

в классификации соединений присутствует относительный расчетный натяг, в классификации операции разборки дается допустимая температура нагрева детали (которая является следствием относительного расчетного натяга), а в характеристике ИНУ указана удельная мощность, определяемая по значению допустимой температуры.

6. Выводы

Основой нормативного обеспечения станут такие нормативными документы: 1) классификатор изделий; 2) унифицированные операции; 3) каталог типов нагревателей, соответствующих группам нагреваемых изделий связанные между собой лимитирующими параметрами, что в дальнейшем позволит создать комплекс САПР ТП разборки.

Литература

1. Зенкин, А. С. Сборка неподвижных соединений термическими методами [Текст] / А. С. Зенкин, Б. М. Арпентьев. — М.: Машиностроение. — 1987. — 128 с.
2. Митрофанова, С. П. Организационно-технологическое проектирование ГПС [Текст] / С. П. Митрофанова. — Л.: Машиностроение. — 1986. — 293 с.
3. Rychlik, I. Probability and Risk Analysis: An Introduction for Engineers [Text] / I. Rychlik, J. Ryden. — Springer, 2006. — 281 p.
4. Juran, J. M. Juran's Quality Handbook [Text] / J. M. Juran. — Ed. 5. — McGraw-Hill Professional, 2000. — 1730 p.
5. Трусов, А. Н. Разработка технологического классификатора сборочных единиц группового сборочного производства [Текст] / А. Н. Трусов // Вестник Кусб. гос. тех. инст. — 1998. — № 3. — С. 100–103.
6. Иллюстрированный определитель деталей общемашиностроительного применения [Текст] : руководящий технический материал. — Издательство стандартов, 1977. — 240 с.
7. Лагода, А. Классификация соединений, технологических операций и оборудования для построения технологических процессов [Текст] / А. Лагода, Б. Арпентьев // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 3/2(21). — С. 74–77.
8. Павлова, А. А. Нормативное обеспечение технологий тепловой сборки соединений с натягом [Текст] : монография. — Харьков: Украинская инженерно-педагогическая академия, 2013. — 118 с.
9. Лагода, А. Н. Проблема создания нормативного обеспечения ремонтных технологий [Текст] / А. Н. Лагода, А. А. Павлова // Машинобудування. — 2010. — № 5. — С. 115–123.
10. Коваленко, И. В. Индукционные установки для разборки ответственных соединений [Текст] / И. В. Коваленко // Високі технології в машинобудуванні. — Харків: НТУ «ХПІ», 2004. — № 2. — С. 105–110.
11. Слухоцкий, А. Е. Индукторы для индукционного нагрева [Текст] / А. Е. Слухоцкий, С. Е. Рыскин. — Л.: Энергия, 1974. — 264 с.

НОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ РОЗБИРАННЯ З'ЄДНАНЬ З НАТЯГОМ

Запропоновано принципи створення нормативного забезпечення технологій розбирання з'єднань з натягом на основі розроблених схем параметрів класифікації деталей, з'єднань і технологічних операцій розбирання із застосуванням індукційного нагріву, а також класифікації індукційно-нагрівального обладнання з виділенням лімітуючих параметрів, які є сполучною ланкою між ними. Розглядаються уніфіковані технологічні операції розбирання і лімітуючі параметри індукційно-нагрівальних установок.

Ключові слова: нормативне забезпечення, класифікація з'єднань, технологічні операції розбирання, індукційний нагрів.

Павлова Анна Алексеевна, кандидат технических наук, доцент, кафедра интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина, e-mail: pavlova_aa@mail.ru.
Лагода Анна Николаевна, ассистент, кафедра интегрированных технологий в машиностроении и сварочного производства, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, Украина, e-mail: a_lagoda@mail.ru.

Павлова Ганна Олексіївна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.
Лагода Анна Миколаївна, асистент, кафедра інтегрованих технологій в машинобудуванні та зварювального виробництва, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна.

Pavlova Anna, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: pavlova_aa@mail.ru.
Lagoda Anna, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine, e-mail: a_lagoda@mail.ru

УДК 006:665.682

Хвостова О. В.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ПРОЦЕСІВ КОНДЕНСАЦІЇ ВОЛОГИ ТА ГІДРАТОУТВОРЕННЯ В ГАЗОПРОВОДАХ

Розглянуто проблему забезпечення необхідного значення одного з показників якості природного газу при його транспортуванні споживачу — вологовмісту. Розроблено методика прогнозування можливих процесів конденсації вологи і гідратуутворення в газопроводах з урахуванням змішування потоків газу з різним вмістом вологи.

Ключові слова: якість природного газу, конденсація вологи, гідратуутворення, вологовміст.

1. Вступ

Сучасна газотранспортна система України є високоінтегрованою мережею магістральних газопроводів, якими здійснюється транспортування значних об'ємів при-

родного газу. Для забезпечення надійної експлуатації газопроводів та безпечного використання природного газу в промисловій і комунально-побутовій сферах, необхідною умовою є дотримання вимог до його якості [1]. Основним показником якості природного газу при його

транспортуванні є рівень вмісту в ньому вологи. Умови транспортування потребують забезпечення мінімального рівня вологості природного газу, який забезпечить відсутність процесу конденсації вологи та утворення кристалогідратів у внутрішній порожнині газопроводу [2, 3].

Для попередження небажаних процесів та аварійних ситуацій необхідною умовою є прогнозування виникнення умов конденсації вологи або утворення кристалогідратів на довільній ділянці газопроводу. Це обумовило актуальність проведення досліджень, в результаті яких було створено представлену методику.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Теоретичні аспекти прогнозування появи в газі вільної вологи та гідратування в газопроводах розглядалися раніше [4]. Але практичне застосування цих досліджень обмежене тим, що дані процеси аналізуються для газопроводів без змішування потоків газу. У випадку наявності змішування газових потоків, що є характерним для системи транспортування газу в Україні, необхідно також враховувати баланс вологи, який встановлюється в газопроводі. Задача визначення вологовмісту змішаних потоків газу була розглянута в роботі [5].

Мета полягала у створенні методики, яка дає можливість прогнозувати можливі процеси конденсації вологи та гідратування в газопроводах при змішуванні газових потоків. Умови конденсації вологи в газопроводі відмінні для кожного газопроводу і залежать від термодинамічних параметрів газу, параметрів трубопроводу, компонентного складу газу тощо. Враховуючі ці параметри можна для кожної ділянки конкретного газопроводу спрогнозувати появу в газі вільної вологи та утворення гідратів, а також розрахувати допустиме значення вологовмісту газу на початку ділянки газопроводу, що аналізується, при якому ці явища будуть неможливі.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні основні задачі: 1) розрахувати температурні умови на початку ділянки газопроводу, для якої визначаються умови конденсації вологи та гідратування; 2) визначити умови відсутності конденсації вологи в газопроводі; 3) розрахувати допустиме значення вологовмісту; 4) визначити умови відсутності гідратування в газопроводі.

3. Результати досліджень процесів конденсації вологи і гідратування в газопроводах

Для проведення розрахунків, в якості початкових, використано наступні дані: термодинамічні параметри газу; параметри трубопроводу; хімічний склад газу (для розрахунку умов гідратування).

У випадку, якщо в газопроводі є змішування газових потоків, температура точки роси вологи і температура газу визначаються згідно [5]. При цьому вологовміст змішаного потоку розраховується як середньозважений за об'ємами:

$$W_{3M} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Q_i - \sum_{j=1}^k W_j \cdot Q_j}{\sum_{i=1}^n Q_i - \sum_{j=1}^k Q_j}, \quad (1)$$

де W_i, Q_i – значення вологовмісту та об'ємів окремих потоків газу, якими газ надходить до газопроводу (до початку ділянки газопроводу, що аналізується), $г/м^3, м^3$; W_j, Q_j – значення вологовмісту та об'ємів окремих потоків газу, якими газ відбирається з газопроводу (до початку ділянки газопроводу, що аналізується), $г/м^3, м^3$; i – порядковий номер потоку газу, що надходить до газопроводу; n – кількість потоків, що надходять до газопроводу (до початку ділянки газопроводу, що аналізується); j – порядковий номер потоку, яким газ відбирається з газопроводу; k – кількість потоків, якими газ відбирається з газопроводу (до початку ділянки газопроводу, що аналізується).

Значення W_i та W_j можна виразити через температуру точки роси за вологою за формулою Бюкачека Р. Ф. [6]:

$$W = 1,0332 \frac{A(t)}{P} + B(t), \quad (2)$$

де P – тиск газу, $кгс/см^2$; $A(t), B(t)$ – коефіцієнти, які визначаються за відомими таблицями [7], або за формулами:

$$\begin{aligned} A(t) &= 0,5[A(t'') - A(t')] (t - t') + A(t'), \\ B(t) &= 0,5[B(t'') - B(t')] (t - t') + B(t'), \end{aligned} \quad (3)$$

де t' і t'' – найближчі до t_1 табличні значення ($t' \leq t < t''$).

Для визначення температури газу на початку ділянки газопроводу розрахунки проводяться аналогічно, а для прогнозування можливості конденсації вологи на останній ділянці газопроводу зіставляються термодинамічні умови початку цих процесів з відповідними умовами в газопроводі.

Температури і тиски, при яких починається конденсація вологи, визначаються з рівнянь згідно [4]:

$$T(X) = T_H \left\{ 1 - (1 - e^{-AX}) \left(1 - \frac{T^*}{T_H} \right) - \frac{BRT_H}{2C_p} \frac{\partial Z}{\partial T} \times \int_0^X dx' \frac{e^{-A(X-x')}}{1 - Bx'} \right\}, \quad (4)$$

$$\begin{aligned} P(X) &= P_H \sqrt{1 - BX} + P_H \frac{B}{2\sqrt{1 - BX}} \left(1 + \frac{T_H}{Z_H} \frac{\partial Z}{\partial T} \right) \times \\ &\times \left\{ \left(1 - \frac{T^*}{T_H} \right) \left(X - \frac{1 - e^{-AX}}{A} \right) - \frac{RT_H}{2C_p A} \frac{\partial Z}{\partial T} \times \left[\ln(1 - BX) + B \int_0^X dx' \frac{e^{-A(X-x')}}{1 - Bx'} \right] \right\} + \\ &+ \frac{P_H^2}{3Z_H} \frac{\partial Z}{\partial P} \left[1 - BX - \frac{1 - 1,5BX}{\sqrt{1 - BX}} \right], \end{aligned} \quad (5)$$

де

$$A = \frac{\alpha \pi D}{GC_p}, \quad B = \frac{16\lambda RT_H G^2 Z_H}{\pi^2 D_B^5 P_H^2},$$

де $P(X)$ – тиск газу в газопроводі; P_H – тиск газу на початку ділянки газопроводу; T_H – температура на початку ділянки газопроводу; Z_H – коефіцієнт стисливості газу на початку ділянки газопроводу; R – газова константа; T^* – абсолютна температура ґрунту на глибині осі газопроводу; $\partial Z/\partial T$ – похідна по температурі від коефіцієнта

стисливості на початку ділянки газопроводу; $\partial Z/\partial P$ — похідна по тиску від коефіцієнта стисливості на початку ділянки газопроводу.

Конденсація вологи в трубопроводі на відстані X від його початку не відбуватиметься, якщо вологість $W(X)$, що відповідає тиску $P(X)$ і температурі $T(X)$, буде перевищувати вологість W_{3M} на початку ділянки газопроводу, тобто, якщо виконується нерівність:

$$W_{3M} < W(X) = 1,0332 \frac{A[T(X)]}{P(X)} + B[T(X)], \quad (6)$$

де $T(X)$ і $P(X)$ визначаються за формулами (4), (5).

Конденсація вологи не відбуватиметься в газопроводі взагалі, якщо нерівність (6) виконується на всій його протяжності, тобто при $0 \leq X \leq L$.

На основі цього алгоритму виконується перевіряння нерівності (6) на всій протяжності газопроводу. Якщо ця нерівність не виконується на деякому відрізку трубопроводу, величина W_H зменшується і знову перевіряється виконання нерівності (6). Таким чином визначається оптимальне значення вологості W_H на початку визначеної ділянки газопроводу, при якому волога в газопроводі перестає конденсуватися.

Для визначення умов відсутності гідратуутворення використано відомі емпіричні формули, отримані на основі обробки результатів експериментів з природними газами різного хімічного складу, які таким чином враховують вплив складу газу на результати розрахунків [8–10]. Залежність тиску початку гідратуутворення P_T від температури розраховується за наступними формулами:

$$P_T(t_T) = 10^{0,0541(t_T + N)},$$

якщо температура гідратуутворення $t_T \geq 0$, (7)

$$P_T(t_T) = 10^{0,0171(N_1 - t_T)}, \text{ якщо } t_T \leq 0. \quad (8)$$

При цьому коефіцієнти N та N_1 залежать від хімічного складу газу.

Гідратуутворення в точці X відбуватиметься, якщо, по-перше, не виконується нерівність (6), а по-друге — нерівність:

$$P_T[t(X)] \leq P(X), \quad (9)$$

де P_T визначається за формулами (7), (8), а $t(X)$ і $P(X)$ — за формулами (4), (5). При цьому $t(X) = T(X) - 273,15$.

На основі розробленої методики можна прогнозувати ділянки можливої конденсації вологи та гідратуутворення в газопроводі, як такі, на яких не виконуються обидві нерівності: (6) і (9) та визначити гранично допустимі вологість газу на початку визначеної ділянки газопроводу в залежності від сезонних коливань температур ґрунту і умов прокладання газопроводу.

Всі вищенаведені розрахунки можна виконувати за допомогою комп'ютерної програми, яка реалізує наведену методику [9].

4. Висновки

1. Прогнозування процесів конденсації вологи і гідратуутворення в газопроводах є актуальною задачею, оскільки своєчасне попередження цих явищ є запору-

кою ефективного транспортування газу та зменшення вірогідності виникнення аварійних ситуацій.

2. Вищенаведена методика надає можливість точно і оперативно визначити місця можливого гідратуутворення і конденсації вологи на конкретних ділянках газопроводів, а також встановлювати обмеження на значення вологості газу на вході ділянки газопроводу, що аналізується, враховуючи при цьому наявність змішаних потоків газу.

Література

- ГОСТ 5542-87. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия [Текст]. — Действующий от 01.01.1988. — М.: Издательство стандартов, 1987. — 4 с.
- ТУ У 11.1-20077720-001:2010. Газ природний горючий, що подається в магістральні газопроводи. Технічні умови [Текст]. — Діючі від 07.06.2010. — К.: Держспоживстандарт України, 2010. — 12 с.
- Сбор и промысловая подготовка газа на северных месторождениях России [Текст] / А. И. Гриценко, В. А. Истомина, А. Н. Кульков, Р. С. Сулейманов. — М.: Недра, 1999. — 473 с.
- Брук, В. А. До питання прогнозу і попередження гідратуутворення в магістральних газопроводах [Текст] : зб. наук. праць / В. А. Брук // Питання розвитку газової промисловості України. — Харків: УкрНДІгаз, 2002. — Вип. XXX. — С. 220–222.
- Хвостова, О. В. Методичні аспекти комплексної оцінки вологості природного газу при змішуванні потоків газу з різним вологовмістом [Текст] : зб. наук. праць / О. В. Хвостова // Питання розвитку газової промисловості України. — Харків: УкрНДІгаз, 2010. — Вип. XXXVIII. — С. 213–216.
- Бухгалтер, Э. Б. Из опыта борьбы с гидратообразованием при добыче газа [Текст] / Э. Б. Бухгалтер, Г. С. Лутошкин, Б. В. Дегтярев. — М.: ВНИИОЭНГ, 1968. — 152 с.
- Газы горючие природные. Методы определения содержания водяных паров и точки росы влаги: ГОСТ 20060-83. — Действующий от 01.01.1983. — М.: Издательство стандартов, 1983. — 20 с.
- Дегтярев, Б. В. Борьба с гидратами при эксплуатации газовых скважин в районах Севера [Текст] / Б. В. Дегтярев, Г. С. Лутошкин, Э. Б. Бухгалтер. — М.: Недра, 1969. — 120 с.
- Лур'є, А. Й. Вологометрія природного газу [Текст] / А. Й. Лур'є, О. В. Хвостова, О. Л. Швейкін. — Х.: Курсор, 2011. — 128 с.
- Макогон, Ю. Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование [Текст] / Ю. Ф. Макогон. — М.: Недра, 1985. — 232 с.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ И ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ В ГАЗОПРОВОДАХ

Рассмотрена проблема обеспечения необходимого значения одного из показателей качества природного газа при его транспортировке потребителю — влагосодержания. Разработана методика прогнозирования возможных процессов конденсации влаги и гидратообразования в газопроводах с учетом смешивания потоков газа с различным влагосодержанием.

Ключевые слова: качество природного газа, конденсация влаги, гидратообразование, влагосодержание.

Хвостова Елена Викторовна, старший научный співробітник, Український науково-дослідний інститут природних газів, Харків, Україна, e-mail: ltail@rambler.ru.

Хвостова Елена Викторовна, старший научный сотрудник, Украинский научно-исследовательский институт природных газов, Харьков, Украина.

Хвостова Елена, Ukrainian Research Institute of Natural Gas, Kharkiv, Ukraine, e-mail: ltail@rambler.ru