

ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМ КОЛИВАНЬ МОДЕЛІ ТРУБОПРОВІД-РІДИНА З ШВИДКІСНОЮ
ТЕЧІЄЮ РІДИНИ ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ЗАКРІПЛЕННЯ ТРУБОПРОВОДУ

Ковальчук О.П., Національний транспортний університет, Київ, Україна

RESEARCH MODEL FORMS OF VIBRATIONS PIPELINE-LIQUID WITH HIGH-SPEED FLUID
FLOW AT DIFFERENT WAYS CONSOLIDATION OF PIPELINE

Kovalchuk O.P., National Transport University, Kyiv, Ukraine

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ КОЛЕБАНИЙ МОДЕЛИ ТРУБОПРОВОД-ЖИДКОСТЬ
СО СКОРОСТНЫМ ТЕЧЕНИЕМ ЖИДКОСТИ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА

Ковальчук О.П., Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Постановка задачі.

Розглядаються питання побудови моделі для задачі про трубопровід з рухомою рідиною при різних способах закріплення кінців трубопроводу.

Вважаємо, що рух рідини заданий, рідина ідеальна, а труба буде розглядатись на основі балочної моделі. Також будемо вважати, що труба є достатньо довгою по відношенню до її діаметру. Важливо відмітити, що якщо початкові збурення в системі лежать в одній площині, то і в подальшому рух системи буде відбуватись тільки в цій площині.

В статті досліджено поведінку трубопроводу при швидкісній течії на основі нелінійної моделі, побудова якої базується на основі варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського. Важливим моментом є те, що вихідна система для випадку нелінійної моделі вимагає мішаного опису її компонент. Оскільки рідина має бути описана в змінних Ейлера, а трубопровід в змінних Лагранжа, то функція Лагранжа для варіаційного принципу Гамільтона-Остроградського матиме вигляд:

$$\begin{aligned} L = & \frac{1}{2} \mu \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 dx + \frac{1}{4} \mu \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right)^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx - \frac{1}{2} EJ \int_0^l \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^2 dx - \\ & - \frac{1}{4} EJ \int_0^l \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx - \frac{1}{2} EF \int_0^l u'^3 u dx + \frac{1}{4} \rho V^2 \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx - \\ & - \frac{1}{16} \rho V^2 \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^4 dx + \frac{1}{2} \rho \int_0^l \left(\frac{du}{dt} \right)^2 dx + \frac{1}{4} \rho \int_0^l \left(\frac{du}{dt} \right)^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx + \\ & + \rho V \int_0^l \frac{\partial u}{\partial x} \frac{du}{dt} dx + \frac{1}{2} PF \int_0^l \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 dx + \frac{1}{2} \rho V^2 \int_0^l dx. \end{aligned} \quad (1)$$

Динамічна модель базується на основі сукупного використання принципу Гамільтона-Остроградського та методу модальної декомпозиції, тому для подальшого спрощення моделі скористасємось методом представлення розв'язку через форми коливань

$$u = \sum_i c_i(t) A_i(x),$$

де $c_i(t)$ – амплітудні параметри коливань, що залежать від часу; $A_i(x)$ – форми коливань, які є повною ортогональною системою функцій.

Побудовано рівняння Лагранжа другого роду для функції Лагранжа (1). Після розв'язання системи рівнянь відносно других похідних амплітудних параметрів, яке робиться на основі методів

нелінійної механіки з використанням тієї властивості, що система рівнянь відносно амплітудних параметрів містить лише члени першого і третього порядків малості, а члени другого порядку малості відсутні, одержимо рівняння руху системи у вигляді

$$\begin{aligned}
 \ddot{c}_r = & -\frac{EJ}{\rho+\mu} \kappa_r^4 c_r + \frac{7}{2} \frac{\rho V^2}{(\rho+\mu)N_r} \sum_i c_i \beta_{ir}^2 + \frac{2\rho V}{(\rho+\mu)N_r} \sum_i \dot{c}_i (\beta_{ri}^1 - \beta_{ir}^1) \\
 & - \frac{PF}{(\rho+\mu)N_r} \sum_i c_i \beta_{ir}^2 - \frac{2\rho \dot{V}}{(\rho+\mu)N_r} \sum_i c_i \beta_{ir}^2 - \frac{13}{4} \frac{\rho V^2}{(\rho+\mu)N_r} \sum_{ijk} c_i c_j c_k d_{ijk}^4 - \\
 & - \sum_{ijk} \dot{c}_i \dot{c}_j c_k \frac{1}{N_r} \left(d_{jkir}^2 - \frac{1}{2} d_{krij}^2 \right) - \frac{EJ}{(\rho+\mu)N_r} \sum_{ijk} c_i c_j c_k d_{ijkl}^6 - \\
 & - \frac{2EF}{(\rho+\mu)N_r} \sum_{ijk} c_i c_j c_k d_{ijk}^3 - \frac{1}{2N_r} \sum_{pjk} c_j c_k \left(-\frac{EJ}{(\rho+\mu)} \kappa_p^4 c_p + \right. \\
 & + \frac{7}{2} \frac{\rho V^2}{(\rho+\mu)N_p} \sum_i c_i \beta_{ip}^2 + \frac{2\rho V}{(\rho+\mu)N_p} \sum_i \dot{c}_i (\beta_{pi}^1 - \beta_{ip}^1) - \\
 & \left. - \frac{PF}{(\rho+\mu)N_p} \sum_i c_i \beta_{ip}^2 - \frac{2\rho \dot{V}}{(\rho+\mu)N_p} \sum_i c_i \beta_{ip}^2 \right) \quad (2)
 \end{aligned}$$

де EJ – згинна жорсткість балки; F – площа поперечного перерізу труби; ρ – лінійна густина рідини; μ – лінійна густина матеріалу балки; P – внутрішній тиск у трубі; l – довжина балки.

Система рівнянь (2) є рівняннями нелінійної дискретної моделі системи трубопровід – рідина в амплітудних параметрах.

Ці рівняння легко зводиться до форми Коші, що надалі дозволяє використати чисельні методи для дослідження перехідних режимів руху. На основі розвинутого підходу було досліджено поведінку труби з рідиною при різних швидкостях течії рідини.

Маємо граничні умови, які відповідають постановці задачі про визначення форм коливань системи:

$$u = 0, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad \text{при } x=0 \text{ і } x=l \text{ відповідають шарнірному опираючому;}$$

$$u = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad \text{при } x=0 \text{ і } x=l \text{ відповідають консольному защемленню;}$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0, \quad \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0 \quad \text{при } x=l \text{ відповідають вільному краю балки.}$$

Чисельне моделювання. Розглядається система трубопровід-рідина, при швидкості течії $V = 0,5V_{kr}$. Вважаємо, що рух трубопроводу мав початкове збурення за законом $c_2(0) = 0,02l$.

Розглянемо випадки: консоль, консоль-шарнір, шарнір-шарнір, консоль-консоль. Виконаємо розрахунки для труби з алюмінію довжиною 1м. На рисунку 1а, показано закон зміни амплітуди першої форми коливань, на рисунку 1б і 1в закон зміни амплітуди другої і третьої форми коливань відповідно, де тонка лінія відповідає консольному закріпленню, товста лінія – консоль-шарнір, штрих-пунктирна тонка відповідає закріпленню шарнір-шарнір і штрих-пунктирна товста – випадок двобічного консольного закріплення.

З рисунків видно, що ефект перекачки енергії в амплітуди форми коливань стає все більш помітним. Подібні явища ми спостерігаємо і при дослідженні всіх варіантів закріплення

трубопроводу. При дослідженні цих чотирьох випадків закріплення випадків бачимо, що такі загальні тенденції системи зберігаються і надалі.

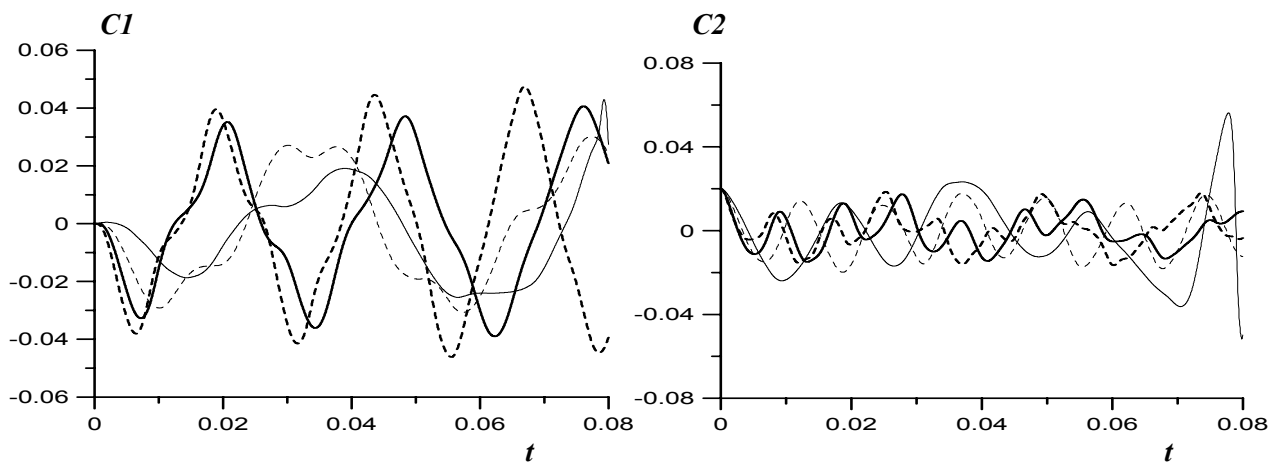


Рисунок 1, а

Рисунок 1, б

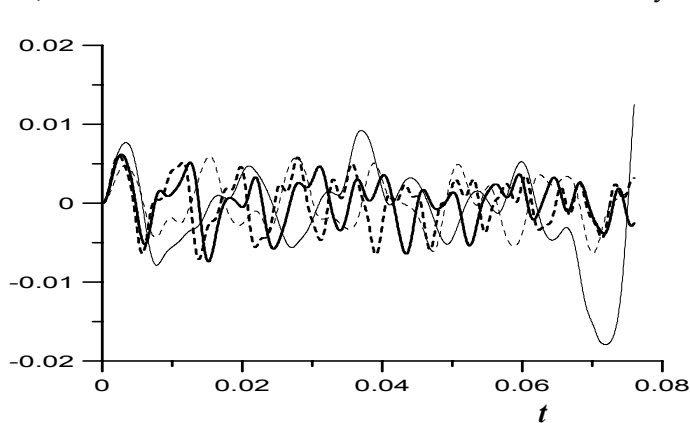


Рисунок 1, в

Висновки. Вирішальним у поведінці трубопроводу – рідини, незалежно від способу закріплення, є наближення швидкості течії рідини до критичної. При швидкостях, які наближені до половини критичної швидкості, спостерігається цілеспрямований енергообмін в системі, який приводить до зростання початкових збурень в часі, який може привести до небезпечних ситуацій. Найбільш складно і з більшими амплітудами ці явища проявляються для закріплень з вільними краями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Василевский Ю.Е., Лимарченко О.С. Нелинейная модель динамики трубопровода при скоростном течении жидкости // Комплексний аналіз і течії з вільними границями, Збірник праць Інституту математики НАН України. – Київ: Інститут математики НАН України. —2006. — 2, №4. — С. 322-334.
2. Бондарь Н.Г. Нелинейные автономные задачи механики упругих систем. – Киев, Будивельник, 1971. –140 с.
3. Кильчевский Н.А. Курс теоретической механики, том 2. – М.: Наука, 1977. – 544 с.

REFERENCES

1. Vasilevskij Ju.E., Limarchenko O.S. Nelinejnaja model' dinamiki truboprovoda pri skorostnom tečenii zhidkosti // Kompleksnij analiz i techii z vil'nimi granicjami, Zbirnik prac' Institutu matematiki NAN Ukraïni. – Kiïv: Institut matematiki NAN Ukraïni. —2006. — 2, №4. — S. 322-334. (Rus)
2. Bondar' N.G. Nelinejnye avtonomnye zadachi mehaniki uprugih sistem. – Kiev, Budivel'nik, 1971. –140 s. (Rus)
3. Kil'chevskij N.A. Kurs teoreticheskoi mehaniki, tom 2. – M.: Nauka, 1977. – 544 s. (Rus)

РЕФЕРАТ

Ковальчук О.П. Дослідження форм коливань моделі трубопровід-рідина з швидкісною течією рідини при різних способах закріплення трубопроводу / О.П. Ковальчук // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2015. – Вип. 1 (31).

Розглянуто задачу нелінійної динаміки трубопроводу з рідиною. Трубопроводи з рідиною є складовою багатьох інженерних систем. Ми розглядаємо трубопровід при різних закріпленнях, який перебуває під дією швидкісної течії рідини. Коли швидкість рідини наближається до критичної, енергія рідини може перерозподілитись, і тоді коливання трубопроводу можуть збільшитись. Це може призвести інколи і до руйнування трубопроводу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: КРИТИЧНА ШВИДКІСТЬ, ТРУБОПРОВІД, РІДИНА, ЕНЕРГІЯ РІДИНИ.

ABSTRACT

Kovalchuk O.P. Research model forms of vibrations pipeline-liquid with high-speed fluid flow at different ways consolidation of pipeline. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2015. – Issue 1 (31).

The task of nonlinear dynamics of pipeline is considered with a liquid Pipelines with a liquid are the constituent of many engineering systems. We examine a pipeline at the different fixings which is under the action of speed flow of liquid. When speed of liquid approaches critical, energy of liquid can redistribute, then vibrations of pipeline can increase. Sometimes this can results in destruction of pipeline.

KLJUCHOVI SLOVA: KRITICHNA SHVIDKIST, TRUBOPROVID, RIDINA, ENERGIJA RIDINI.

РЕФЕРАТ

Ковальчук О.П. Исследование форм колебаний модели трубопровод-жидкость со скоростным течением жидкости при различных способах крепления трубопровода / О.П. Ковальчук // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2015. – Вып. 1 (31).

Рассмотрена задача нелинейной динамики трубопровода с жидкостью. Трубопроводы с жидкостью являются составляющей многих инженерных систем. Мы рассматриваем трубопровод при различных закреплениях, находящийся под действием скоростного течения жидкости. Когда скорость жидкости приближается к критической, энергия жидкости может перераспределиться, и тогда колебания трубопровода могут увеличиться. Это может привести, иногда, и к разрушению трубопровода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: КРИТИЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ, ТРУБОПРОВОД, ЖИДКОСТЬ, ЕНЕРГІЯ ЖИДКОСТИ.

АВТОР:

Ковальчук Оксана Петрівна, асистент кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, kovalchuk_or@mail.ru, 0968349605, Київ, Україна, вул. Суворова 1.

AUTHOR:

Kovalchuk Oksana Petrovna, Department of Systems and Technologies ynformatsiynyh National Transport University, kovalchuk_or@mail.ru, 0968349605, Kyiv, Ukraine, Suvorov 1

АВТОР:

Ковальчук Оксана Петровна, ассистент кафедры информационных систем и технологий Национального транспортного университета, kovalchuk_or@mail.ru, 0968349605, Киев, Украина, ул. Суворова 1

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Баранов Г.Л., професор кафедри інформаційних систем і технологій Національного транспортного університету, доктор технічних наук, професор.

Безверхий О.І., д.ф.-м.н, професор, Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України, вул. Нестерова, 3, Київ.

REVIEWER:

Baranov GL, Professor of Information Systems and Technology NTU, PhD, Professor.

Bezverkhyy O.I., d. F.-M. Mr. Professor, Institute of Mechanics. SP Timoshenko National Academy of Sciences of Ukraine, ul. Nesterov, 3, Kyiv.