

УДК 624.21

**ПАРАМЕТРИЧНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ПІДПОВЕРХНЕВИХ НЕМЕТАЛЕВИХ ТРУБОПРОВОДІВ***В. В. БЕРЕКА, В. В. РУДЕНКО, П. С. РУБАЛЬСЬКИЙ,  
О. М. ПАСТУШЕНКО, О. В. ЗАСЦЬ**Науково-дослідний інститут Міністерства оборони України, Київ*

Подано параметричний метод виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів на основі органічних високомолекулярних з'єднань (поліетилену, полістиролу полівинхлориду, поліпропілену). Він ґрунтується на параметричних властивостях рідин трубопроводів, які проявляються за примусової їх поляризації поворотом магнетних осей їхніх протонів на деякий кут відносно магнетного поля Землі. Після закінчення дії імпульсу поляризації виникає прецесія осей протонів рідини у напрямку до магнетного поля Землі. Це призводить до появи магнетного поля вільної ядерної прецесії з частотою Лармора, що свідчить про знаходження прихованого підповерхневого трубопроводу з рідиною. Тривалість прецесії протонів залежить від рідини та слугує ознакою для її розпізнавання в трубопроводі.

**Ключові слова:** *неметалеві трубопроводи, параметричні властивості рідин, параметричний метод виявлення трубопроводів, тривалість прецесії протонів, частота Лармора, магнетне поле Землі.*

The self-reactance method for locating hidden subsurface non-metal pipelines made of high molecular compounds (polyethylene, polystyrene, PVC, polypropylene) is proposed. It is based on the self-reactance properties of liquids in pipelines, which appear with the forced polarization of liquid by turning the magnetic axis of the protons at some angle in relation to the magnetic field of Earth. After the polarization pulse a liquid proton axis precession starts in the direction to the magnetic field of Earth. It results in appearance of the variable magnetic field of free nuclear precession with Larmor frequency, that testifies to the location of subsurface pipeline with a liquid. Proton precession time depends on the liquid and serves as a sign for recognition of liquid type in a pipeline.

**Keywords:** *non-metal pipelines, self-reactance properties of liquids, self-reactance method of pipeline location, proton precession time, Larmor frequency, magnetic field of Earth.*

**Вступ.** На сьогодні виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів на основі органічних високомолекулярних з'єднань (поліетилену, полістиролу полівинхлориду та поліпропілену) для відновлення порушених комунікацій є актуальним та невирішеним завданням. Ці органічні високомолекулярні з'єднання мають питомий електричний опір  $10^{15} \dots 10^{17} \text{ } \Omega/\text{cm}$ , магнетну проникність  $\mu \approx 1$ , тангенс кута діелектричних втрат  $\text{tg} \delta = 0,0002 \dots 0,03$  та діелектричну проникність  $\epsilon = 2,3 \dots 4$  (табл. 1) [1, 2].

Їх виявлення суттєво ускладнено порівняно з металевими трубопроводами [3, 4]. Звичайні металошукачі їх не знаходять, оскільки їхня магнетна проникність збігається з природними матеріалами такими, як глина, вода, пісок, кварц, гравій, асфальт тощо.

Аналіз електричних параметрів рідин, які можуть транспортувати трубопроводами, показує, що вони (крім води) мають питомий електричний опір у межах

---

*Контактна особа:* О. М. ПАСТУШЕНКО, e-mail: pastushenko\_an@i.ua

$10^{14} \dots 10^{17} \text{ } \Omega/\text{cm}$ , магнетну проникність  $\mu \approx 1$  та діелектричну проникність  $\epsilon = 1,7 \dots 3,3$  і за своїми параметрами суттєво не відрізняються від параметрів неметалевих трубопроводів і, відповідно, не мають нових ознак для їх виявлення (табл. 1).

**Таблиця 1. Електричні параметри середовищ**

Параметр Середовище (матеріал)	Діелектрична проникність $\epsilon$	Магнетна проникність $\mu$	Питомий електричний опір, $\Omega/\text{cm}$
<b>Органічні високомолекулярні з'єднання</b>			
Поліетилен	2,3...2,4	1	$10^{17}$
Полістирол	2,4...2,6	1	$10^{17}$
Поліхлорвініл	3,6...4,0	1	$10^{15}$
Каучук	2,5...5	1	$1,7 \cdot 10^{14} \dots 10^{15}$
<b>Підповерхнєве середовище</b>			
Повітря	1,0006	1	$1,7 \cdot 10^{15} \dots 1,3 \cdot 10^{16}$
Глина	16	1	–
Вода	81	0,99	$10^3$
Пісок сухий	5	1	–
Кварц	4,5	1	–
<b>Рідини</b>			
Вода	81	0,99	$10^3$
Бензин	2	1	$10^{17}$
Керосин	2,1	1	$10^{17}$
Фторорганічні рідини	1,7...1,9	1	$10^{15}$
Спирт етиловий	2,7...3,3	1	$10^{16}$

Електричні та магнетні параметри підповерхневого середовища здебільшого збігаються з параметрами рідин та матеріалів трубопроводів. Отже, єдиною перспективною ознакою для виявлення прихованих неметалевих трубопроводів на основі органічних високомолекулярних з'єднань можуть слугувати параметричні властивості рідин, що їх заповнюють.

Мета роботи – розробити новий метод виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів, який базується на особливостях параметричних властивостей рідин, які ними транспортують.

**Опрацювання теоретичних засад методу виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів. Параметрична модель трубопроводу з рідиною.** Трубопровід з рідиною розташований під поверхнею, яка характеризується електропровідністю  $\sigma_1 \neq 0$  та магнетною проникністю  $\mu = 1$  (рис. 1). Надповерхнєве середовище має електропровідність  $\sigma_0 = 0$  та магнетну проникність  $\mu = 1$ .

Прийmemo модель трубопроводу у вигляді неметалевої труби, заповненої, наприклад, молекулами води ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Атом водню має у складі один протон, який обертається навколо своєї магнетної осі, що спрямована вздовж вектора магнетного поля Землі  $N, S$  (рис. 2a).

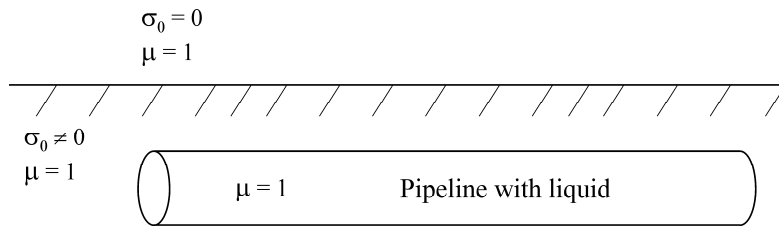


Рис. 1. Ситуативна модель прихованого трубопроводу.

Fig. 1. A situational model of a hidden pipeline.

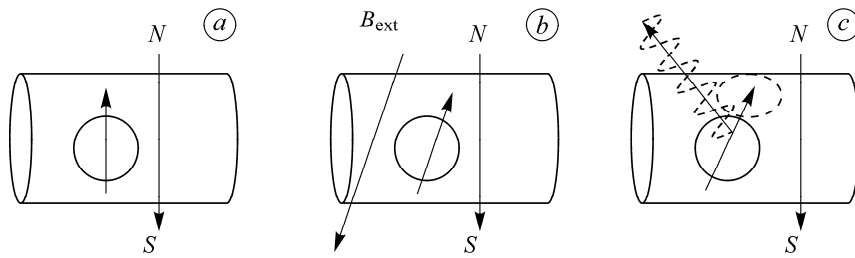


Рис. 2. Параметрична модель рідини в трубопроводі (а), вплив зовнішнього магнетного поля  $B_{\text{ext}}$  на протони рідини (b), утворення магнетного поля вільної ядерної прецесії (c).

Fig. 2. A self-reactance model of liquid in a pipeline (a), external magnetic field influence  $B_{\text{ext}}$  on liquid protons (b), magnetic field formation of free nuclear precession (c).

Побудована модель може бути придатна і для інших рідин (бензин, дизельне паливо, газ), які можуть транспортувати у прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводах.

**Метод виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів.** Метод ґрунтується на параметричних властивостях рідин, які проявляються за примусової їх поляризації поворотом магнетних осей їхніх протонів на деякий кут відносно магнетного поля Землі.

Якщо зовнішнім магнетним полем  $B_{\text{ext}}$  повернути осі протонів рідин на деякий кут відносно поля Землі (рис. 2b), то після закінчення його дії осі обертання протонів почнуть прецесувати у напрямку вектора магнетного поля Землі, створюючи змінне магнетне поле з частотою  $F$  (рис. 2c). Частота прецесії протонів у магнетному полі відома як частота Лармора [5]

$$F = \gamma_p \frac{H}{2\pi} = \frac{B}{23,4875},$$

де  $\gamma_p = 0,042576$  – гіромагнетне відношення для протона;  $H$  – напруженість магнетного поля Землі;  $B$  – індукція магнетного поля Землі, нТ.

Максимальну напруженість магнетного поля досягають за повороту магнетних осей протонів рідини на  $90^\circ$  відносно земного геомагнетного поля. Геомагнетне поле на території України має значення індукції  $\sim 50 \mu\text{T}$  з варіаціями  $\sim 30 \text{ nT}$  [3]. Це відповідає діапазону частот Лармора  $F = 2127 \dots 2130 \text{ Hz}$ .

Отже, зовнішнє магнетне поле  $\epsilon$ , по суті, полем накачування енергії, яка передається протонам. Після закінчення його дії енергія повертається протонами рідини у вигляді магнетного поля прецесії. Це явище можна використати для виявлення прихованих підповерхневих трубопроводів.

Варіант технічної реалізації цього параметричного методу наведено на рис. 3.

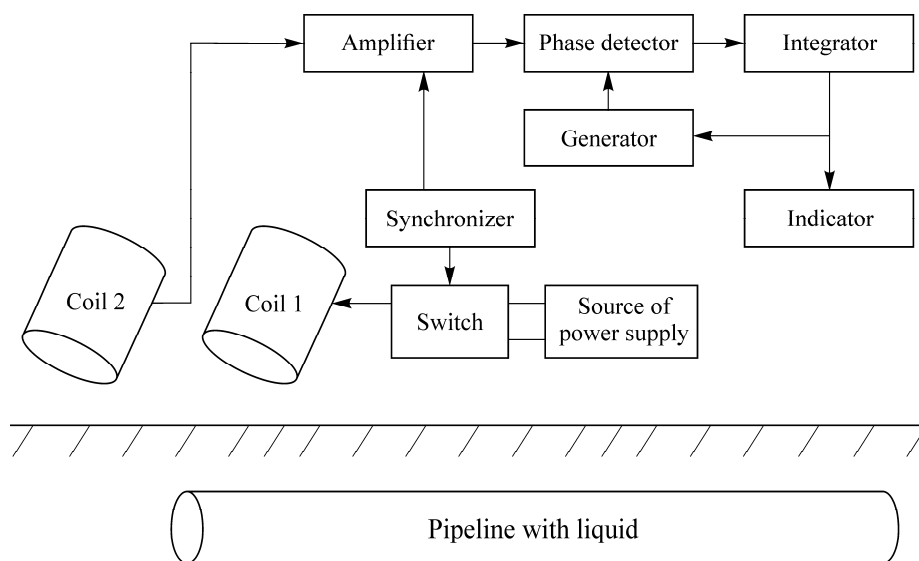


Рис. 3. Варіант технічної реалізації параметричного методу.

Fig. 3. Sample of technical realization of self-reactance method.

За замикання ключа прикладають напругу поляризації від джерела напруги до котушки намагнечування К1 (рис. 4а). Через котушку протікатиме струм, створюючи магнетне поле, яке пронизуватиме прихований трубопровід з рідиною. Котушку намагнечування орієнтують так, щоб її поле було спрямовано під деяким кутом до магнетного поля Землі [3]. Під дією цього поля осі обертання протонів рідини в трубопроводі орієнтуються паралельно лініям створеного сумарного магнетного поля.

Після вимикання ключа магнетне поле в котушці намагнечування зникає і осі обертання протонів рідини починають прецесувати у напрямку вектора магнетного поля Землі, формуючи при цьому магнетне поле, яке наводить змінну згасальну напругу в приймальній котушці К2 (рис. 4с). Після закінчення перехідних процесів у котушці цю напругу після підсилення подають на систему фазового автоматичного налаштування частоти, яка складається з фазового детектора, інтегратора та генератора. До виходу інтегратора підключено індикатор, який відображає напругу, яка є пропорційною частоті сигналу в приймальній котушці.

На час дії напруги поляризації та перехідних процесів підсилювач вимикається синхронізатором від котушки імпульсом блокування (рис. 4b).

Експериментально отримано (табл. 2) амплітудні значення напруги в приймальній котушці та тривалість прецесії протонів для деяких рідин.

Отже, поява в спектрі складової з частотою 2127...2130 Hz свідчить про виявлення трубопроводу з рідиною. Тривалість прецесії протонів можна використати для визначення типу рідини в трубопроводі.

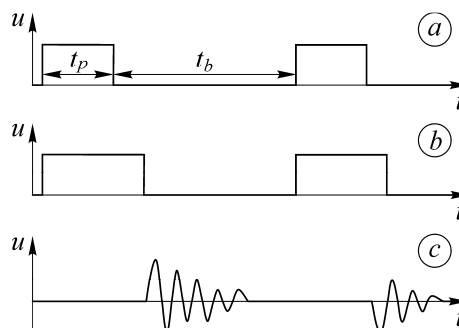


Рис. 4. Напруги поляризації (а), блокування (b) та в приймальній котушці (с).

Fig. 4. Voltage of polarization (a), blocking (b), and in the receiving coil (c).

**Таблиця 2. Експериментально отримані амплітудні значення напруги та тривалість прецесії протонів**

Рідина	Амплітуда, V	Тривалість прецесії, s
Гас	$0,85 \cdot 10^{-6}$	0,7
Спирт	$0,89 \cdot 10^{-6}$	1,1
Ацетон	$0,84 \cdot 10^{-6}$	1,81
Дистильована вода	$1,46 \cdot 10^{-6}$	2,5...3

### ВИСНОВКИ

Завдання щодо виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів на основі органічних високомолекулярних з'єднань (поліетилену, полістиролу полівинхлориду, поліпропілену) та каучукових матеріалів є актуальним. Магнетна та діелектрична проникності усіх камуфлювальних поверхонь дорівнює магнетній проникності органічних високомолекулярних з'єднань трубопроводів та не може бути ознакою для їх виявлення. Одним із радикальних підходів до вирішення цього завдання є використання параметричних властивостей рідин, які транспортують трубопроводами. Ці властивості проявляються за дії імпульсного магнетного поля на рідину. Його дія призводить до появи змінного магнетного поля з частотою Лармора  $F = 2127... 2130$  Hz, що є ознакою знаходження трубопроводу з рідиною. Тривалість прецесії протонів та частота змінного магнетного поля прецесії можуть слугувати для розпізнавання типу рідини в трубопроводі. Наведений параметричний метод виявлення прихованих підповерхневих неметалевих трубопроводів пройшов експериментальне дослідження та може бути втіленим під час розроблення експериментального приладу для дослідної експлуатації.

1. *Лишук В. В.* Електрорадіоматеріали: навч. пос. – Луцьк: Інформаційно-видавничий відділ Луцького НТУ, 2016. – 324 с.
2. *Леонтьєв В. О., Бевз С. В., Видмиш В. А.* Електротехнічні матеріали: навч. пос. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 122 с.
3. *Технічна діагностика матеріалів і конструкцій: Довідн. пос. у 8-ми т. / За заг. ред. З. Т. Назарчука.* – Т. IV: Електрофізичні методи неруйнівного контролю дефектності елементів конструкцій / Р. М. Джала, В. Р. Джала, І. Б. Івасів, В. Г. Рибачук, В. М. Учанін. – Львів: Простір-М, 2018. – 356 с.
4. *Механіка руйнування та міцність матеріалів: Довідн. пос. у 16-ти т. / Під заг. ред. В. В. Панасюка.* – Т. 11: Міцність і довговічність нафтогазових трубопроводів і резервуарів / Г. М. Никифорчин, С. Г. Поляков, В. А. Черватюк, І. В. Орняк, З. В. Слободян, Р. М. Джала. – Львів: Сполом, 2009. – 502 с.
5. *Магнітометрия* [Електронний ресурс]. – <https://acdc.foxylab.com/node/26>

Одержано 05.05.2022