \quad (1)$$

$$\psi_B = \left(\frac{\sigma_W}{\sigma} \right) \left[\frac{\mu_L}{\mu_W} \left(\frac{\rho_W}{\rho_L} \right)^2 \right]^{1/3}, \quad (2)$$

де: G_L , G_G – масові швидкості відповідно рідкої і газоподібної фаз, $\text{кг/м}^2 \text{ год}$;

ρ_L , ρ_G – густина відповідно рідкої і газоподібної фаз;

σ – поверхневий натяг;

μ_L – коефіцієнт в'язкості рідини;

індекси A , W стосуються відповідних значень для повітря і води при атмосферному тиску.

У газорідинному потоці газопроводів, що експлуатуються, газова і рідка фази безперервно деформуються, змінюючи поверхню розподілу у просторі і часі. Це є причиною значної різноманітності структур руху трасою газопроводу, який має висхідні та низхідні ділянки, що унеможливило побудову єдиної гідравлічної моделі найрізноманітніших структур руху. Крім того, зміни структури руху впливають на закономірності змін основних гідравлічних параметрів — дійсного газовмісту (частка площі перерізу газопроводу, зайнятого газом) та коефіцієнта гідравлічного опору.

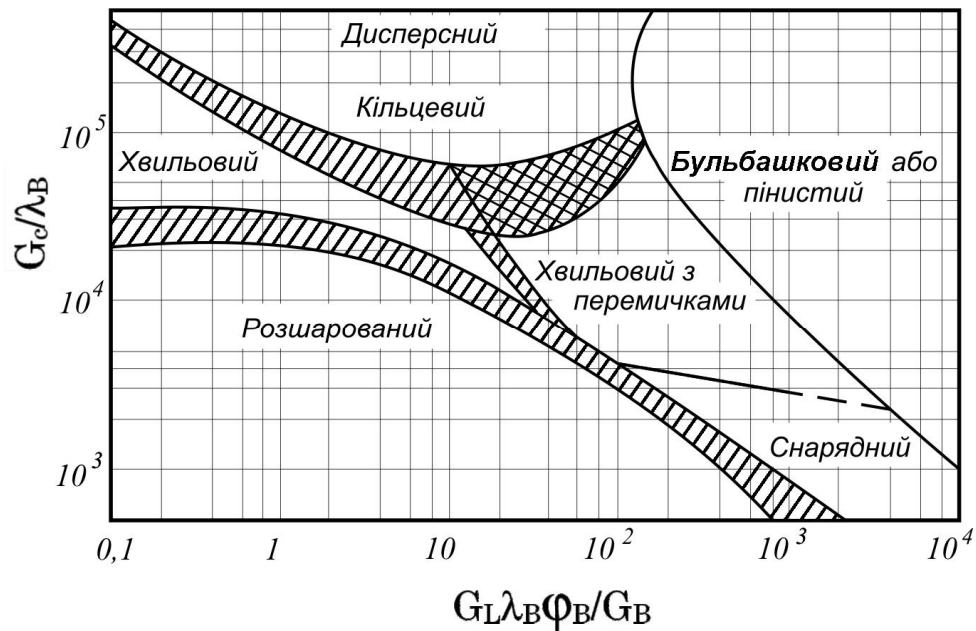


Рисунок 1 — Діаграма режимів руху двофазних середовищ в горизонтальному трубопроводі

На промислових і міжпромислових газопроводах та технологічних комунікаціях з великим газовмістом ($\beta \geq 0,95$) здебільшого можливі дві структури руху газорідних сумішей: кільцева і дисперсно-кільцева.

Отримані результати багатьох вчених не відображають достатньою мірою впливу поверхневого натягу на характеристики двофазних потоків або наводяться вельми суперечні висновки щодо характеру цього впливу [1, 2].

У працях С.С. Кутателадзе, Г.Е. Одишарія, В.А. Мамаєва не досліджено питання впливу плівкової і диспергової рідини на коефіцієнт гідравлічного опору [3, 4, 5].

При дослідженні процесів виникнення рідкої фази у газопроводах істотну роль у формуванні структури газорідного потоку відіграє поверхневий натяг, який впливає на процес хвилеутворення при плівкових структурах газорідних потоків.

Існує декілька методів вимірювання поверхневого натягу рідин.

Метод найбільшого тиску бульбашок, який дає змогу просто і з високою точністю вимірювати поверхневий натяг водних і вуглеводневих рідин на межі з газом шляхом вимірювання капілярного тиску в момент проскакування через капіляр і поверхню рідини бульбашки газу.

Метод, оснований на вимірюванні висоти підйому рідини у капілярній трубці, недоліком якого є залежність висоти підйому рідини від характеру змочування стінок капіляра досліджуваною рідиною. Виміри є надійними у випадку повного змочування рідиною поверхні капіляра.

Метод відриву, оснований на вимірюванні сили, необхідної для відриву від поверхні рідини тіла тієї чи іншої форми.

Метод, оснований на порівнянні сил поверхневого натягу з силами тяжіння (відрив і

зважування краплі). Результати, отримані цим методом, не залежать від змочування.

Методи, основані на вимірюванні розмірів бульбашки чи краплі (висячої чи лежачої).

Усі ці методи, за виключенням методу найбільшого тиску, потребують для підрахунку поверхневого натягу значення дійсної питомої ваги рідини за умовами експерименту, яку не завжди з достатньою точністю можна визначити.

При промисловій підготовці природного газу до транспорту від нього відокремлюються важкі вуглеводні (конденсат) у промислових трубопроводах і теплообмінниках до сепаратора і в самому сепараторі. При тиску 6,5 МПа і температурі $t = -(10 \div 20)^\circ\text{C}$ конденсат містить і більш легкі вуглеводні (нестабільний конденсат), які при скиданні конденсату із сепаратора у відстійникові місткості вивітрюються.

У зв'язку зі складністю вимірювання питомої ваги нестабільного конденсату при робочому тиску на практиці обмежуються вимірюванням питомої ваги стабільного конденсату при атмосферних умовах.

Крім цього, всі існуючі пристрої з вимірювання поверхневого натягу рідини засновані на тому чи іншому методі, не доведені до промислових зразків і не дають змоги робити виміри при надмірному тиску.

Результати досліджень і розрахункових даних виявляють залежність тисків на величину поверхневого натягу [7, 8].

Поверхневий натяг нестабільного конденсату Шебелинського родовища на межі з природним газом при тиску 8,0 МПа приблизно втричі менший, ніж при атмосферному тиску (рис. 2). Вплив температури на величину поверхневого натягу у розглянутому діапазоні тисків практично незначний, і його зміна пролягає у межах помилки вимірювань $\pm 2,5\%$.

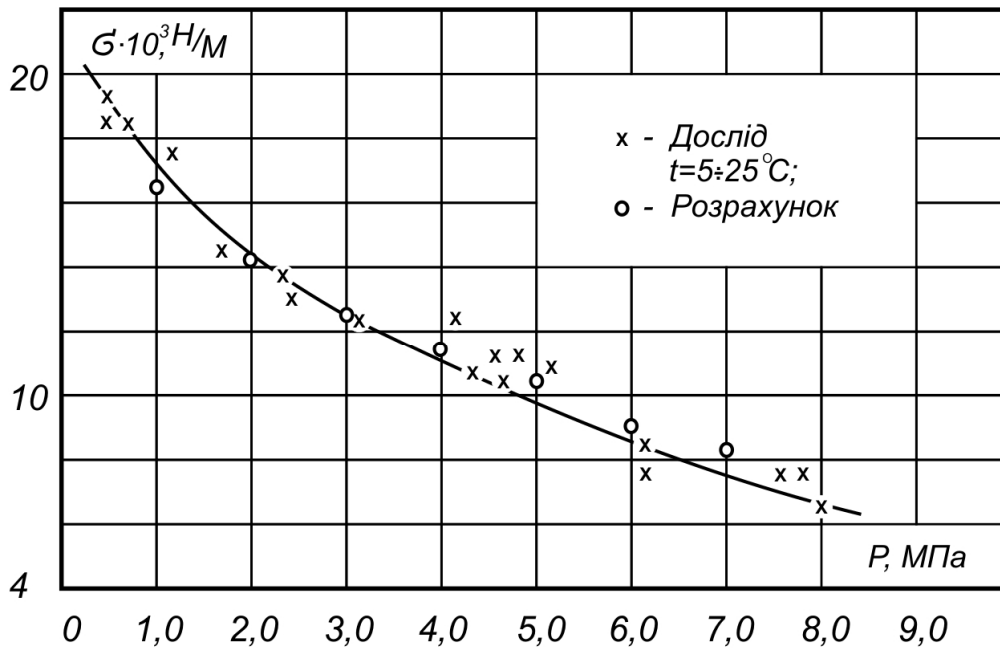


Рисунок 2 — Залежність поверхневого натягу конденсату на межі з природним газом від тиску

Проведений аналіз свідчить про складності процесів, пов'язаних з транспортуванням двофазних середовищ по шлейфах, промислових, міжпромислових газопроводах, і необхідність продовження досліджень в області удосконалення методів визначення величини коефіцієнта поверхневого натягу в реальних умовах та його впливу на гідравлічні параметри газопроводів.

Висновки

1. Вперше експериментально під тиском до 9 МПа визначено поверхневий натяг на межі газового конденсату та природного газу.
2. Встановлено, що експериментальні величини поверхневого натягу збігаються з розрахунковими.

Література

1. Костерин С.И., Рубанович М.Н. Исследование влияния диаметра и расположения трубы на гидравлическое сопротивление и структуру течения газожидкостных смесей // Изв. АН СССР, ОТН. – 1959. – №12. – С. 1824-1831.
2. Красякова Л.Ю. Некоторые характеристики движения двухфазной смеси в горизонтальной трубе // ЖТФ. – 1962. – Вып. 4 (т. 22). – С. 656-669.
3. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем. – М.: Энергия, 1976. – С. 296-302.
4. Одишария Г.Э. Некоторые закономерности газожидкостных течений в трубах // Нефт. хоз-во. – 1966. – №9. – С. 54-59.

5. Ходакович И.Е., Мамаев В.А. Оценка пропускной способности газопроводов при транспортировании двухфазных систем // Тр. ВНИИгаза. – 1961. – Вып. 13. – С. 57-72.

6. Baker O. Simultaneous flow of oil and gas // Oil & Gas Journal. – 1954. – №53. – Р. 185.

7. Шевский А.И., Гусейнов Ч.С. Устройство для измерения поверхностного натяжения в средах высокого давления // Тр. ВНИИГазпрома. – М., 1975. – Вып. 9. – С. 130-134.

8. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных смесей. – М.: Энергия, 1976. – С. 200-201.