

УДК 621.643.8

**Івіцький І.І.**

к.т.н., доцент кафедри хімічного, полімерного і силікатного машинобудування,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

## **ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ІНЖЕНЕРНИХ МЕРЕЖ**

***Анотація.** У статті наведено способи дистанційного контролю напружено-деформованого стану інженерних мереж без відсутності фізичного доступу. Розглянуто спосіб планового періодичного контролю та контролю в реальному часі за допомогою інтелектуальних датчиків, введених у полімерний трубопровід на етапі виробництва. Розглянуто спосіб виробництва полімерних трубопроводів із інтелектуальними датчиками з використанням методу екструзії.*

***Ключові слова:** інженерні мережі, трубопроводи, інтелектуальні датчики, напружено-деформований стан.*

### **Постановка проблеми**

Практично всі населені пункти України мають інженерні мережі, такі як водовідведення, водо-, газо-, тепло-, електропостачання, зв'язок. В останні роки на зміну трубам із традиційних матеріалів приходять труби з полімерних композиційних матеріалів. Під час експлуатації таких трубопроводів для належного їх технічного обслуговування необхідно мати можливість систематичного спостереження за їх напружено-деформованим станом (НДС) для своєчасного запобігання можливого пошкодження або руйнування, прогнозувати час і місце можливого виникнення пошкодження, визначати місце пошкодження в період проведення планових випробувань або в процесі експлуатації з метою їх оперативного усунення. Однак у багатьох ситуаціях візуальний контроль інженерних мереж неможливий через відсутність прямого фізичного доступу до них. Введення у трубопровід із полімерного матеріалу під час виробництва інтелектуальних датчиків (ІД) дозволить здійснювати як плановий моніторинг НДС ділянок, так і моніторинг у реальному часі, в залежності від необхідності.

### **Аналіз останніх досліджень**

У даний час найбільш поширеними і рекомендованими методами відповідно до правил і досвіду експлуатації [1] для діагностики трубопроводів теплових мереж підземної прокладки є:

- випробування ділянок трубопроводів на щільність і міцність відповідно до правил технічної експлуатації шляхом створення всередині труби надлишкового тиску;

- акустичний метод зі спільним застосуванням генераторів ударних хвиль для виявлення місць пошкоджень у підземних комунікаціях, який широко використовується на практиці. Точність виявлення пошкоджень у даного методу висока, але за умови відсутності сторонніх шумів, які в міських умовах важко виключити;

- акустичний метод сканування стінки трубопроводу, під час використання якого за допомогою спеціальних віброакустичних датчиків і подальшого оброблення їх сигналів на комп'ютері визначається ступінь зносу стінки труби або місцезнаходження пошкодження [2];

- метод магнітометрії за допомогою дефектоскопа, що визначає суцільність металу [3]. Результати цього методу непогані, з підтвердженням до 98% дефектів після розкриття каналу, але застосовувати його можна лише у виняткових випадках, тому що потрібні розкопка і демонтаж частини трубопроводу;

- контроль із розкриттям каналу інженерної мережі, який широко застосовується під час пошуків дефектів

протягом експлуатації або після проведення планових випробувань теплових мереж. Цей метод базується на візуальному зовнішньому огляді конструкцій.

Кожен із наведених методів має свої недоліки, основні з яких: необхідність фізичного доступу до ділянки інженерної мережі, відсутність можливості контролю НДС ділянки в реальному часі.

Мета роботи – створення способу контролю НДС інженерних мереж без відсутності фізичного доступу та в реальному часі за допомогою ІД, що вводяться в полімерний трубопровід на етапі його виробництва.

### **Результати досліджень**

Інтелектуальний датчик – це мініатюрний пристрій для вимірювання фізичних величин у вигляді конструктивної сукупності одного або декількох перетворювачів. ІД виробляє сигнал, зручний для дистанційного передавання, зберігання та використання в системах керування.

Датчики на основі різних матеріалів і технологій використовуються в багатьох областях техніки, перетворюючи неелектричні сигнали в електричні. Датчики, які використовуються для інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів, мають вигляд мініатюрних сенсорних пристроїв, що вводяться в матеріал.

Для контролю НДС інженерних мереж доцільно використовувати електроємнісні сенсори [4], які мають просту будову, низьку вартість та високу ступінь точності контролю.

На рис. 1 зображено інженерну мережу з вбудованими ІД для періодичного планового контролю стану трубопроводу.

Контроль здійснюється таким чином: за допомогою портативного електричного генератора на контактні виводи 4 подається електричний сигнал, за допомогою якого здійснюється вплив на ІД 2, що знаходиться в товщі матеріалу трубопроводу 1. На виходах з сенсора 3 отримується інформаційний сигнал, параметри якого дозволяють визначити НДС ділянки трубопроводу.

Для найбільш відповідальних ділянок інженерних мереж можливе здійснення моніторингу НДС у реальному часі, що зображено на рис. 2.

Контроль у реальному часі, зображений на рис. 3, реалізується за рахунок прокладання поряд з інженерною мережею електричного сигнального кабелю. Струм, що протікає по ньому, достатньо малий, щоб не чинити впливу на фактори безпеки експлуатації ділянки інженерної мережі. Інформаційні сигнали з ІД на ділянці контролю збираються, обробляються та аналізуються за допомогою комп'ютера.

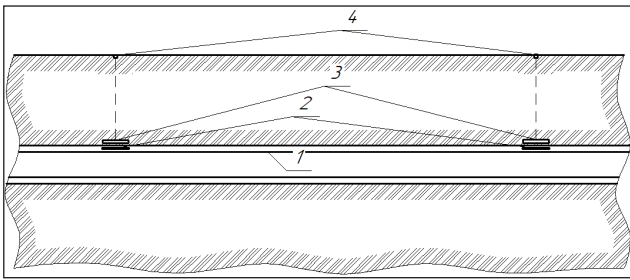


Рис. 1. Інженерна мережа з ІД для планового контролю НДС  
1 – трубопровід; 2 – вбудовані ІД; 3 – електроємнісний сенсор;  
4 – контактні виводи

Даний спосіб дозволяє контролювати НДС інженерних мереж та своєчасно виявляти та запобігати можливим пошкодженням або руйнуванню, прогнозувати час і місце можливого пошкодження в процесі експлуатації та оперативно їх усувати.

Виробництво полімерних трубопроводів із вбудованими ІД здійснюється методом екструзії [5], при цьому контролюється глибина введення та розташування ІД.

Для формування споряджених ІД трубопроводів методом екструзії запропоновано конструкцію екструзійної головки [6], яка зображена на рис. 3. Вона складається з каналу живлення 1, матриці 2, яка формує зовнішню поверхню труби, дорну 3, який утворює внутрішню поверхню труби. Дорн 3 кріпиться в корпусі головки 2 за допомогою дорнотримача 4, який оснащено каналом 5, що з'єднаний із пристроєм живлення 6 та зворотним клапаном 7. У пристрої живлення 6 знаходиться суміш полімеру, в якій знаходиться та датчик 8, розташування якого у виробі визначається радіальною координатою формуючого каналу 9.

Пройшовши зону дорнотримача 4, у розплав через канал 5 із пристрою додаткового живлення 6 крізь зворотний клапан 7 разом із полімером потрапляють ІД 8, які в подальшому рухаються до вихідного формуючого каналу 9. У результаті на виході з головки одержуємо полімерний виріб, у стінці якого містяться інтелектуальні датчики.

Оскільки ІД зазвичай розташовуються біля стінки виробу, велике значення мають ефекти, що виникають

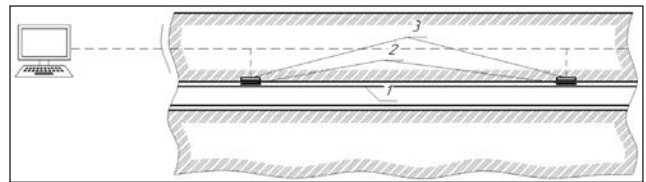


Рис. 2. Інженерна мережа з ІД для контролю НДС у реальному часі  
1 – трубопровід; 2 – вбудовані ІД; 3 – електроємнісний сенсор

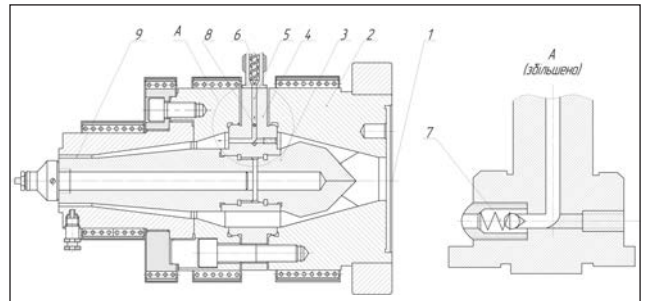


Рис. 3. Схема головки

у пристінних шарах полімерного матеріалу [7]. Зазначені ефекти можуть впливати на зміну в'язкості полімеру у пристінному шарі, що, у свою чергу, впливатиме на точність розташування ІД [8]. Раніше проведені числові моделювання [9; 10] продемонстрували високу ступінь впливу пристінних ефектів на процес течії. З огляду на специфіку введення ІД у полімерний матеріал урахування пристінних ефектів є вкрай важливим під час моделювання і проектування обладнання для створення ІПКМ.

Висновки. Розглянуті способи контролю напружено-деформованого стану інженерних мереж без відсутності фізичного доступу дозволяють проводити плановий та постійний моніторинг їх стану, що дає можливість попереджувати аварійні ситуації та прогнозувати планове обслуговування мереж. Перспектива подальших досліджень полягає в реалізації апаратної реалізації сенсорів та приладів контролю, а також створенні комп'ютерно-інтегрованих систем моніторингу експлуатаційних характеристик інженерних мереж.

### Література

1. Гончаров А.М. Методы диагностики тепловых сетей, применяемые в реальных условиях эксплуатации действующих тепловых сетей ОАО «МТК». *Новости теплоснабжения*. 2007. № 6.
2. Самойлов Е.В. Диагностика как элемент коррозионного мониторинга трубопроводов тепловых сетей. *Новости теплоснабжения*. 2002. № 4.
3. Судницын А.С., Лившиц Л.М. Диагностика трубопроводов тепловых сетей методом магнитометрии с помощью внутритрубного дефектоскопа. *Новости теплоснабжения*. 2006. № 11.
4. Баженов В.Г. Удосконалений електростатичний метод неруйнівного контролю. *Методи та прилади контролю якості*. 2013. № 2(31). С. 26–28.
5. Ivitskiy I.I. Extrusion of Intellectual Polymer Materials. *Web of Scholar*. 2018. № 5(23), Vol 1. P. 15–18.
6. Методи та пристрої для виготовлення виробів з інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів / В.І. Сівецький та ін. *Вісник НТУ «ХП»*. *Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2016. № 4(1176). С. 95–101.
7. Sokolskiy, O. L. Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment [Text]. *Modern Scientific Research and their Practical application*. 2014. № 10. P. 136–140.
8. Сокольський, О.Л. Визначення в'язкості пристінного шару у формуючих каналах обладнання для переробки полімерів [Текст]. *Наукові вісті НТУУ «КП»*. 2014. № 2. С. 66–69.
9. Івіцький І.І. Числове моделювання впливу пристінного шару на процес течії полімеру в переробному обладнанні [Текст]. *Хімічна промисловість України*. 2013. № 6. С. 34–37.
10. Ivitskiy I.I. Polymer wall slip modelling [Text]. *Technology Audit And Production Reserves*. 2014. № 5/3(19). P. 8–11.

### References

1. Goncharov A.M. Metody diagnostiki teplovykh setey, primenyayemyye v real'nykh usloviyakh ekspluatatsii deystvuyushchikh teplovykh setey ОАО «МТК» // *Novosti teplosnabzheniya*. 2007. № 6.

2. Samoylov Ye.V. Diagnostika kak element korrozionnogo monitoringa truboprovodov teplovykh setey // Novosti teplosnabzheniya. 2002. № 4.
3. Sudnitsyn A.S., Livshits L.M. Diagnostika truboprovodov teplovykh setey metodom magnitometrii s pomoshch'yu vnutritrubnogo defektoskopa // Novosti teplosnabzheniya. 2006. № 11.
4. Bazhenov V. H. Udoskonalenny elektrostatychnyy metod neruynivnoho kontrolyu / V. H. Bazhenov, D. K. Ivits'ka, S. V. Hruzin // Metody ta prylady kontrolyu yakosti. – 2013. – № 2(31). – P. 26–28.
5. Ivitskiy I. I. Extrusion of Intellectual Polymer Materials / I. I. Ivitskiy // *Web of Scholar*. – 2018. – N 5(23), Vol 1. – P. 15–18. Doi:
6. Metody ta prystroyi dlya vyhotovlennya vyrobiv z intelektual'nykh polimernykh kompozytsiynykh materialiv / V. I. Sivetskiy, O. L. Sokolskiy, I. I. Ivitskiy [ta in.] // *Visnyk NTU «KHPi»*. Mekhaniko-tehnolohichni systemy ta komplekсы. – 2016. – № 4(1176). – P. 95–101.
7. Sokolskiy, O. L. Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment [Text] / O. L. Sokolskiy, I. I. Ivitskiy // *Modern Scientific Research and their Practical application*. – 2014. – №10. – P. 136–140.
8. Sokolskiy, O. L. Vyznachennya vyazkosti prystinnoho sharu u formuyuchykh kanalakh obladnannya dlya pererobky polimeriv [Tekst] / O.L. Sokolskiy, I.I. Ivitskiy, V.I. Sivetskiy, I.O. Mikulionok // *Naukovi visti NTUU "KPI"*. – 2014. – №2. – P. 66–69.
9. Ivitskiy, I. I. Chyslove modelyuvannya vplyvu prystinnoho sharu na protses techiyi polimeru v pererobnomu obladnanni [Tekst] / I. I. Ivitskiy, O. L. Sokolskiy, V. I. Sivetskiy, I. O. Mikulionok // *Khimichna promyslovist Ukrainy*. – 2013. – № 6. – P. 34–37.
10. Ivitskiy, I. I. Polymer wall slip modelling [Text] / I. I. Ivitskiy // *Technology Audit And Production Reserves*. – 2014. – № 5/3 (19). – P. 8–11.

### ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СЕТЕЙ

*Аннотация.* В статье приведены способы дистанционного контроля напряженно-деформированного состояния инженерных сетей без отсутствия физического доступа. Рассмотрен способ планового периодического контроля и контроля в реальном времени с помощью интеллектуальных датчиков, введенных в полимерный трубопровод на этапе производства. Рассмотрен способ производства полимерных трубопроводов с интеллектуальными датчиками с использованием метода экструзии.

**Ключевые слова:** инженерные сети, трубопроводы, интеллектуальные датчики, напряженно-деформированное состояние.

**Ивицкий И.И.**

к.т.н., доцент кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения,  
Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев

### APPLICATION OF INTELLECTUAL POLYMER COMPOSITE MATERIALS FOR MONITORING THE STRESSED-STRAIN STATE OF ENGINEERING NETWORKS

*Abstract.* The article presents the methods of remote control of the stress-strain state of engineering networks without the absence of physical access. The method of scheduled periodic monitoring and control in real time using intelligent sensors introduced into the polymer pipeline at the production stage is considered. A method for the production of polymer pipelines with intelligent sensors using the extrusion method is considered.

**Key words:** engineering networks, pipelines, intelligent sensors, stress-strain state.

**Ivitskiy I.I.**

Ph.D., Associate Professor of Department of Chemical, polymer and silicate engineering,  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv