

УДК 697.9

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПРИСТРОЮ ДЛЯ САНАЦІЇ ТА ТЕРМОРЕНОВАЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Г. С. Ратушняк, М. В. Поліщук

За результатами аналізу стану теплових мереж України обґрунтовано необхідність вирішення проблеми оперативного відновлення та реконструкції сталевих трубопроводів застосуванням безтраншейних технологій. Запропоновано пристрій для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж при їх безтраншейному ремонті. Виконано математичне моделювання динаміки робочого процесу пристрою для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж. Отримано залежності, які дозволять в подальшому виконати чисельне моделювання динаміки робочого процесу пристрою та встановити його конструктивно-технологічні оптимальні параметри, що забезпечать синхронізацію динаміки робочого процесу.

Ключові слова: *теплова мережа, санація, термореновація, математична модель, робочий процес.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА УСТРОЙСТВА ДЛЯ САНАЦИИ И ТЕРМОРЕНОВАЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Г. С. Ратушняк, М. В. Полищук

По результатам анализа состояния тепловых сетей Украины обоснована необходимость решения проблемы оперативного восстановления и реконструкции стальных трубопроводов применением бестраншейных технологий. Предложено устройство для санации и термореновации трубопроводов тепловых сетей при их бестраншейном ремонте. Выполнено математическое моделирование динамики рабочего процесса устройства для санации и термореновации трубопроводов тепловых сетей. Получены зависимости, которые позволят в дальнейшем выполнить численное моделирование динамики рабочего процесса устройства и установить его конструктивно-технологические оптимальные параметры, которые обеспечат синхронизацию динамики рабочего процесса.

Ключевые слова: *тепловая сеть, санация, термореновации, математическая модель, рабочий процесс.*

THE MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS WORKING PROCESS OF THE DEVICE FOR SANATION AND THE THERMAL RENOVATION OF NETWORK PIPES

G. Ratushnyak, M. Polishchuk

According to the results of the state of heat supply systems of Ukraine the necessity of the solution for rapid recovery and reconstruction of steel pipelines using trenchless technologies. The proposed rehabilitation and thermal renovation of heat pipelines with trenchless repair them. Done mathematical modeling of working process of the device for readjustment and thermorenovation of heat pipelines. The equations that will allow in the future to perform numerical modeling of working process of the device and set it constructive-technological optimal parameters, generating print synchronization dynamics workflow.

Keywords: *heating systems, sanation, termal renovation, , mathematical model, workflow..*

Вступ

Збільшення вартості заміни трубопроводів та проведення ремонту доріг, яке все частіше затрудняється у зв'язку зі збільшенням інтенсивності руху, призводять до того, що використання безтраншейних реставраційних технологій для відновлення працездатності трубопроводів стає бажаним в цілях економії коштів. Стан більшості теплових мереж України незадовільний, понад 28 % експлуатуються понад 25 років, 43 % - понад 10 років і тільки 29 % мають термін експлуатації менше 10 років [1]. Теплові мережі в своїй більшості мають значний ступінь

зношення та не обладнані сучасними видами теплогідроізоляції, 15,8 % від загальної протяжності мереж є аварійними, вражені внутрішньою корозією та іншими дефектами. Ще однією проблемою теплових мереж є регулярні затоплення (близько 12% довжини мереж), а також незадовільна якість монтажу [2]. Усе це призводить до регулярних аварій в мережах, які спричинюють збільшення втрат і зниження надійності теплозабезпечення. Для повної заміни таких трубопроводів потрібні значні об'єми капітальних вкладень і тимчасових витрат. Вирішенням проблеми оперативного відновлення та реконструкції трубопроводів є застосування безтраншейних технологій, зокрема - санації та термореновації за допомогою пристроїв для санації та термореновації теплових мереж [3, 4].

Необхідність детального теоретичного аналізу і дослідження загальних закономірностей проходження складних механічних процесів, що виникають при переміщенні пристрою в трубопроводі теплової мережі визначають актуальність створення і обґрунтування теоретичних основ та розроблення адекватної і доступної для практичного застосування математичної моделі робочого процесу пристрою для санації та термореновації теплових мереж.

Мета та завдання дослідження

Метою роботи є моделювання динаміки робочого процесу пристрою для санації та термореновації теплових мереж для отримання залежностей, які дозволять встановити оптимальні конструктивно-технологічні параметри пристрою та синхронізувати його роботу.

Завданнями дослідження є розроблення за результатами математичного моделювання динаміки робочого процесу пристрою методики визначення технологічних параметрів, при якому час переміщення пристрою вздовж трубопроводу збігався б з часом надходження теплоізоляційного матеріалу в порожнину санованого трубопроводу.

Основна частина

На рис.1 наведена загальна схема запропонованої конструкції пристрою для санації та термореновації трубопроводу теплової мережі [3].

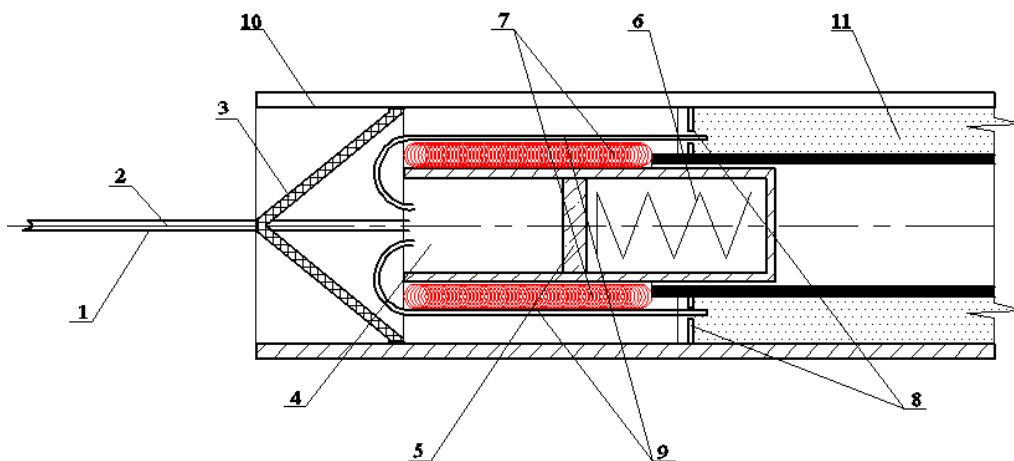


Рисунок 1 – Пристрій для санації та термореновації трубопроводу теплової мережі: 1 - гнучкий трубопровід для транспортування піноутворювального матеріалу; 2 - трос; 3 - гумовий ущільнюючий наконечник; 4 - пустотілий циліндр; 5 - поршень; 6 – пружина; 7 - гофрований полімерний трубопровід; 8 – підпірні направляючі шайби; 9 - трубки, що служать для подачі піноутворювального матеріалу; 10 - трубопровід теплової мережі; 11 - піноутворювальний матеріал (теплоізоляційний).

Пристрій працює наступним чином. Під дією зусилля, що передається від троса 2, пристрій для санації трубопроводу переміщується в середині трубопроводу теплової мережі 10. По гнучкому трубопроводу 1 подається піноутворювальний матеріал 11 в корпус пустотілого циліндра 4 з поршнем 5 та пружиною 6. При переміщенні пристрою в середині старого трубопроводу теплової мережі 10 укладений на зовнішній поверхні пустотілого циліндра 4 гофрований полімерний трубопровід 7 розпрямляється. Під дією зусилля пружини 6 піноутворювальний матеріал 11 із порожнини циліндра 4 по подавальним трубкам 9 надходить у

порожнину між укладеним полімерним трубопроводом 7 і внутрішньою поверхнею трубопроводу теплової мережі 10. За напрямком поступального руху пристрою подавальні трубки 9 утримують підпирні направляючі шайби 8.

В результаті переміщення пристрою відбувається санація стінок трубопроводу теплової мережі 10 полімерним трубопроводом 7. Розміщені по периметру корпусу подавальні трубки 9 забезпечують рівномірне розподілення піноутворювального матеріалу 11 для термореновації між внутрішньою поверхнею трубопроводу теплової мережі 10 та зовнішньою поверхнею укладеного полімерного трубопроводу 7.

Конструктивно-технологічні параметри пристрою для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж повинні забезпечувати синхронізацію динаміки робочого процесу. Синхронізація передбачає рівномірне переміщення пристрою вздовж трубопроводу з одночасним укладанням в середині порожнини сталевго трубопроводу полімерного трубопроводу та заповнення об'єму утвореного простору між сталевго трубою й укладеним полімерним трубопроводом теплоізоляційним матеріалом. Тобто час переміщення пристрою t_n вздовж трубопроводу на величину X повинен збігатися з часом надходження утеплювача (теплоізоляційного матеріалу) в порожнину між внутрішньою поверхнею трубопроводу теплової мережі 10 та укладеним полімерним трубопроводом 7 t_y , а саме $t_n = t_y = t$.

Час надходження утеплювача (теплоізоляційного матеріалу) в порожнину між внутрішньою поверхнею сталевго трубопроводу 10 та укладеним полімерним трубопроводом 7 визначається його витратою

$$Q_y = \frac{dP_y}{dt_y} \cdot W_y, \quad (1)$$

де W_y – об'єм порожнини, що заповнюють утеплювачем (теплоізоляційним матеріалом) за період часу t_y ;

P_y – надлишковий тиск в корпусі пустотілого циліндра 4, що забезпечує подавання утеплювача (теплоізоляційного матеріалу) в порожнину між внутрішньою поверхнею сталевго трубопроводу 10 та укладеним полімерним трубопроводом 7.

Тобто, час заповнення утеплювачем (теплоізоляційним матеріалом) об'єму W_y визначається як

$$t_y = \frac{W_y}{Q_y}. \quad (2)$$

Витрата утеплювача із корпусу пустотілого циліндра 4, що надходить по подавальним трубкам 9, рівна

$$Q_y = \mu \omega_0 \sqrt{P_y}, \quad (3)$$

де μ – коефіцієнт витрати;

ω_0 – сумарна площа перерізу подавальних трубок 9.

Об'єм порожнини, що заповнюється піноутворювачем W_y , визначається геометричними параметрами трубопроводу, який підлягає санації і термореновації, та товщиною шару утеплювача, який забезпечує необхідну величину термічного опору, тобто зовнішнім діаметром укладеного полімерного трубопроводу

$$W_y = \frac{X(d_1^2 - d_2^2)\pi}{4}, \quad (4)$$

де d_1 – внутрішній діаметр трубопроводу, який підлягає санації та термореновації;

d_2 – зовнішній діаметр укладеного полімерного трубопроводу 7.

Із сумісного розгляду рівнянь (2, 3, 4) витікає, що час заповнення утеплювачем об'єму між стінами трубопроводів 10 та 7 становить

$$t_y = \frac{\pi X(d_1^2 - d_2^2)}{4\omega_0 \mu \sqrt{P_y}}. \quad (5)$$

Динаміка робочого процесу при переміщенні пристрою для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж в порожнині трубопроводу 10 може бути представлена у вигляді диференційного рівняння

$$m \cdot \frac{dV}{dt_n} = F_{акт} - F_{терт} \quad (6)$$

де m – приведена маса рухомих частин пристрою;

V – швидкість переміщення пристрою;

$F_{акт}$ – величина активної сили, що забезпечує переміщення пристрою в середині трубопроводу 10;

$F_{терт}$ – величина сили тертя зовнішньої поверхні пристрою зі стінками сталевого трубопроводу 10 та полімерного трубопроводу 7.

З рівняння (6) отримуємо величину прискорення

$$\frac{dV}{dt_n} = \frac{F_{акт} - F_{терт}}{m}. \quad (7)$$

За умови, що приведена маса рухомих частин пристрою та величини активної сили та сили тертя мало змінні, приймаємо

$$\frac{F_{акт} - F_{терт}}{m} = A. \quad (8)$$

Тоді рівняння (7) має вигляд

$$\frac{dV}{dt_n} = A. \quad (9)$$

З рівняння (7) отримуємо швидкість переміщення пристрою в трубопроводі 10

$$\int dV = A \int dt_n. \quad (10)$$

Після інтегрування рівняння (10) визначимо, що

$$V = At_n + C_1. \quad (11)$$

Швидкість переміщення пристрою в трубопроводі 10 на величину X з врахуванням рівняння (11) рівна

$$\frac{dX}{dt} = At_n + C_1. \quad (12)$$

звідки

$$\int dX = A \int t_n dt + C_1 dt. \quad (13)$$

Тоді величина переміщення пристрою в трубопроводі 10 за період часу t_n буде

$$X = A \frac{t_n^2}{2} + C_1 t_n + C_2. \quad (14)$$

Сумісне рішення рівнянь (5) та (14) дозволяє встановити конструктивно-технологічні оптимальні параметри пристрою для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж, які забезпечать синхронізацію динаміки його робочого процесу.

Висновки

- Запропонований пристрій дозволяє виконувати одночасно санацію та термореновацію сталевих трубопроводів при їх безтраншейному ремонті методом релейнінгу.
- За результатами математичного моделювання динаміки робочого процесу пристрою для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж отримано залежності, які дозволять в подальшому виконати чисельне моделювання динаміки робочого процесу пристрою.
- Внаслідок сумісного рішення рівнянь (5) та (14) можливо встановити конструктивно-технологічні оптимальні параметри пристрою для санації та термореновації трубопроводів теплових мереж, які забезпечать синхронізацію динаміки його робочого процесу.

Використана література

1. Ратушняк Г. С. Обґрунтування доцільності способу санації та термореновації трубопроводів теплових мереж для підвищення їх енергоощадності / Г. С. Ратушняк, М. В. Поліщук // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: наук.-техн. зб. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2015. – №1 (18). – С.130-136.
2. Міністерство палива та енергетики України. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року в галузі електроенергетики: додаток 1. – К. – 06.04.2011. – С. 40.
3. Заявка на патент на корисну модель. Спосіб санації та термореновації трубопроводів теплових мереж / Г. С. Ратушняк, М. В. Поліщук – № u201505357; заявл. 02.06.2015 р.
4. Ратушняк Г. С. Методи прогнозування із забезпечення надійності розподільчих мереж систем теплопостачання / Г. С. Ратушняк, М. В. Поліщук // Актуальні проблеми систем теплогазопостачання і вентиляції, водопостачання і водовідведення: збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП. – 2015. – С.77-78.
5. Пат. України № 15904, МПК F16L 58/02. Пристрій для санації трубопроводів / Р. О. Веселовський – № a2011 01163; заявл. 02.02.2011; опубл. 26.11.2012. Бюл. №22.
6. Пат. України № 100168, МПК F16L 58/06. Пристрій для санації підземного металевого трубопроводу / Г. С. Ратушняк, В. В. Глибокий, О. М. Лялюк – № u200601129; заявл. 06.02.2006; опубл. 17.07.2006. Бюл. №7.

Ратушняк Георгій Сергійович – к.т.н., професор, декан факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання Вінницького національного технічного університету, академік Академії будівництва України.

Поліщук Марина Володимирівна – аспірант кафедри теплогазопостачання Вінницького національного технічного університету.

Ратушняк Георгій Сергеевич – к.т.н., професор, декан факультета строительства, теплоэнергетики и газоснабжения Винницкого национального технического университета, академик Академии строительства Украины.

Поліщук Марина Владимировна – аспірант кафедри теплогазоснабження Вінницького національного технічного університету.

Ratushnyak Georgiy – Candidate of Engineering Sciences, Professor, Dean of the Faculty building, heating and gas supply in Vinnytsia National Technical University, Academician in the Ukrainian Academy of building.

Polishchuk Maryna – Postgraduate student of the department of heat and gas supply in Vinnytsia National Technical University.