

УДК 691.4 (477)

ПРОЕКТ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЗОВОГО РОДОВИЩА З ВМІСТОМ СІРКОВОДНЕВИХ ДОМІШОК

Т. А. Мартинюк, О. Т. Чернова

ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (380) 03422 4-21-57,
факс (380) 03422 6-59-31; e-mail: m-oksana-t@ukr.net

Економічна ситуація в нашій державі вимагає використання енергоносіїв, зокрема природного газу, що міститься в малих родовищах України, тому розробка малих родовищ є однією з першочергових завдань сьогодення. Але газ ряду малих родовищ України містить сірководневі домішки. Це зумовлює необхідність забезпечення захисту свердловини і, особливо, поверхневого обладнання від сірководневої корозії. Крім того, досить проблематичним є використання видобутого газу, адже його спалювання призводить до утворення сірчистих домішок в атмосфері і порушення екологічної безпеки регіону. Створення системи очищення видобутого газу від сірководневої домішки спричинює зростання і без того високої собівартості видобутого газу. Окрім того, наявність системи очищення газу від сірководню не усуває проблеми його переробки сірководню. На великих родовищах доцільно видобувати з нього сірку, проте у випадках малих родовищ це є нерентабельним.

Ключові слова: сірководневий газ, сірководнева корозія, Локачинське газове родовище

Экономическая ситуация в нашем государстве требует использования энергоносителей, в частности природного газа, содержащегося в малых месторождениях Украины, поэтому разработка малых месторождений является одной из первоочередных задач настоящего. Однако газ ряда малых месторождений Украины содержит сероводородные примеси, что вызывает необходимость обеспечения защиты скважины и, особенно, поверхностного оборудования от сероводородной коррозии. Кроме того, достаточно проблематичным является использование добытого газа, так как его сжигание приводит к образованию сернистых примесей в атмосфере и нарушению экологической безопасности региона. Создание системы очистки добытого газа от сероводородной примеси вызывает рост и без того высокой себестоимости добытого газа. Кроме того, наличие системы очистки газа от сероводорода не снимает проблему его переработки. На крупных месторождениях целесообразно получают из него серу, однако в случае малых месторождений это нерентабельно.

Ключевые слова: сероводородный газ, сероводородная коррозия, Локачинское газное месторождение

An economic situation in our state requires the use of power mediums, in particular natural gas that is contained in the small deposits of Ukraine. Therefore development of small deposits is attributed to one of primary concerns of present time. But gas of row of small deposits of Ukraine contains sulphuretted hydrogen admixtures. It predetermines the necessity of providing of defence of mining hole and especially superficial equipment from sulphuretted hydrogen corrosion. In addition, problematic enough is the use of the obtained gas, in fact his incineration results in formation of sulphureous admixtures in an atmosphere and ecological security of region breach. Creation of the system of cleaning of the obtained gas from a sulphuretted hydrogen admixture causes the increase of and without that high prime price of the obtained gas. Except that, presence of the system of the gas cleaning from does not take off the problem of processing to the sulphuretted hydrogen the sulphuretted hydrogen. On large deposits it is expedient to obtain sulphur from him, that in the cases of small deposits is unprofitable. An economic situation in our state requires the use of power mediums, in particular natural gas that is contained in the small deposits of Ukraine. Therefore development of small deposits is attributed to one of primary

Keywords: sulphuretted hydrogen gas, sulphuretted hydrogen corrosion, Lokachynsk gas deposit

Вирішення проблеми освоєння малих газових родовищ України нерозривно пов'язане з реалізацією задач, спрямованих на оцінку характеру змішування природних газів в трубопроводі,

вивчення корозійних процесів, що відбуваються в трубопроводі під дією сірководневих домішок, вибір інгібіторів корозії та розробку технології нанесення інгібіторних покриттів на внутрішню поверхню стінок труб.

Основи теорії змішування речовин в трубопроводі при їхньому русі в безпосередньому взаємному контакті закладені Яблонським В.С.[10] і в подальшому розвинуті в працях Юфіна В.О. [7]. Для двох речовин, що знаходяться в рідкому стані в трубопроводі, і безпосередньо контактують між собою, нестационарний процес розподілу концентрації по довжині і в часі згідно з [7] може бути змодельований рівнянням:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_e \frac{\partial C}{\partial x} \right),$$

де C -концентрація однієї з рідин в суміші з іншою як функція лінійної координати x і часу t ; D_e - ефективний коефіцієнт дифузії, що враховує чисто дифузійний процес і турбулентне перемішування рідин при їхньому русі.

Необхідно зауважити, що такі умови є характерними при послідовному перекачуванні рідин. Визначення ефективного коефіцієнта змішування проводилось в працях багатьох дослідників. Зокрема відомі:

- формула Тейлора: $D_e = 1,78 \omega D \sqrt{\lambda}$, де ω - середня швидкість в потоці; D - внутрішній діаметр трубопроводу; λ - коефіцієнт гідравлічного опору.

- формула Асатуряна: $D_e = 17,4 \nu Re^{\frac{2}{3}}$, де ν - кінематична в'язкість рідин; Re - критерій Рейнольдса.

- формула Сьенітцера: $D_e = 1,32 \cdot 10^7 (\lambda/4)^{2,6} (L/D)^{0,141} \omega D$, де L - довжина трубопроводу.

Основи теорії послідовного перекачування газів по трубопроводах, а також закономірності процесів утворення сумішей при цьому закладені в працях Нечвала М.В. [6] під керівництвом Яблонського В.С.[10] Ними отримана аналітична залежність для визначення ефективного коефіцієнта змішування: $D_e = 28,77 \nu (Re \sqrt{\lambda})^{0,755}$, яка одержала назву формули Нечвала-Яблонського.

В їхніх працях встановлено, що величина ефективного коефіцієнта змішування газів залежить від лінійної координати, тобто змінюється в процесі переміщення зони змішування суміші по трубопроводу. Природа цього ефекту пояснюється тим, що лінійна швидкість газу змінюється вздовж лінійної координати газопроводу і зростає в напрямку руху газу. Крім того, в зв'язку із зміною тиску по довжині газопроводу змінюється його густина, і як наслідок, кінематична в'язкість. Тому величина ефективного коефіцієнта змішування є складною функцією координати, яку практично неможливо точно визначити.

Основні положення теорії змішування рідин і газів розвинуті в працях Середюк М.Д., Фролова К.Д., Якиміва Й.В. [8,9]. Ними розроблено теорію послідовного перекачування з розділювачами суміші контактуючих продуктів, визначення характеру зміни концентрації продуктів по довжині зони змішування, загального об'єму утвореної суміші, розв'язано техніко-економічні питання.

Однак, постановка задачі дослідження нестационарного процесу сумішеутворення при підкачуванні компоненту з певною витратою в магістральний газопровід суттєво відрізняється від характеру задачі послідовного перекачування газів. За твердженнями вказаних вище дослідників в початковий момент часу контакту двох різнорідних середовищ починається процес їхнього взаємного проникнення, який триває впродовж всього часу руху зони змішування суміші по трубопроводу. Чим більшою є довжина трубопроводу (отже і тривалість руху зони змішування суміші в трубах), тим більший об'єм суміші утворюється в процесі послідовного перекачування компонентів.

Найбільш ефективним шляхом використання видобутого газу з сірководневими домішками є його змішування з чистим природним газом в магістральних трубопроводах великої продуктивності.

Однак, миттєва концентрація сірководню в певних перерізах магістралі і особливо у підвідних до неї газопроводах може бути такою, що перевищує допустиму з точки зору запобігання корозії. В таких випадках виникає проблема захисту магістралі і підвідного газопроводу від сірководневої внутрішньої корозії.

Проект облаштування газового родовища з вмістом сірководневих домішок має за мету випробувати на практиці результати аналітичних і лабораторних досліджень та створити технологію використання їх на практиці.

Очистка видобутого газу від сірководневих домішок діючим проектом не передбачена, оскільки вона потребує великих капіталовкладень. Взагалі вилучення сірководню з видобутої суміші газів можливе, але його утилізація і подальша переробка вимагають додаткових витрат, які можуть окупитися тільки за рахунок промислового отримання сірки з сірководню. Однак, невеликі запаси газу в родовищах України не можуть забезпечити функціонування комплексу для переробки сірководню. Спалювання ж його приводить до порушення екологічної рівноваги повітряного басейну.

Для прикладу розглянемо проект облаштування Локачинського газового родовища. Згідно з існуючим проектом видобутий газ по газопроводу D_y200 довжиною 10,28 км подається на вхід АГРС смт. Локачі для потреб побутового сектора. При цьому газопровід і обладнання АГРС не захищене від сірководневої корозії, оскільки при тисках, менших за 0,05 МПа, сірководнева корозія малоймовірна. Однак, таке технічне рішення вимагає додаткового розширення АГРС в зв'язку зі збільшенням обсягів реалізації газу, що вимагає додаткових матеріальних витрат. Крім того, при спалюванні газу, що містить домішки сірководню, утворюються оксиди сірки, які в контакт з атмосферною вологою створюють кисле середовище, що негативно позначається на екологічній ситуації в регіоні.

Тому, пропонуємо видобутий з Локачинського родовища газ закачувати в магістральний газопровід Івацевичі-Долина. Внаслідок невеликого обсягу видобутку, у порівнянні з продуктивністю газопроводу, в результаті змішування газових сумішей концентрація сірководню спадає до незначної величини. Це дозволить безпечно використовувати транспортований газ.

Проект передбачає зниження концентрації сірководню в газі до допустимої величини шляхом змішування видобутого сірководневого газу з "чистим" газом, який немає сірководневих домішок. Для досягнення вказаної мети пропонуємо спорудити газопровід-відвід від споруд Локачинського родовища до магістрального газопроводу Івацевичі-Долина. Довжина вказаного газопроводу-відводу з урахуванням рекогносціювання траси складе 1820 м.

Магістральний газопровід Івацевичі-Долина являє собою триниткову систему. На ділянці Ратно-Ковель, до якої планується під'єднати вказаний газопровід з Локачинського газового родовища, система складається з газопроводу 820×12 мм (I нитка), газопроводу 1220×16 мм (II нитка) і газопроводу 1220×16 мм (III нитка). Загальна пропускна здатність системи газопроводів Івацевичі-Долина складає 95 млн m^3 /добу.

Для вибору діаметра газопроводу-відводу від Локачинського газового родовища до магістрального газопроводу Івацевичі-Долина були прийняті експериментально найнесприятливіші умови:

- тиск у відповідному газопроводі дорівнює тиску на гирлі свердловини на кінець п'ятого року експлуатації, $p_n=6,44$ МПа;
- тиск в точці під'єднання газопроводу-відводу до магістралі Івацевичі-Долина дорівнює проектному тиску $p_n=4,27$ МПа;
- середня температура газу в газопроводі-відводі дорівнює температурі на гирлі свердловини – 384 К;
- добова продуктивність газопроводу-відводу дорівнює максимальній добовій продуктивності Локачинського газового родовища - 210 тис m^3 /добу.

За таких умов розрахункове значення діаметра газопроводу-відводу знаходиться за формулою:

$$d = \left[\frac{Q}{1,64 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{p_H^2 - p_k^2}{\Delta z T_{cp} L}}} \right]^{\frac{1}{2,6}},$$

де Q - витрата газу в млн м³/добу; p_h, p_k - початковий і кінцевий тиск, бар; L - довжина газопроводу-відводу, км; T_{cp} - середня температура газу, К; Δ - відносна густина газу; z - коефіцієнт стисливості газу.

$$z = 1 - 5,5 \frac{p_{cp} \Delta^{1.3}}{T_{cp}^{3.3}},$$

p_{cp} - середній тиск, Па.

$$\begin{aligned} p_{cp} &= \frac{2}{3} \left(p_h + \frac{p_k^2}{p_h + p_k} \right) \\ &= \frac{2}{3} \left(6,44 + \frac{4,27^2}{6,44 + 4,27} \right) = 5,43 \end{aligned}$$

тоді:

$$z = 1 - 5,5 \frac{5,43 \cdot 10^6 \cdot 0,586^{1.3}}{284^{3.3}} = 0,881$$

Розрахункове значення діаметра:

$$d = \left[\frac{0,21}{1,64 \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{64,4^2 - 42,7^2}{0,586 \cdot 0,881 \cdot 284 \cdot 1,82}}} \right]^{1/2.6} = 60,6 \text{ мм.}$$

Враховуючи можливість екстремального завантаження газопроводу при падінні тисків на гирлі свердловин, а також наявність сортаменту труб, прийнято рішення споруджувати газопровід-відвід з труб 103×5 мм. Для перевірки міцності труб від дії внутрішнього тиску виконано розрахунок на міцність газопроводу.

В результаті розрахунків встановлено, що газопровід-відвід здатний забезпечити перекачування максимально видобутого з Локачинського газового родовища газу в магістральний газопровід Івацевичі-Долина.

Рівноважна концентрація сірководню в магістральному газопроводі Івацевичі-Долина (І нитка) після змішування газів визначається для умов максимально можливої добової продуктивності родовища, яка дорівнює пропускній здатності газопроводу-відводу ($0,532 \frac{\text{млн м}^3}{\text{добу}}$), максимально можливій концентрації у видобутому газі сірководню ($c_{\max} = 3,74 \%$) і при мінімальній витраті газу по І нитці газопроводу Івацевичі-Долина ($Q_i = 9 \frac{\text{млн м}^3}{\text{добу}}$). В такому випадку :

$$C_{\text{piвi}} = C_{\max} \frac{q}{Q_i + q} = 3,74 \frac{0,532}{9 + 0,532} = 0,08.$$

Допустима концентрація сірководню в природному газі з точки зору запобігання сірководневої корозії внутрішньої поверхні труб при тиску 5,0 МПа і температурі 300 К складає $[C] = 0,45 \%$. Таким чином, навіть в екстремальних умовах корозійні процеси в магістральному

газопроводі Івацевичі-Долина, зумовлені наявністю сірководневих домішок в перекачуваному газі, не відбуватимуться.

Після змішування газів всіх трьох ниток газопроводу Івацевичі-Долина на вході КС Кобрин концентрація сірководню в газі знизиться ще більше і для екстремальних умов складе:

$$C_{\text{рiв}_{1+2+3}} = C_{\text{max}} \frac{q}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + q} =$$
$$3.14 \frac{0.532}{9 + 16 + 24 + 0.532} = 0.04\%$$

Спалювання газу з такою концентрацією сірководню в камерах газових турбін не впливатиме на екологію регіону.

Література

1. Нейтрализация сероводорода и борьба с сульфатредукцией в нефтедобывающей промышленности / [Андресон Б.А. и др.] -М.: Недра, 1985.-56с.
2. Гетманский М.Д. Коррозия и защита трубопроводов при транспорте сероводородосодержащего газа / М.Д. Гетманский // Нефтяное хозяйство.-1984.-№1.-С.37-38.
3. Гетманский М.Д. Современное состояние и перспективы ингибирования нефтепромыслового оборудования в средах, содержащих сероводород и двуокись углерода / М.Д. Гетманский, Э.Х. Еникеев. - М.: Металлургия, 1985.-60 с.
4. Защита газопроводов нефтяных промыслов от сероводородной коррозии / [Гутман Э.М., Гетманский М.Д., Клапчук О.В., Кригман Л.Е]. - М.: Недра, 1988.- 200 с.
5. Ингибиторы коррозии с повышенным содержанием сероводорода / [Долинкин В.Д., Громова Н.А., Каленкова А.Н.] // Защита от коррозии нефтегазового оборудования в процессе строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности: Тез.докл. Всесоюзного совещ.- М., 1987.-С.101-102.
6. Последовательная перекачка нефтей и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам / [Нечваль М.В. и др]. - М.: Недра, 1976.-224 с.
7. Трубопроводный транспорт нефти и газа; под ред. Юфина В.А.-М.:Недра,-1978.
8. Последовательное движение по одному трубопроводу разноразных газов с разделительными газовыми пробками / [Середюк М.Д., Фролов К.Д., Якимив Й.В., Иванова Л.Н.] // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 1975. - Вып.12.
9. Оптимізація параметрів роботи розгалужених нафтопродуктопроводів: Навчальний посібник. [Середюк М.Д., Якимів Й. В. та ін.]. – Івано-Франк.: ІФІНГ, 1996.-136 с.
10. Яблонський В.С. Проектирование газонефтепроводов / В.С. Яблонський, В.Д. Белоусов. - М. Гостоптехиздат,-1959.-202 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом
міжнародної науково-технічної конференції
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*