

5 Кашавцев В.Е., Мищенко И.Т. Прогнозирование и контроль солеотложений при добыче нефти: Учебное пособие. – М.: Изд-во „Нефть и газ” РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина. – 2001. – 134 с.

6 Кашавцев В.Е. Компьютерное моделирование прогнозных оценок отложения солей при добыче нефти // Нефтяное хозяйство. – 2002. – №12. – С.73-75.

7 Кашавцев В.Е. Солеобразования при смешении вод в процессе разработки залежей нефти месторождений морского шельфа Вьетнама // Нефтяное хозяйство. – 2002. – №1. – С.36-37.

8 Перекупка А.Г., Елизарова Ю.С. Эффективность и перспективы применения многокомпонентных смесей ингибиторов солеотложения // Нефтяное хозяйство. – 2003. – №6. – С.82-84.

9 Пути повышения эффективности предотвращения образования отложений неорганических солей в скважинах / А.Ш.Сиртланов, Р.А.Фасхутдинов, Ф.Д.Шайдуллин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2002. – №4. – С.59-61.

10 Синергизм и эффективность смесей ингибиторов солеотложения и коррозии / А.Г.Перекупка, О.С.Елизарова, А.А.Машошина, Э.П.Мингалева // Нефтяное хозяйство. – 2004. – №3. – С.84-85.

11 Опыт и перспективы ингибирования солеотложений на месторождениях ОАО „Юганскнефтегаз” / А.И.Семеновых, Д.В.Маркелов, В.В.Рагулин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2005. – №8. – С.94-97.

2 Нуршаханова Л.К., Закенов С.Т. Анализ мероприятий по борьбе с солеотложениями при эксплуатации скважин месторождения Узень // Нефтепромысловое дело. – 2004. – №5. – С.30-32.

13 Ким В.К. Прогнозирование солеобразования и коррозионной активности попутно добываемых вод // Нефтяное хозяйство. – 1992. – №2. – С.20-21.

14 Болотов А.А., Лазарев Г.А., Студиев В.П. Импульсно-волновая технология предупреждения солеотложений в теплообменных аппаратах // Газовая промышленность. – 2006. – №2. – С.83-85.

15 Потапов С.С., Кузнецов Н.П. Взаимосвязь процессов солеотложения и коррозии при добыче обводненной нефти // Нефтяное хозяйство. – 1990. – №8. – С.59-60.

16 Применение ингибитора солеотложений СНПХ-5301 М / Н.В.Бикчантаева, И.В.Алешкина, Т.Н.Колтышева и др. // Нефтепромысловое оборудование. – 1998. – №6. – С.45-46.

17 Бикчантаева Н.В., Монахова Н.В., Алешкина И.В. Исследование свойств нового ингибитора солеотложений СНПХ-5312 (марок С и Т) // Нефтяное хозяйство. – 2000. – №11. – С.39-40.

УДК 621.64.029

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТВОРЕНОГО ГАЗОПРОВОДОМ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В ҐРУНТІ

¹Ф.І.Стоцький, ¹Т.Ф.Тутко, ¹Я.В.Грудз, ²А.В.Дацюк

¹ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: kpubli@nuing.edu.ua

²ДК “Укртрансгаз”, 04053, м. Київ, Кловський узвіз, 9/1, тел. (044) 4612111
e-mail: adatsuk.utg@naftogaz.net

Предлагается нестационарная математическая модель распространения тепла в окружающей среде (грунте) от теплового источника газопровода.

The mathematical unstationary model of heat exchange of gas pipeline is developed with an environment in the 2-D spays raising, the method of its realization is offered.

Магістральний газопровід, як складну енергетичну систему, можна представити у вигляді послідовно з'єднаних ланок: компресорних станцій, на яких газовий потік отримує природну енергію, і лінійних ділянок, на яких ця енергія витрачається для забезпечення певного обсягу перекачування газу.

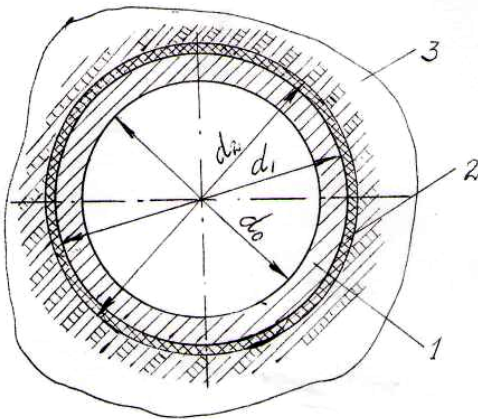
Як відомо, повна енергія потоку газу складається з потенціальної, кінетичної і внутрішньої енергій. На компресорній станції газовий

потік одержує порцію потенціальної енергії, яка під час руху по лінійній ділянці перетворюється в кінетичну (лінійна швидкість газу зростає по довжині ділянки) і за рахунок роботи сил тертя переходить у внутрішню, зовнішню мірою якої є температура газу. Отже температура газу повинна б зростати по довжині лінійної ділянки. Однак за рахунок розширення газу (ефект Джоуля-Томпсона) і теплообміну із зовнішнім середовищем відбувається розсіювання

енергії, що призводить до незворотних її втрат. Тому дослідження температурного режиму газопроводів має велике значення для визначення ефективності використання енергії в трубопроводному транспорті газу.

Найбільш поширеною математичною моделлю температурного режиму газонафтопроводу є модель, запропонована Шуховим В.Г., згідно з якою величина теплового потоку від газу до ґрунту визначається температурним перепадом між газом (в умовах в трубопроводі) і ґрунтом (в непорушеному тепловому стані) та обумовлюється повним коефіцієнтом теплопередачі. Такий підхід не дає змоги оцінити теплові втрати в навколишнє середовище і характер розповсюдження тепла в ґрунті, особливо в умовах теплової нестационарності. Тому з метою оцінки величини енерговтрат у докільля проводяться дослідження, пов'язані з розповсюдженням тепла в ґрунті від нагрітого джерела (трубопроводу).

Розглядається газопровід з ізоляцією, що знаходиться в ґрунті (рис. 1). Між газом, що рухається в газопроводі, і ґрунтом існує теплопередача. В даній роботі нехтуємо неосесиметричністю температурного поля.



1 – труба; 2 – ізоляція; 3 – ґрунт
Рисунок 1 – Розрахункова схема

Оскільки температура газу вздовж осі газопроводу змінюється повільно, то температурну задачу можна розглядати як одновимірну. Але навіть одновимірна задача у даному випадку є складною, оскільки маємо тришарове тіло (труба, ізоляція і ґрунт).

Товщина труби (а тим більше ізоляції) порівняно з їх діаметрами (d_1, d_2) є малими величинами, тому труба і її ізоляція можуть розглядатися як тонкі оболонки, а це уможливило отримання умови теплообміну на межі "ізоляція-ґрунт" і значно спростило задачу теплопровідності для ґрунту, що і є метою даної роботи.

Подібні умови теплообміну розглядалися раніше в роботах [1,2,3] для інших тіл і в ряді випадків використовувалися інші способи їх отримання.

Задача теплопровідності для тришарової конструкції, яка нагрівається газом, що рухається в трубах, формулюється так [4]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \left[\frac{1}{a_1} + \sum_{i=1}^2 \left(\frac{1}{a_{i+1}} - \frac{1}{a_i} \right) S_-(r-r_i) \right] \frac{\partial T}{\partial \tau} - \sum_{i=1}^2 \left(\frac{\lambda_t^{(i+1)}}{\lambda_t^{(i)}} - 1 \right) \delta_-(r-r_i) \frac{\partial T}{\partial r} /_{r=r_i-0} ; \quad (1)$$

$$T(r,0) = 0, \lambda_t^{(1)} \frac{\partial T}{\partial r} /_{r=r_0} = \alpha(T-T_c) /_{r=r_0}, \quad T /_{r \rightarrow \infty} \neq \infty, \quad (2)$$

де: T – температура в точках тришарового тіла; r – радіальна координата точок тіла; $\lambda_t^{(i)}, a_i$ – коефіцієнти теплопровідності і температуропровідності для матеріалу i -го шару; τ – час; $S_-(r-r_i)$ – асиметрична одинична функція

$S_-(x) = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ 0, x < 0 \end{cases}$; $\delta_-(r-r_i) = \frac{dS_-(r-r_i)}{dr}$;
 α – коефіцієнт тепловіддачі від газу до стінки труби;

T_c – температура газу.

Рівняння для багатошарових конструкцій у вигляді (1) наводяться у монографії [4].

Користуючись рівняннями (1) і (2), запишемо задачу теплопровідності для двошарової конструкції "труба-ізоляція"

$$\frac{\partial^2 T^*}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T^*}{\partial r} = \left[\frac{1}{a_1} + \left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} \right) S_-(r-r_1) \right] \frac{\partial T^*}{\partial \tau} + \left(1 - \frac{\lambda_t^{(2)}}{\lambda_t^{(1)}} \right) \frac{\partial T^*}{\partial r} /_{r=r_1-0} \delta_-(r-r_1) ; \quad (3)$$

$$T^*(r,0) = 0, \lambda_t^{(1)} \frac{\partial T^*}{\partial r} /_{r=r_0} = \alpha(T^* - T_c) /_{r=r_0}, \quad (4)$$

де T^* – температурне поле у двошаровій конструкції "труба-ізоляція".

До рівнянь (3) і (4) необхідно додати умови ідеального контакту між ізоляцією та ґрунтом.

$$T^* /_{r=r_2} = T /_{r=r_2},$$

$$\lambda_t^{(2)} \frac{\partial T^*}{\partial r} = \lambda_t^{(3)} \frac{\partial T}{\partial r} \text{ при } r = r_2. \quad (5)$$

У ході виведення умови теплообміну між двошаровою оболонкою труба-ізоляція і ґрунтом використовуємо криволінійну систему координат (s, n) [5] (s – відстань вздовж границі між двошаровою оболонкою і ґрунтом від певного положення $s = 0$, n – відстань до будь-якої точки двошарової оболонки по нормалі від границі між трубою і гідроізоляцією).

Оператор Лапласа в системі координат s, n має вигляд [5]

$$\Delta = \frac{1}{D} \left[\frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial s} \right) + \frac{\partial}{\partial n} \left(D \frac{\partial}{\partial n} \right) \right],$$

де: $D = 1 + \frac{n}{r(s)}$, $r(s)$ – радіус кривини середньої лінії шару.

Оскільки у нашому випадку радіус кривини між шарами (трубою і ізоляцією) значно більший від їх загальної товщини, тоді $D \approx 1$ і

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial s^2} + \frac{\partial^2}{\partial n^2}.$$

Для розв’язання задачі (3)-(5) використаємо операторний метод [7]. Позначимо:

$$p^2 = - \left[\frac{1}{a_1} + \left(\frac{1}{a_2} - \frac{1}{a_1} \right) S_-(n) \right] \frac{\partial}{\partial \tau}$$

Для останнього запису використовується система координат (s, n) . Тепер рівняння теплопровідності (3) набуває вигляду

$$\frac{d^2 T^*}{dn^2} + p^2 T^* = B \delta_-(n), \quad (6)$$

де $B = \left(1 - \frac{\lambda_t^{(2)}}{\lambda_t^{(1)}} \right) \frac{dT^*}{dn} /_{n=0}$.

Розв’язок неоднорідного рівняння (6) матиме такий вигляд

$$T^* = D_1 \cos pn + D_2 \sin pn + \frac{B}{p} S_-(n) \sin pn. \quad (7)$$

Після знаходження величини B (7) набуває вигляду

$$T^* = D_1 \cos pn + D_2 \sin pn + D_2 \left(\frac{\lambda_t^{(1)}}{\lambda_t^{(2)}} - 1 \right) S_-(n) \sin pn. \quad (8)$$

Для знаходження сталих інтегрування D_1 і D_2 використовуємо другу умову (4) і першу (5). При цьому отримаємо систему двох рівнянь відносно D_1 і D_2 . Розв’язавши цю систему рівнянь, підставляємо вирази D_1 і D_2 в (8) і в результаті отримаємо

$$T = \left\{ \left[T /_{n=\delta_2} \lambda_t^{(2)} f_2(p, \delta_1) + \alpha \lambda_t^{(1)} T_c \sin p \delta_2 \right] \times \right. \\ \left. \times \cos pn + \left[T /_{n=\delta_2} f_1(p, \delta_1) + \alpha T_c \cos p \delta_2 \right] \times \right. \\ \left. \times \left[1 + \left(\frac{\lambda_t^{(1)}}{\lambda_t^{(2)}} - 1 \right) S_-(n) \right] \lambda_t^{(2)} \sin pn \times \right. \quad (9)$$

$$\left. \times \left\{ \lambda_t^{(1)} f_1(p, \delta_1) \sin p \delta_2 - \lambda_t^{(2)} f_2(p, \delta_1) \cos p \delta_2 \right\}^{-1},$$

де: $\delta_1 = (d_1 - d_0) / 2$, $\delta_2 = (d_2 - d_1) / 2$,

$$f_1(p, \delta_1) = \lambda_t^{(1)} p \sin p \delta_1 - \alpha \cos p \delta_1,$$

$$f_2(p, \delta_1) = \lambda_t^{(1)} p \cos p \delta_1 + \alpha \sin p \delta_1.$$

Далі використовуємо другу умову (5)

$$\lambda_t^{(3)} \frac{\partial T}{\partial n} /_{n=\delta_2} = \lambda_t^{(2)} \times \\ \times \left\{ T /_{n=\delta_2} p \lambda_t^{(2)} f_2(p, \delta_1) \sin p \delta_2 + \right. \quad (10) \\ \left. + T /_{n=\delta_2} p \lambda_t^{(1)} f_1(p, \delta_1) \cos p \delta_2 + \alpha T_c \lambda_t^{(1)} p \right\} \times \\ \times \left\{ \lambda_t^{(1)} f_1(p, \delta_1) \sin p \delta_2 - \lambda_t^{(2)} f_2(p, \delta_1) \cos p \delta_2 \right\}^{-1}.$$

Розкладаємо в (10) тригонометричні функції в ряди, зберігаючи при цьому тільки доданки, які містять δ_1 і δ_2 в першій степені. Після спрощення одержуємо

$$- \alpha \left(\frac{\delta_2}{\lambda_t^{(2)}} + \frac{\delta_1}{\lambda_t^{(1)}} + \frac{1}{\alpha} \right) \lambda_t^{(3)} \frac{\partial T}{\partial n} /_{n=\delta_2} = \quad (11) \\ = \left[\lambda_t^{(2)} \delta_2 \left(1 + \frac{\alpha \delta_1}{\lambda_t^{(1)}} \right) + \lambda_t^{(1)} \delta_1 \right] p^2 T /_{n=\delta_2} - \alpha (T /_{n=\delta_2} - T_c).$$

Підставляємо в (11) вираз для оператора p^2 , який при $n = \delta_2$ записується $p^2 = - \frac{1}{a_2} \frac{\partial}{\partial \tau}$,

вводимо теплофізичні характеристики труби і ізоляції $\Lambda_1 = \lambda_t^{(1)} \delta_1$, $\Lambda_2 = \lambda_t^{(2)} \delta_2$ – зведені коефіцієнти теплопровідності труби та її ізоляції;

$Bi_1 = \frac{\alpha \delta_1}{\lambda_t^{(1)}}$ – критерій тепловіддачі для труби,

$C_2 = c_v \delta_2$ – зведена теплоємність матеріалу ізоляції (c_v – об’ємна теплоємність ізоляції);

$\alpha_c = \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_1}{\lambda_t^{(1)}} + \frac{\delta_2}{\lambda_t^{(2)}} \right)^{-1}$ – сумарний коефіцієнт

теплопередачі [6], і в результаті будемо мати:

$$\lambda_t^{(3)} \frac{\partial T}{\partial n} /_{n=\delta_2} = \frac{\alpha_c}{\alpha} C_2 \left[(1 + Bi_1) + \frac{\Lambda_1}{\Lambda_2} \right] \frac{\partial T}{\partial \tau} /_{n=\delta_2} + \\ \alpha_c (T /_{n=\delta_2} - T_c). \quad (12)$$

Рівняння (12) є умовою теплообміну на

границі "ізоляція-грунт" $\left(\frac{\partial T}{\partial r} /_{r=r_2} = \frac{\partial T}{\partial n} /_{n=\delta_2} \right)$,

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} /_{r=r_2} = \frac{\partial T}{\partial \tau} /_{n=\delta_2}, \quad T /_{r=r_2} = T /_{n=\delta_2}.$$

В роботі [6] розглянуто постановку спряженої задачі теплообміну між газом в свердловині і гірськими породами, що оточують свердловину. Рівняння теплообміну між газом і породою записують так:

$$\lambda_t \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha_c (T - T_c) \quad \text{при } r = r_c, \quad (13)$$

а сумарний коефіцієнт теплопередачі

$$\alpha_c = \left(\frac{1}{\alpha} + \sum_{i=1}^N \frac{\delta_i}{\lambda_t^{(i)}} \right)^{-1}, \quad (14)$$

де: α – коефіцієнт тепловіддачі газу до внутрішньої стінки труби;

$\delta_i, \lambda_i^{(i)}$ – товщина і коефіцієнт теплопровідності i -го шару ізоляції;

N – кількість ізоляційних шарів ($i=1$ відповідає стінці труби);

λ_i – коефіцієнт теплопровідності гірської породи;

T, T_c – температури ґрунту і газу в трубопроводі;

r_c – зовнішній радіус трубопроводу.

Отримана умова теплообміну (12) цілком підходить і для цієї задачі. Порівняння умов теплообміну (12) і (13) показує, що в умові (13)

відсутній доданок з похідною $\frac{\partial T}{\partial \tau}$. Умови (12) і

(13) співпадатимуть, якщо $\frac{\partial T}{\partial \tau}$ при $r=r_2$ дорівнюватиме 0.

Перспективними є порівняння температурних полів в ґрунті, знайдених за однією і другою умовою, а також температурного поля для тришарового тіла (труба-ізоляція-ґрунт) з метою встановлення, яка з умов теплообміну (12) чи (13) дає більш точне значення температурного поля в ґрунті.

Література

1 Подстригач Я.С., Чернуха Ю.А., Войтович Н.И. Условия теплообмена на подкрепленном крае оболочки // Докл. АН УССР. – сер. А, 1975, 5. – С. 429-433.

2 Подстригач Я.С., Чернуха Ю.А., Войтович Н.И. Температурные поля криволинейных стержней и подкрепленных оболочек // Математические методы и физико-механические поля. – 1976. – №3. – С. 15-20.

3 Коляно Ю.М., Кулик А.Н., Стоцкий Ф.И. Температурное поле круглой пластинки // Известия вузов. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 85-95.

4 Подстригач Я.С., Ломакин В.А., Коляно Ю.М. Термоупругость тел неоднородной структуры. – М.: Наука, 1984. – 368 с.

5 Боли Б., Уэйнер Дж. Теория температурных напряжений. – М.: Мир, 1964 – 517 с.

6 Васильев О.Ф., Бондарев Э.А., Воеводин А.Ф., Каниболотский М.А. Неизотермическое течение газа в трубах / Под ред. Васильева О.Ф. – Новосибирск: Наука, 1978. – 128 с.

7 Лурье А.И. Пространственные задачи теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1955.

УДК 622.242.6

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ КОРПУСА ПНЕВМОГІДРОКОМПЕНСАТОРА БУРОВОГО НАСОСА

Л.Є.Шкіца, В.І.Лівак, І.Д.Лівак, М.М.Лях

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 45369

e-mail: lyva@bigmir.net

Проведен анализ объемного напряженного состояния корпуса пневмогидрокомпенсатора бурового насоса при испытательном давлении методом тетраэдральных конечных элементов. Определены эквивалентные напряжения в корпусе и распределение коэффициента запаса прочности по телу корпуса. Выявлены прочностные характеристики в зонах глухих отверстий под шпильки крепления.

Ефективне буріння нафтових і газових свердловин можливе за умови якісного промивання свердловин за допомогою сучасних циркуляційних систем. Рух промивальної рідини в циркуляційній системі забезпечують бурові насоси. Це переважно насоси двопоршневі двосторонньої дії, або сучасніші – трипоршневі односторонньої дії. Утім конструкція приводної частини цих насосів з кривошипно-шатунним механізмом перетворення обертового руху трансмісійного і корінного валів у нерівномірний зворотньо-поступальний рух поршнів є джерелом нерівномірності руху промивальної рідини. А періодична нерівномірна подача рідини призводить, з одного боку, до небажаних явищ

The analysis of the by volume tense state of corps of pneumatic hydraulic compensator boring pump is conducted at proof-of-concept pressure by the method of tetrahedral eventual elements. Equivalent tensions are certain in a corps and distributing of coefficient of margin of safety on the body of corps. Straining descriptions are exposed in the areas of the deaf openings under the hairpins of fastening.

в процесі буріння – вібрації колони бурильних труб, нерівномірності обертання ротора турбобура і долота на вибої свердловини, обвалу нестійких стінок свердловини та інших ускладнень, а з іншого – до передчасного виходу з ладу вузлів і деталей самого бурового насоса. Тому бурові насоси комплектуються спеціальними компенсаторами нерівномірності подачі, які при усталеному режимі роботи насоса змінюють нерівномірний рух рідини у потік з меншою нерівномірністю, стабілізують тиск на виході насоса і вирівнюють навантаження на його вузли і деталі. Зазначимо, що використання компенсаторів для стабілізації потоку рідини є обов'язковим не тільки для насосів двопорш-