

**Слащук В. О.,  
Заспа Ю. П.**

Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна  
E-mail: Slashchuk\_Viktor@ukr.net

## ПОРУШЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ НОМІНАЛЬНО- НЕРУХОМОГО КОНТАКТУ ПРИ ТЕПЛОВИМУ РОЗШИРЕННІ

УДК 621.62-2:531.4:534.1:534.4:536.3

В роботі досліджений процес теплового зриву посадки теплопроводу. Акустично - емісійним методом виявлено наявність мікрозривів, що передують безпосереднім зривам. Визначені частоти коливань кріплення під час порушення цілісності номінально-нерухомого контакту. Встановлено, що частота коливань опори відрізняється від змодельованих для окремих мод коливань, що свідчить про гібридний характер коливань. Важливим чинником такої різниці є в'язка компонента тертя між трубою теплопроводу та його кріпленнями.

**Ключові слова:** зрив посадки, акустична емісія, частота коливань, моделювання.

### Вступ

Однією із основних задач трибології є дослідження реального процесу тертя та чинників, які на нього впливають. Характерною особливістю сухого тертя є наявність граничної сили зсуву, перевищення якої веде до зриву посадки, що вкрай небажано при роботі технічних систем [1, 2]. Ця проблема актуальна зокрема при експлуатації теплопроводів [3].

В процесі нагрівання метал розширюється, що призводить до «ковзання» труби теплопроводу по його кріпленнях. Коли труба розширюється то відгинає опори на які посаджена. При перевищенні можливого відхилення опори відбувається зрив посадкового контакту [4]. Динаміка такого зриву на сьогодні недостатньо досліджена.

Квазістатичність та практична відсутність сторонніх шумів дає можливість використати в цій задачі акустично-емісійний метод дослідження [5, 6, 7], що дозволяє проводити аналіз динамічної контактної взаємодії в реальному масштабі часу. Перевагами такого методу також є відсутність контакту з елементами, що потребують дослідження, висока точність результатів при відсутності механічних елементів приводу.

Метою роботи є встановлення фізичних механізмів порушення цілісності номінально-нерухомого контакту при тепловому зриві.

### Результати досліджень

Для дослідження була обрана ділянка теплопроводу довжиною 3 метри. Теплопровід складався з труби діаметром 50 мм. Через кожні 1,5 м в стіну були вбиті опори циліндричної форми діаметром 9 мм. На рис. 1 показана ділянка теплопроводу.

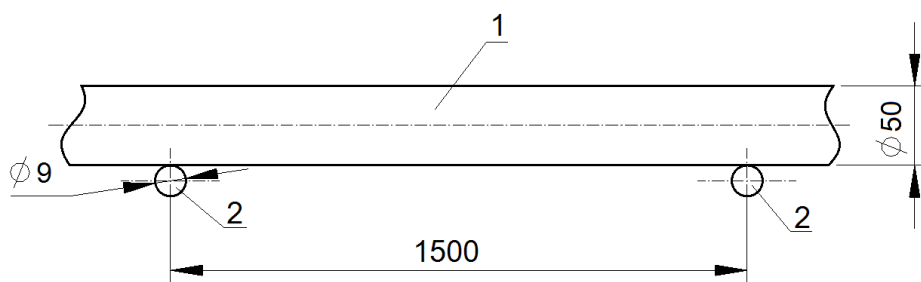
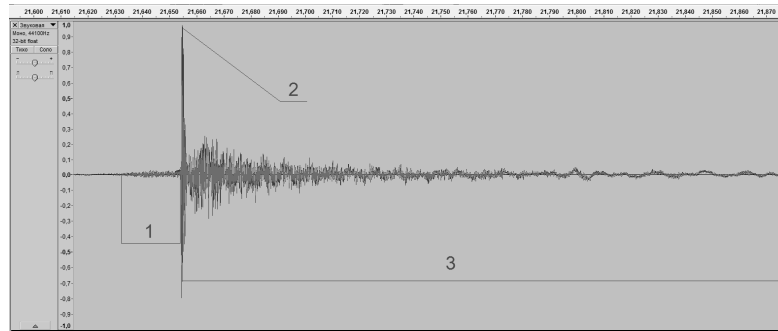


Рис. 1 – Схема теплопроводу:

1 – труба;  
2 – опори

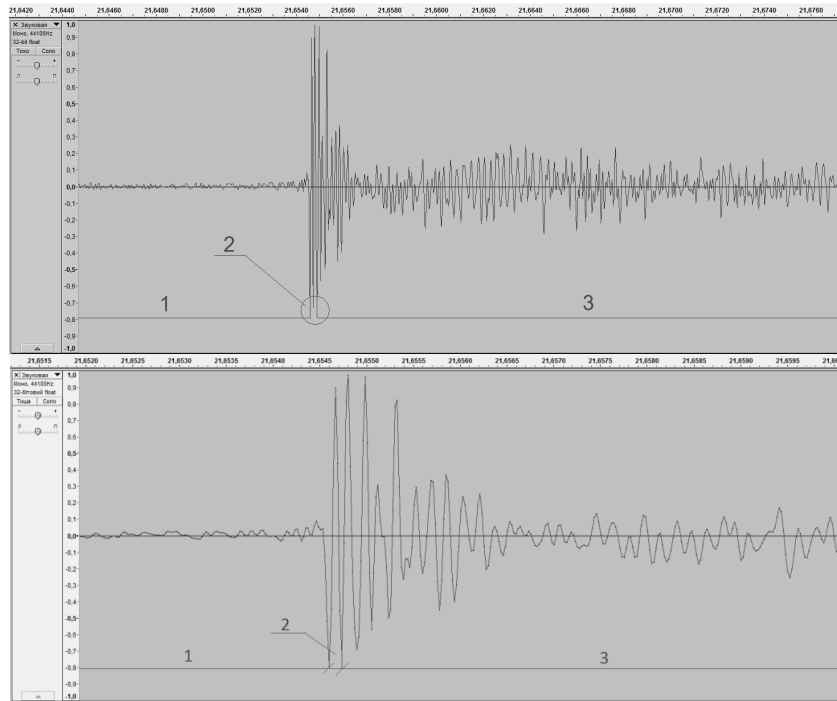
Квазістатичний та тепловий характер приводу дозволяє за допомогою акустично-емісійного методу зареєструвати мікрозриви на окремих локальних плямах контакту, які передують локальному зриву. В ході експерименту був виявлений відносно тривалий етап мікрозривів посадки на плямах реального дотику, що передре кожному зриву. Цей етап характеризується відносно низьким рівнем акустичної емісії. Його тривалість в на два порядки перевищує тривалість зриву. Як було встановлено етап мікрозривів складається з множини процесів поступового зменшення міцності та закінчується розривом контакту, що має ударний характер. На рис. 2 показано загальний вигляд акустограми досліджуваного процесу.



**Рис. 2 – Акустограма:**  
зона 1 – етап мікрозривів;  
зона 2 – зрив;

зона 3 – акустичні контактні-наведені коливання теплопроводу

При збільшенні масштабу видно, що тривалість етапу мікрозривів становить в середньому  $2,5 \cdot 10^{-2}$  с, а глобального зриву  $\approx 1 \cdot 10^{-4}$  с. Тобто, безпосередній зрив займає менше одного відсотка від процесу зриву контакту. На рис. 3 показаний момент зриву при більшому масштабі.



**Рис. 3 – Акустограма із збільшеним масштабом:**  
зона 1 – етап мікрозривів;  
зона 2 – зрив;

зона 3 – акустичні контактні-наведені коливання теплопроводу

Спеціально слід відмітити значну асиметрію етапів навантаження та релаксації. Швидкість квазістатичного навантаження, як слідує з рисунку 4, складає порядку  $10^{-5}$  м/с (відношення оціночної амплітуди деформації опори  $\Delta X \approx 10^{-5}$  м до часу навантаження  $\Delta t_{load}$  порядку  $\approx 1$  с), в той час як швидкість релаксації  $\approx 10^{-1}$  м/с. Це ілюструє специфіку порушення цілісності номінально-нерухомого контакту в процесі швидкого в'язкопластичного зриву після перевищення граничної сили зсуву.

Результати експерименту свідчать про суттєво нестационарний характер сухого тертя в умовах нарощування сили зсуву. Перехід від часткового до глобального контактного проковзування супроводжується процесами ударного характеру напруженої опори по теплопроводу. Наявність такого удару свідчить про недостатню демпфуючу здатність сухого тертя, а також неадекватність апріорного обмеження форми руху елементів номінально-нерухомого з'єднання в момент порушення цілісності при тепловому зриві.

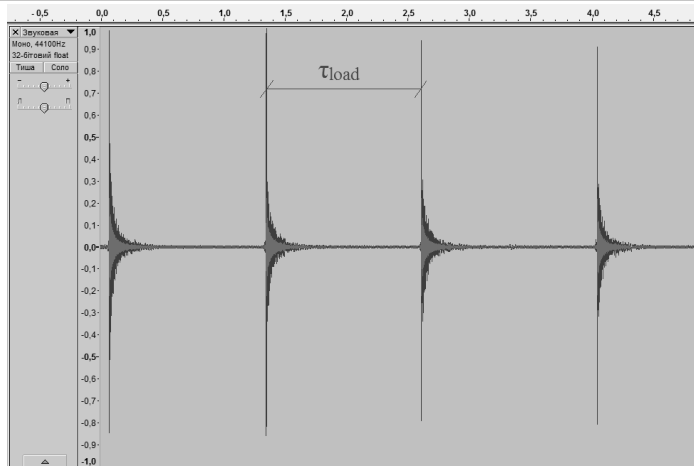


Рис. 4 – Акустограма з серією зривів

Після зриву опора починає коливатись з частотою 6460 Гц, що можна побачити на спектрограмі (рис. 5).

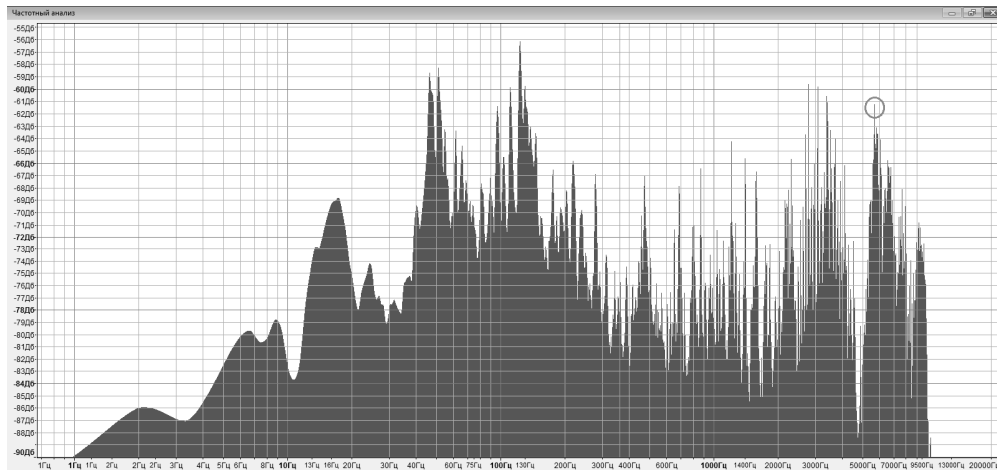


Рис. 5 – Спектрограма зриву

Була проведена симуляція коливань опри теплопроводу в системі аналізу конструкцій SolidWorks Simulation. Частоти коливань отримані при симуляції відрізняються від отриманих при дослідженні. На рис. 6 показані форми коливання опори.



Рис. 6 – Форми коливань опори теплопроводу  
а – перша форма коливання;  
б – друга форма коливань

Частоти коливань симуляції та експериментальних даних наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Частоти коливань		
Перша форма, Гц	Друга форма, Гц	Експеримент, Гц
2217,8	12924	6460

Отримані в ході експерименту дані відрізняються від змодельованих в SolidWorks Simulation, тому що система аналізу не враховує поєднання форм коливання опори. Тобто в реальних умовах (не симуляція) опора починає коливатися в гібридній формі, яка поєднує в собі форму згину та форму кручення. На цю гібридну форму коливань впливає багато чинників [8] і їх неможливо адекватно врахувати при моделюванні.

Серед цих чинників одним із основних є в'язкість контактної шару, яка суттєво залежить від температури та реального тиску на плямах контакту. Виходячи з частоти другої форми коливання опори, середня в'язкість контактної шару на етапі релаксації оцінюється величиною порядку  $10^6$  Па·с, що близько до динамічної в'язкості фрикційного контакту, отриманої методом згасаючих коливань в роботі 9.

### Висновки

Встановлено, що в процесі теплового зриву порушення контакту проходить в два етапи: етап мікрозривів, глобальний зрив. Тривалість першого етапу на 2 порядки величини перевищує тривалість другого. Виявлена різниця в частотах коливань форми опори та змодельованих форм, ця різниця пояснюється гібридним характером коливань та впливом динамічної в'язкості граничного контактної шару на частоти коливань опори.

### Література

1. Артамонов Є. Б. Моделювання систем визначення місця пошкодження теплопроводу // Математичні машини і системи. – 2013. – № 3. – С. 156-161.
2. Малявіна О. М. Статистичне моделювання показників надійності теплопроводів і трубопроводів гарячого водопостачання теплових мереж // Энергосбережение • Энергетика • Энергоаудит. – 2010, №12 (82). – С. 48 - 54.
3. Копсов А. Я. Численное моделирование собственных колебаний трубопроводов ТЭС и АЭС / А. Я. Копсов, Ю. В. Коломцев, С. Я. Красновський, Л. Б. Маслов, В. И. Шапин, И. А. Белов // «Вестник ИГЭУ». – 2005, Вып. 1. – С. 1-5.
4. Дацишин О. П. Розрахункові моделі механіки руйнування для оцінювання довговічності твердих тіл при їх циклічній контактній взаємодії: автореферат дис. д. т. наук : 01.02.04 / Дацишин О. П., НАН України. – Львів, 2007. – С. 3-5.
5. Німченко Т. В. Застосування акустичної емісії як одного з засобів технічного захисту // Вісник НТУ «ХП» 2015. – №21(1130). – С. 50-56.
6. Чернявський В. М. Результати застосування методу акустичної емісії для діагностування стану зразків овт в експлуатації / В. М. Чернявський, Р.М. Джус, С.В. Степанов // Системи озброєння і військова техніка. – 2011, № 4(28). – С. 105-108.
7. Попович О. В. Аналіз акустичних методів ідентифікації та визначення параметрів дефектів металоконструкцій / О. В. Попович, М. О. Карпаш // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2014. – № 2(51). – С. 141-148.
8. Басюк Б. И. Теория феномена Рийке в системе с сосредоточенными параметрами / Б. И. Басюк, В. В. Голуценко // Акустичний вісник. – 2010. – Том №13 – № 3. – С. 3-8.
9. Костогриз С. Г. Визначення динамічної в'язкості номінально нерухомого фрикційного контакту при вібронавантаженні / С. Г. Костогриз, Ю. І. Шалапко, В. О. Слащук, О. О. Слащук // Проблеми трибології. – 2015. – № 4. – С. 27-31.

Поступила в редакцію 17.06.2016

---

Slashchuk V.O. Zaspа Yu.P. **Violation of integrity nominally-fixed contact the by thermal breakdown.**

Abstract - In this work the process of thermal breakdown landing thermal conductivity. By the acoustic-emission method revealed the presence of micro disruption prior direct disruption. Defined oscillation frequency when mounting violations of integrity nominally-fixed contact. Established that the oscillation frequency of support differs from the simulated fluctuations for certain events, indicating that the hybrid nature of the oscillations. An important factor in this difference is the viscous component of the friction between the pipe thermal conductivity and its attachments.

**Keywords:** loss of contact, acoustic emission, oscillation frequency, modeling.

### References

1. Artamonov Ie. B. Modeliuvannya system vyznachennia mistsia poshkodzhennia teploprovodu. Matematychni mashyny i systemy, 2013, № 3. S. 156-161.
2. Maliavina O. M. Statystychno modeliuvannya pokaznykiv nadiinosti teploprovodiv i truboprovo-div hariachoho vodopostachannia teplovykh mrezh. Enerhosberezhenye • Enerhetyka • Enerhoaudyt, 2010, №12 (82). S. 48 – 54.
3. Kopsov A. Ia. Chyslenoe modelyrovanye sobstvennykh kolebaniy truboprovodov TЭС y AЭС / A. Ia. Kopsov, Iu. V. Kolomtsev, S. Ia. Krasnovskiy, L. B. Maslov, V. Y. Shapyn, Y. A. Belov. «Vesnyk YHЭУ», 2005, №. 1. S. 1-5.
4. Datsyshyn O. P. Rozrakhunkovi modeli mekhaniky ruinuvannya dlia otsiniuvannya dovhovichnosti tver-dykh til pry yikh tsyklichnii kontaktii vzaiemodii: avtoreferat dys. d. t. nauk : 01.02.04., NAN Ukrainy – Lviv, 2007. S. 3-5.
5. Nimchenko T. V. Zastosuvannya akustychnoi emisii yak odnogo z zasobiv tekhnichnogo zakhystu. Visnyk NTU “KhPI” 2015. №21(1130). S. 50-56.
6. Cherniavskiy V. M. Rezultaty zastosuvannya metodu akustychnoi emisii dlia diahnostuvannya stanu zrazkiv ovt v ekspluatatsii. V. M. Cherniavskiy, R.M. Dzhus, S.V. Stepanov. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika, 2011, № 4(28) S. 105-108.
7. Popovych O. V. Analiz akustychnykh metodiv identyfikatsii ta vyznachennia parametriv defektiv metalokonstruktsii. O. V. Popovych, M. O. Karpash. Rozvidka ta rozrobka naftovykh i hazovykh rodovyshch, 2014, № 2(51). S. 141-148.
8. Basiuk B. Y. Teoryia fenomena Ryike v systeme s sosredotochennyu parametramy. B. Y. Basiuk, V. V. Holutsenko. Akustychnyi visnyk. 2010. Tom №13. N 3. S. 3-8.
9. Kostohryz S. H. Vyznachennia dynamichnoi v'iazkosti nominalno nerukhomoho fryktsiinoho kontaktu pry vibronavantazhenni. S. H. Kostohryz, Iu. I. Shalapko, V. O. Slashchuk, O. O. Slashchuk. Problemy trybolohii. 2015, № 4. S. 27-31.