

Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

УДК 622.692; 539.3

DOI: 10.31471/2304-7399-2020-1(59)-123-133

СТАТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ ТА ПОЗДОВЖНІ КОЛИВАННЯ ПІДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДУ, СПОРУДЖЕНОГО НА БЛОЧНІЙ ОСНОВІ

А. Б. Струк¹, М. І. Васьковський², І. П. Шацький³, М. В. Маковійчук³

¹НВЦ технічної діагностики “Техдіагаз”; вул. Січинського, 3В,
м. Івано-Франківськ, 76011, Україна;
тел. (097)9313537; e-mail: andrij_struk@ukr.net;

²АТ “НАК “Нафтогаз України”; вул. Б. Хмельницького, 6, м. Київ,
01601, Україна; тел. (099)6586001, e-mail: Vaskovskyi@naftogaz.com;

³Івано-Франківський відділ Інституту прикладних проблем механіки і
математики ім. Я. С. Підстригача НАН України;
вул. Микитинецька, 3, м. Івано-Франківськ, 76002, Україна;
тел. (099)4444967, e-mail: ipshatsky@gmail.com, makoviy@ua.fm

У статті розглядаються питання прогнозування міцності підземних трубопроводів, які експлуатуються на сейсмоактивних ділянках траси, складених з відносно жорстких рухливих блоків. Як показують літературні дані, задачі про вплив взаємодії розломів основи на напружений стан трубопроводу на сьогодні не досліджені. Метою роботи є розвиток моделі для аналізу позаштатних напружень у підземному трубопроводі на пошкодженій основі, спричинених статичними або гармонічними за часом взаємними переміщення її блоків уздовж осі труби за наявності декількох розломів. Сформульовано крайові задачі для диференціальних рівнянь статичного розтягу-стиску та усталених поздовжніх коливань трубчастого стержня з розривними правими частинами. На підставі аналітичних розв'язків цих задач для випадків антисиметричного та симетричного зміщення блоків основи досліджено розподіли осьового переміщення та еквівалентного напруження в трубі, залежні від віддалі між розломами та від частоти вимушених коливань.

Ключові слова: підземний трубопровід, статика, поздовжні коливання, напруження, взаємодія розломів, переміщення блоків основи.

Вступ

Для обґрунтованого аналізу ризиків експлуатації трубопровідних систем, прокладених через території тектонічних розломів, необхідно розвивати моделі та методи розрахунку напружено-деформованого та граничного стану трубопроводів в місцях локального пошкодження основи, яка на таких проблемних ділянках структурно виглядає як система взаємно рухомих блоків. Поведінку трубопроводу в складних гірничо-геологічних умовах вивчають, залучаючи моделі механіки та реології ґрунтів, методи теорії тонких стержнів та оболонок і механіки руйнування. Незважаючи на різноманіття цих моделей, встановити величину силового навантаження на трубопровід від довколишнього ґрунту на аномальних ділянках практично не можливо [3, 7]. Іноді дослідники задовольняються теоретичними оцінками допустимих навантажень на трубопровід на зсувонебезпечних ділянках [2, 12, 14], все частіше до цих задач застосовується числовий аналіз та імітаційне моделювання [4, 13, 15].

У працях авторів [8, 9] запропоновано методику аналітичної оцінки позаштатних статичних напружень у трубопроводі за кінематичними параметрами локалізованих порушень цілісності основи. Досліджено вплив статичних розривів переміщень та кутів повороту на поодинокому розломі для безмежного трубопроводу [8, 9] та для трубопроводу з анкерним кріпленням [13]. Пізніше цю методику розповсюдили на випадки вібрації [10, 11] та раптового руху [1] фрагментів основи обабіч ізолюваного пошкодження. Як свідчать літературні джерела, аналіз впливу декількох розломів на граничний стан підземного трубопроводу дотепер залишався поза увагою дослідників.

Мета цієї статті полягає у розвитку моделі для аналізу позаштатних напружень у підземному трубопроводі на пошкодженій основі, спричинених статичними або гармонічними за часом взаємними переміщення блоків уздовж осі труби за наявності декількох розломів. Передбачається вирішення таких задач: опис ключових гіпотез моделі, формулювання крайових задач статичного деформування та стаціонарних поздовжніх коливань трубопроводу, побудова аналітичних розв'язків задач для випадків антисиметричного та симетричного переміщення фрагментів основи, аналіз впливів віддалі між розломами, знаку розривів переміщень та частоти вимушених коливань на напружено-деформований стан труби.

Статичне деформування трубопроводу на блочній основі

Розглянемо прямолінійний трубопровід, який навантажений тиском транспортованого продукту і взаємодіє з блочною основою через шар ґрунтової засипки (рис. 1). Фрагменти пошкодженої основи обабіч розломів здійснюють переміщення вздовж осі трубопроводу. Величина та напрям цих переміщень є заданими. У цьому розділі у статичній постановці досліджуємо напруження в трубопроводі, спричинені таким кінематичним збуренням.

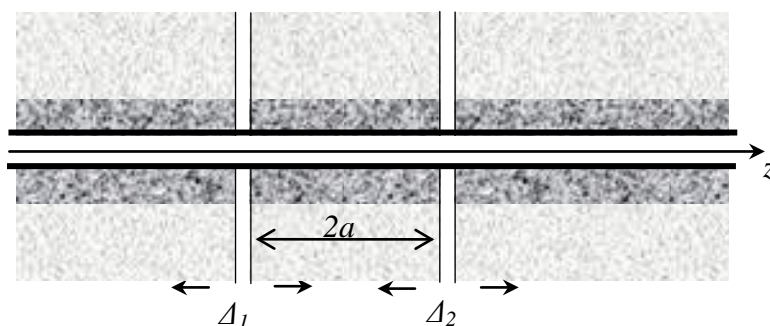


Рис. 1. Схема підземного трубопроводу на пошкодженій основі

Візьмемо за основу припущення одновимірної моделі, задекларовані в працях [8, 9], а саме: приймаємо геометрично та фізично лінійну постановку задачі; трубопровід моделюємо нескінченним прямолінійним трубчастим стержнем; блоки основи вважаємо абсолютно жорсткими; тонкий шар ґрунтової засипки підпорядковуємо гіпотезі Вінклера; кінематику взаємних переміщень фрагментів основи задаємо розривними функціями від осової координати; міцність трубопроводу оцінюємо за енергетичною теорією міцності безмоментної циліндричної оболонки, сумуючи штатні напруження від тиску та позаштатні – від кінематичного збурення.

Нехай вісь z збігається з віссю труби. Нехай іще основа розділена на три блоки пошкодженнями (розломами), розміщеними в точках $z = \pm a$. Ми сформулювали крайову задачу статичного розтягу-стиску нескінченного стержня, яка включає рівняння рівноваги з урахуванням спряження через пружний прошарок [5]:

$$\frac{d^2 u_z}{dz^2} - \lambda^2 (u_z - u_z^0) = 0, \quad -\infty < z < \infty, \quad (1)$$

та крайові умови на безмежності:

$$\frac{du_z}{dz}(\pm\infty) = 0. \quad (2)$$

Тут z – осова координата; $u_z(z)$ – осове переміщення трубопроводу; $\lambda = \sqrt{\pi D k_\tau / (EF)} \approx \sqrt{k_\tau / (Eh)}$ – коефіцієнт защемлення; EF – жорсткість труби щодо розтягу; E – модуль Юнга матеріалу труби; $F \approx \pi Dh$ – площа поперечного перерізу труби; D, h – зовнішній діаметр та товщина її стінки; k_τ – коефіцієнт зсувної жорсткості ґрунтової постелі;

$$u_z^0(z) = u_z^0(-\infty) + \Delta_1 H(z + a) + \Delta_2 H(z - a) \quad (3)$$

– задана кусково-стала функція переміщення основи; $u_z^0(-\infty)$ – переміщення крайнього лівого блоку; Δ_1, Δ_2 – стрибки переміщень блоків основи при переході через розломи $z = -a$ та $z = a$ відповідно; $H(\dots)$ –

функція Гевісайда; $2a$ – віддаль між розломами.

Детально розглядали два випадки кінематичного збурення основи обабіч розломів.

Перший варіант – антисиметричне переміщення. Нехай у формулі (3) $u_z^0(-\infty) = -\Delta$, $\Delta_1 = \Delta$, $\Delta_2 = \Delta$. Тоді вираз

$$u_z^0(z) = -\Delta + \Delta H(z+a) + \Delta H(z-a) = \Delta H(|z|-a) \operatorname{sgn} z = \frac{\Delta}{2} (\operatorname{sgn}(z+a) + \operatorname{sgn}(z-a)) \quad (4)$$

означає, що два півнескінченні фрагменти основи розступаються у різні боки на величину Δ відносно нерухомого середнього блоку, якщо $\Delta > 0$, або зближуються з середнім блоком (проникають), якщо $\Delta < 0$.

Другий варіант – симетричне переміщення. Якщо у формулі (2) $\Delta_z^0(-\infty) = 0$, $\Delta_1 = -\Delta$, $\Delta_2 = \Delta$, то

$$\begin{aligned} u_z^0(z) &= -\Delta H(z+a) + \Delta H(z-a) = -\Delta H(a-|z|) = \\ &= -\frac{\Delta}{2} (\operatorname{sgn}(z+a) - \operatorname{sgn}(z-a)), \end{aligned} \quad (5)$$

тобто середній фрагмент основи зміщений уліво на Δ відносно нерухомих крайніх.

Аналітичний розв'язок крайової задачі (1), (2) побудували за результатами праць [8, 9]. Так для антисиметричного збурення (4)

$$u_z(z) = \Delta (u_z^*(z+a) + u_z^*(z-a)), \quad (6)$$

а для симетричного збурення (5)

$$u_z(z) = -\Delta (u_z^*(z+a) - u_z^*(z-a)). \quad (7)$$

Тут $u_z^*(z) = 1 \cdot \frac{1}{2} \left(1 - \exp\left(-\frac{|z|}{\gamma_z}\right) \right) \operatorname{sgn} z$ – осьове переміщення труби,

спричинене одиничним розривом переміщень основи при $z=0$ [11, 12]; $\gamma_z = 1/\lambda \approx \sqrt{Eh/k_\tau}$ – характерний лінійний розмір системи “грунт – труба” (обернений до коефіцієнта защемлення).

За розв'язками (6) та (7) компоненти тензора напружень у тонкій стінці труби знаходимо із співвідношень:

$$\sigma_z = \nu p \frac{D}{2h} + E \frac{du_z}{dz}, \quad \sigma_\theta = p \frac{D}{2h}, \quad \tau_{z\theta} = 0, \quad (8)$$

де p – внутрішній тиск у трубопроводі; ν – коефіцієнт Пуассона матеріалу труби.

Для аналізу граничного стану труби використали енергетичну теорію міцності [5]:

$$\sigma_{eq} \equiv \sqrt{\sigma_z^2 - \sigma_z \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 + 3\tau_{z\theta}^2} \leq [\sigma], \quad (9)$$

де $\sigma_{eq}, [\sigma]$ – еквівалентне та допустиме напруження.

Числові розрахунки виконали, прийнявши для підземного магістрального трубопроводу: $D = 1420$ мм, $h = 18$ мм, $E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па,

$\nu = 0,3$, а для шару ґрунтової засипки – $k_r = 2 \text{ МПа/м}$. Внутрішній тиск p вважали таким, що створює у трубі тангенціальне напруження $\sigma_\theta = 300 \text{ МПа}$. Розрив переміщення $\Delta = D/20 = 71 \text{ мм}$ або $\Delta = -71 \text{ мм}$. Значення піввіддалі між розломами основи варіювали в долях діаметра: $a = 10D; 30D; 50D$. За формулами (6)–(9) побудували графіки статичного осьового переміщення трубопроводу та еквівалентного напруження стінці труби у разі антисиметричної (рис. 2, 3) та симетричної (рис. 4) задачі. Штриховими лініями відзначено розривні функції переміщення для основи (4), (5) та штатне еквівалентне напруження від внутрішнього тиску ($\sigma_{eq} \approx 267 \text{ МПа}$).

Бачимо, що ефекти взаємодії розломів за антисиметричного та симетричного переміщення блоків основи принципово відрізняються між собою. У разі асиметричного розвороту крайніх блоків основи зменшення віддалі між розломами супроводжується істотним зростанням еквівалентних напружень (див. рис. 2, 3). У той же час при переміщенні середнього блоку основи зближення розломів призводить загалом до зменшення напружень у трубі (див. рис. 4).

Слід звернути увагу і на те, що для трубопроводу під внутрішнім тиском розкриття розломів, яке призводить до осьового розтягу труби, є менш небезпечним, ніж зближення берегів розломів, яке веде до осьового стиску. Справді значення σ_{eq} на рис. 2 є меншими, ніж на рис. 3. Схоже порівняння стосується й еквівалентних напружень в околі правого розкритого розлому та лівого дефекту з від’ємним стрибком переміщень (див. рис. 4). Підмічений ефект пояснюється тим, що у формулі (9) важливим є знак добутку нормальних напружень: $\sigma_z \sigma_\theta > 0$ у разі додатного розриву переміщень основи та $\sigma_z \sigma_\theta < 0$ для від’ємного розриву $u_z^0(z)$.

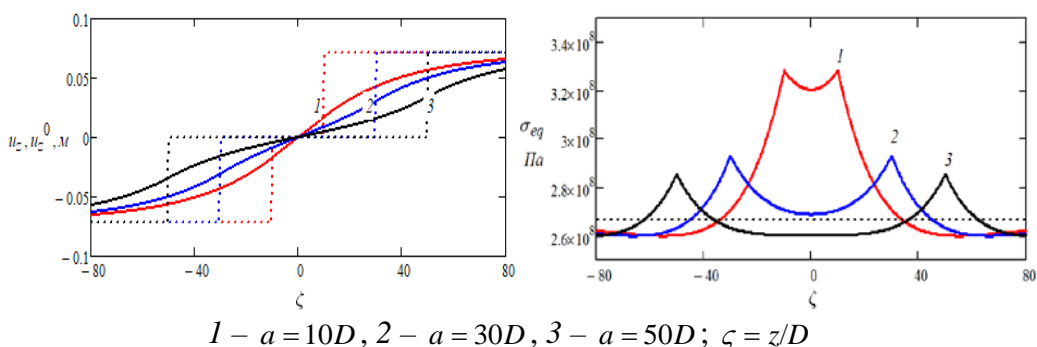


Рис. 2. Розподіл переміщення та еквівалентного напруження вздовж осі труби (статика, антисиметрична задача розходження блоків, $\Delta > 0$)

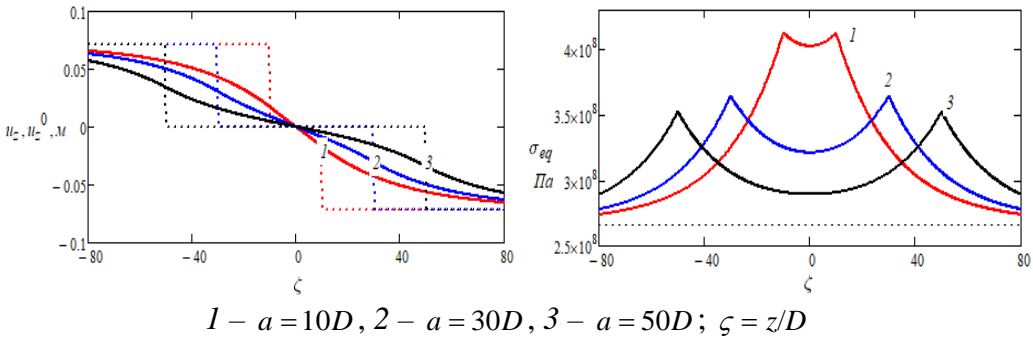


Рис. 3. Розподіл переміщення та еквівалентного напруження вздовж осі труби (статика, антисиметрична задача зближення блоків, $\Delta < 0$)

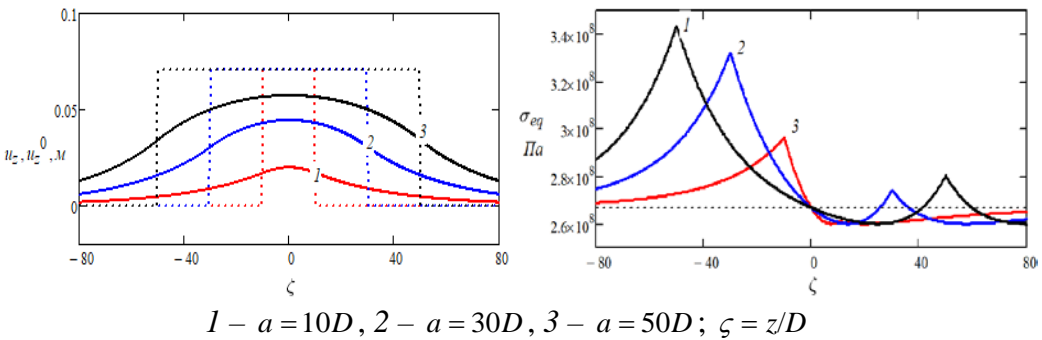


Рис. 4. Розподіл переміщення та еквівалентного напруження вздовж осі труби (статика, симетрична задача переміщення середнього блоку)

Поздовжні коливання трубопроводу на блочній основі

Розглянемо тепер усталені коливання трубопроводу, спричинені гармонічними за часом взаємними переміщеннями фрагментів пошкодженої основи. Інерцією транспортованого продукту нехтуємо порівняно з інерцією труби.

Задачу стаціонарної динаміки нескінченного стержня сформулювали без початкових умов [5]:

$$\frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} - \lambda^2 (u_z - u_z^0) = \frac{1}{c_1^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial t^2}, \quad -\infty < z < \infty, \quad t > 0, \quad (10)$$

$$\frac{\partial u_z}{\partial z} (\pm\infty) = 0, \quad t > 0. \quad (11)$$

Тут z, t – осьова координата та час; $u_z(z, t)$ – динамічне переміщення; $c_1 = \sqrt{E/\rho}$ – швидкість розповсюдження поздовжньої хвилі; ρ – густина матеріалу труби;

$$u_z^0(z, t) = (u_z^0(-\infty) + \Delta_1 H(z + a) + \Delta_2 H(z - a)) \sin \omega t$$

– задана функція переміщення основи; Δ_1, Δ_2 – амплітуди розривів переміщень блоків основи при переході через розломи $z = -a$ та $z = a$ відповідно; ω – частота вимушених коливань. Інші позначення такі, як у формулах (1), (2).

Подібно до задачі статички досліджували два варіанти збурення основи: гармонічні переміщення крайніх блоків у протифазі відносно нерухомого середнього фрагмента (антисиметрія за переміщеннями):

$$u_z^0(z, t) = \Delta H(|z| - a) \operatorname{sgn} z \sin \omega t = \frac{\Delta}{2} (\operatorname{sgn}(z + a) + \operatorname{sgn}(z - a)) \sin \omega t, \quad (12)$$

та гармонічні коливання середнього блоку відносно нерухомих крайніх (симетрія за переміщеннями):

$$u_z^0(z, t) = -\Delta H(a - |z|) \sin \omega t = -\frac{\Delta}{2} (\operatorname{sgn}(z + a) - \operatorname{sgn}(z - a)) \sin \omega t. \quad (13)$$

Для кінематичних збурень (12) та (13) отримали аналітичні розв'язки задачі динамічного розтягу-стиску –

$$u_z(z, t) = \Delta (U_z^*(z + a) + U_z^*(z - a)) \sin \omega t \quad (14)$$

та

$$u_z(z, t) = -\Delta (U_z^*(z + a) - U_z^*(z - a)) \sin \omega t \quad (15)$$

відповідно.

Тут

$$U_z^*(z) = 1 \cdot \frac{\operatorname{sgn} z}{2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)} \left(1 - \exp\left(-\sqrt{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \frac{|z|}{\gamma_z}\right)\right) \quad (16)$$

– амплітуда коливань труби для поодинокого розлому;

$$\omega_0 = \lambda c_1 = \frac{c_1}{\gamma_z} \approx \sqrt{\frac{k_\tau}{\rho h}} \text{ – частота відсікання.}$$

Зазначимо, що формула (16) є коректною в обмеженому частотному діапазоні: $\omega < \omega_0$.

Числовий аналіз амплітуди динамічних полів для різних віддалей між пошкодженнями проводили за формулами (14), (15) та (8), (9), користуючись такими самими параметрами як у статичній задачі. При $\rho = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ значення частоти відсікання становить $\omega_0 \approx 119 \text{ Гц}$.

Графіки зміни просторового розподілу переміщення труби та еквівалентного напруження в її стінці за період коливань $T = 2\pi/\omega$ при фіксованих $\omega = 20 \text{ Гц}$ та $a = 30D$ показано на рис. 5 і 6 відповідно для антисиметричної та симетричної задачі. Аналіз результатів показав, що при гармонічному збуренні осьове переміщення та осьове напруження є гармонічними функціями від часу, тоді як еквівалентне напруження є

загалом періодичною функцією від часу, яка має два локальні максимуми на періоді. Величина цих максимумів різна, тому що $u_z^0(z, t)$ змінює знак за рахунок множника $\sin \omega t$. Зазначене є наслідком нелінійності умови міцності.

Із збільшенням частоти збурення амплітуда коливань труби зростає, прямуючи до безмежності при $\omega \rightarrow \omega_0$. Найбільші значення еквівалентного напруження спостерігаємо в місцях розломів у фазі осьового стиску труби. Із збільшенням частоти коливань коефіцієнт защемлення λ зменшується, отож ширина піків напружень зростає. У свою чергу це підсилює ефект взаємодії пошкоджень за усталеної вібрації, хоча якісно він залишається таким як у задачах статички. Про це свідчать залежності коефіцієнта динамічності $k_D = \max_{z,t} \sigma_{eq}^{dun} / \max_z \sigma_{eq}^{cm}$ від частоти вимушених коливань, побудовані на рис. 7, 8 для різних віддалей між розломами.

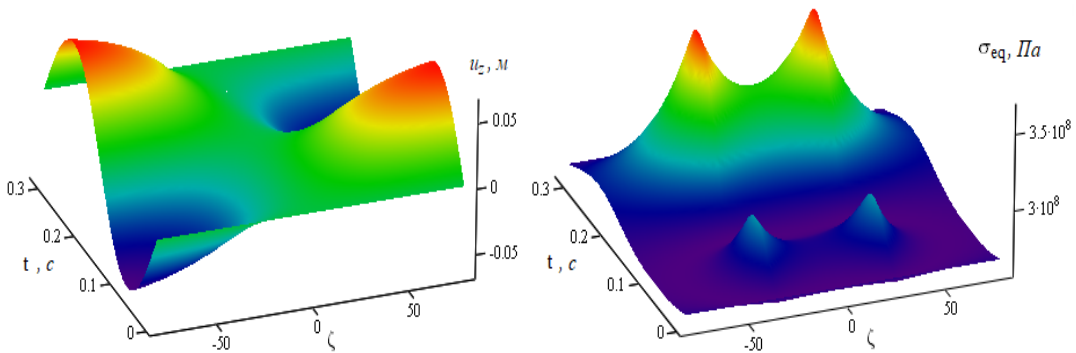


Рис. 5. Просторово-часовий розподіл осьового переміщення та еквівалентного напруження (коливання, антисиметрична задача); $\zeta = z/D$

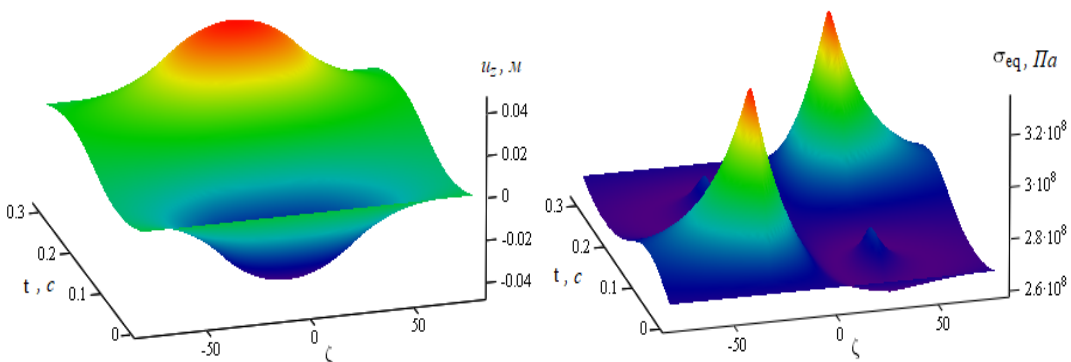
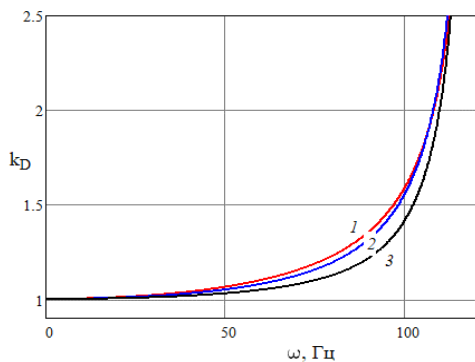
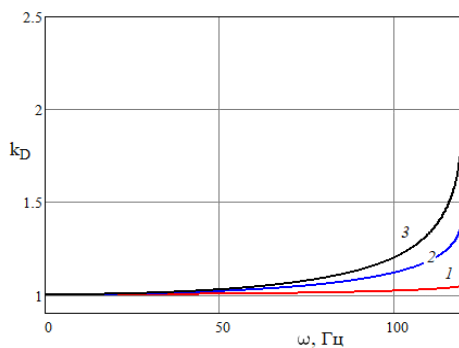


Рис. 6. Просторово-часовий розподіл осьового переміщення та еквівалентного напруження (коливання, симетрична задача); $\zeta = z/D$



1 – $a = 10D$, 2 – $a = 30D$, 3 – $a = 50D$

Рис. 7. Частотні залежності коефіцієнта динамічності (антисиметрична задача)



1 – $a = 10D$, 2 – $a = 30D$, 3 – $a = 50D$

Рис. 8. Частотні залежності коефіцієнта динамічності (симетрична задача)

Висновки

Розроблена модель деформування підземного трубопроводу на пошкодженій основі дозволяє оцінити кінематику, напружено-деформований та граничний стан труби за заданими параметрами статичного та вібраційного переміщення фрагментів блочної основи вздовж осі труби.

За розв'язками задач статичного та динамічного деформування встановлено, що зближення пошкоджень основи призводить до збільшення еквівалентних напружень у трубі у разі антисиметричного переміщення блоків основи та до їх зменшення при симетричному кінематичному збуренні. Найбільших значень еквівалентні напруження досягають в околі розломів за локального осьового стиску трубопроводу. Коефіцієнт динамічності напружень зростає із збільшенням частоти гармонічних коливань, прямуючи до безмежності в околі частоти відсікання. Значення частоти відсікання залежить лише від жорсткості шару ґрунтової засипки, від густини матеріалу труби та від товщини її стінки.

Проведені дослідження доцільно розповсюдити на задачі нестационарної динаміки трубопроводів, споруджених на блочній основі, взявши за основу підхід, запропонований у праці [1] для задач раптового скруту.

Література

1. Васьковський М. І. Динамічний скрут підземного трубопроводу від раптового повороту фрагмента основи / М. І. Васьковський // Нафтогазова енергетика. – 2020. – Т. 33, № 1. – С. 66–72.
2. Крижанівський Є. І. Оцінка допустимих навантажень на трубопровід

- у зоні сповзань ґрунту / Є. І. Крижанівський, В. П. Рудко, І. П. Шацький // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 98–100.
3. Мазур И. И. Безопасность трубопроводных систем / И. И. Мазур, О. М. Иванцов. – М.: ИЦ „ЕЛИМА”, 2004. – 1104 с.
 4. Орыняк И. В. Проблема больших перемещений подземных трубопроводов. Сообщ. 1. Разработка численной процедуры / И. В. Орыняк, А. В. Богдан // Пробл. прочности. – 2007. – № 3. – С. 51–74.
 5. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела / Ю. Н. Работнов. – М.: Наука, 1988. – 712 с.
 6. Струк А. Б. Напруження у підземному трубопроводі від пошкодження основи поблизу анкерного кріплення / А. Б. Струк // Нафтогазова енергетика. – 2019. – Т. 32, № 2. – С. 53–60.
 7. Харионовский В. В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов / В. В. Харионовский. – М.: Недра, 2000. – 467 с.
 8. Шацький І. П. Деформування підземного трубопроводу в місцях локального руйнування основи / І. П. Шацький, А. Б. Струк // Доп. НАН України. – 2009. – № 12. – С. 69–74.
 9. Шацький І. П. Напружений стан трубопроводу в зонах локального руйнування ґрунту / І. П. Шацький, А. Б. Струк // Пробл. прочности. – 2009. – № 5. – С. 127–133.
 10. Shatskyi I. Static and dynamic stresses in pipeline built on damaged foundation / I. Shatskyi, A. Struk, M. Vaskovskyi // Trans. VŠB – TU Ostrava, Civ. Eng. Ser. – 2017. – Vol. 17, Issue 2. – P. 119–124.
 11. Shatskyi I. Cyclic straining of pressurized buried pipeline crossing the fault / I. Shatskyi, M. Vaskovskyi, V. Aksionov, T. Venhrynyuk // Proc. 22nd Int. Sci. Conf. “МЕХАНИКА 2017” (19 May 2017, Kaunas, Lithuania). – Kaunas, 2017. – P. 351–354.
 12. Trifonov O. V. Elastoplastic stress-strain analysis of buried steel pipelines subjected to fault displacements with account for service loads / O. V. Trifonov, V. P. Cherniy // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2012. – Vol. 33, Issue 1. – P. 54–62.
 13. Vazouras P. Mechanical behavior of buried pipes crossing active strike-slip faults / P. Vazouras, S. A. Karamanos, P. Dakoulas // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2012. – Vol. 61. – P. 164–180.
 14. Velychkovych A. S. Analytical model of oil pipeline overground transitions, laid in mountain areas / A. S. Velychkovych, A. V. Andrusyak, T. O. Pryhorovska, L. Y. Ropyak // Oil & Gas Science and Technology. – Rev. IFP Energies nouvelles. – 2019. – Vol. 74, Article Number 65.
 15. Zhang J. Finite element analysis of wrinkling of buried pressure pipeline under strike-slip fault / J. Zhang, Z. Liang, C. J. Han // Mechanika. – 2015. – Vol. 21, Issue 3. – P. 31–36.

Стаття надійшла до редакційної колегії 13.10.2020 р.

**STATIC STRAINING AND LONGITUDINAL OSCILLATIONS
OF UNDERGROUND PIPELINE BUILT ON BLOCK FOUNDATION**

A. B. Struk¹, M. I. Vaskovskiy², I. P. Shatskyi³, M. V. Makoviichuk³

¹*TC of Technical Inspection “Techdiagaz”; Sichunskoho Str., 3V, Ivano-Frankivsk, 76011, Ukraine; ph. (097)9313537; e-mail: andrij_struk@ukr.net;*

²*SC “NSC “Naftogaz of Ukraine”; B.Khmelnyskoho Str. 6, Kyiv, 01601, Ukraine; ph. (099 6586001; e-mail: Vaskovskiy@naftogaz.com;*

³*Ivano-Frankivsk Branch of Pidstryhach-Institute for Applied Problems in Mechanics and Mathematics of NAS of Ukraine;*

Mykytynetska Str., 3, Ivano-Frankivsk, 76002, Ukraine;

ph. (099)4444967; e-mail: ipshatsky@gmail.com, makoviy@ua.fm

The article considers the issues of forecasting the strength of underground pipelines, which are operated on seismically active sections of the route, composed of relatively rigid mobile blocks. According to the literature, the problems of the influence of the interaction of base faults on the stress state of the pipeline have not been studied to date. The aim of the work is to develop a model for the analysis of abnormal stresses in the underground pipeline on a damaged basis caused by static or time-harmonious mutual movement of its blocks along the axis of the pipe in the presence of several faults. Boundary value problems for differential equations of static tensile-compression and steady-state longitudinal oscillations of a tubular rod with discontinuous right-hand sides are formulated. Based on the analytical solutions of these problems for the cases of antisymmetric and symmetric displacement of the foundation blocks, the distributions of axial displacement and equivalent stress in the pipe, depending on the distance between faults and the frequency of forced oscillations, are investigated.

Key words: *underground pipeline, statics, harmonic oscillations, stresses, fault interaction, displacement of foundation blocks.*