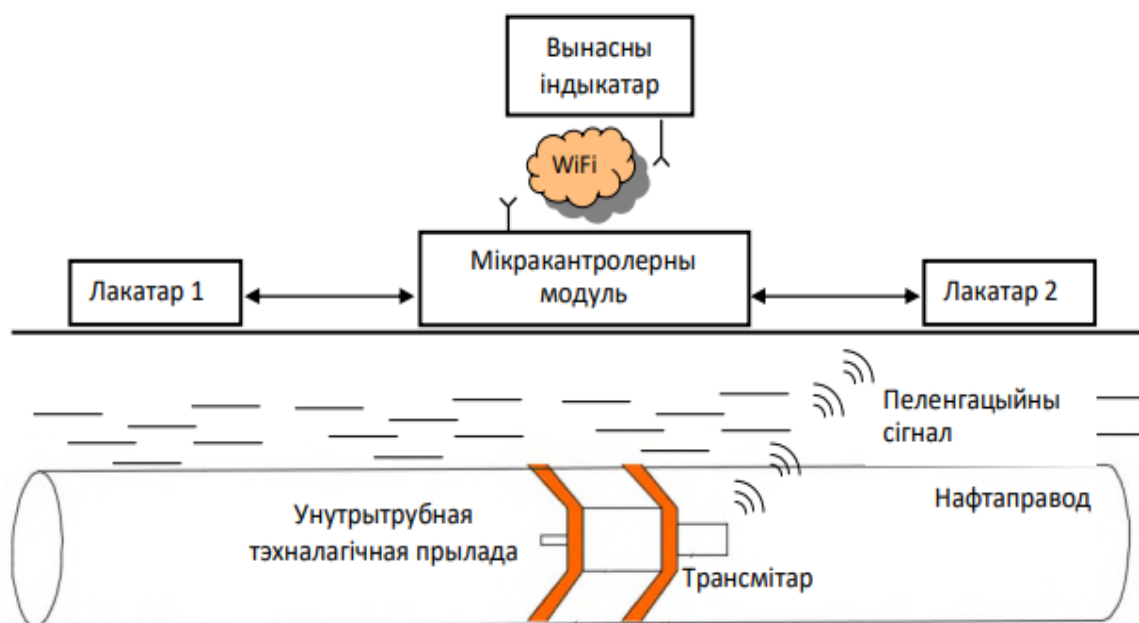


Ю. В. Крышнёў, В. В. Шчуплоў, С. М. Кухарэнка, Л. А. Захаранка,  
А. Я. Запольскі, Ів. Іг. Сутарма, С. А. Пусеў  
Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. О. Сухога,  
г. Гомель, Рэспубліка Беларусь

## ПОШУКАВАЯ СІСТЭМА ДЛЯ ТЭХНАЛАГІЧНЫХ АБ'ЕКТАЎ НАФАПРАВОНАГА ТРАНСПОРТУ

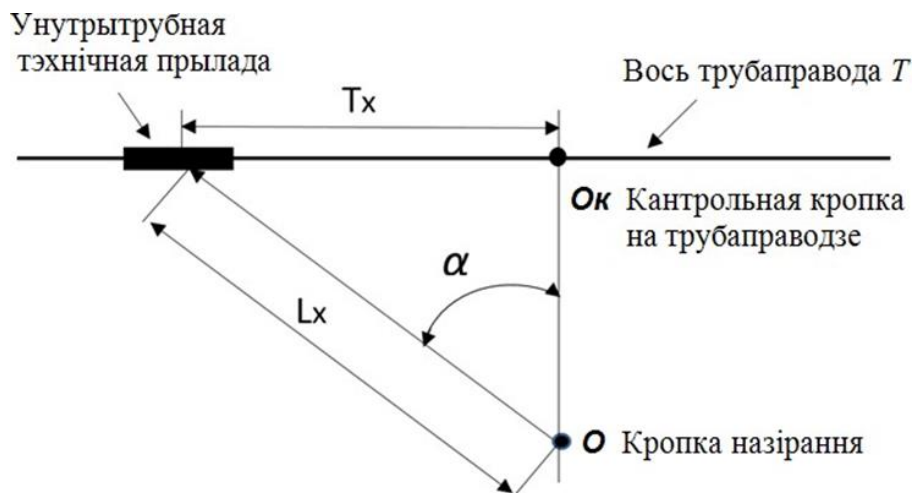
Прынцып дзеяння пошукавай сістэмы для ўнутрытрубных тэхналагічных прылад (УТП) нафтаправода прыведзены на малюнку 1. Пошукавая сістэма складаецца з двух падсістэм: 1) унутрытрубнай прылады (УП), якая мясцуецца непасрэдна на УТП і з дапамогай трансмітара выпраменьвае пеленгацыйны сігнал; 2) наземнай прылады (НП). Асаблівасцю наземнай прылады (НП) з'яўляецца наяўнасць двух ідэнтычных прыёмных модуляў (лакатораў), кожны з якіх канструктыўна рэалізаваны ў асобным корпусе. Лакатары бесперапынна прымаюць пеленгацыйны сігнал нізкай частаты (пераменны магнітны струмень) ад трансмітара ўнутрытрубнай прылады. Пасля маштабавання і фільтрацыі, сігналы паступаюць у мікракантролерны модуль НП. Апрацаваныя мікракантролерным модулем НП сігналы адлюстроўваюцца на мясцовым індыкатары і перадаюцца па бесправодным канале сувязі (WiFi) на вынасны індыкатар, рэалізаваны на базе планшэта альбо Android/iOS-прылады.



Малюнак 1 – Прынцып дзеяння пошукавай сістэмы  
для ўнутрытрубных тэхналагічных прылад нафтаправода

Лакатары жорстка звязаны паміж сабой гарызантальнай апорнай штангай, унутры якой размяшчаюцца правадныя злучэнні (праваднікі для сілкавання і вымяральных ліній). Штанга з лакатарамі (магнітнымі антэнамі) пазіцыянуецца на паверхні глебы па-над верхняй утваральнай нафтаправода, уздоўж лініі меркаванага знаходжання ўнутрытрубнага аб'екта. Шляхам аналізу і апрацоўкі пеленгацыйных сігналаў, якія перадаюцца лакатарамі на прыёмнік-індыкатар, аператарам вызначаецца дакладнае месцазнаходжанне ўнутрытрубнай тэхналагічнай прылады.

Геаметрыя задачы пошуку ўнутрытрубных прылад нафтаправоднага транспарту паказана на малюнку 2.



Малюнак 2 – Геаметрыя задачы пошуку ўнутрытрубнай тэхнічнай прылады:  
 $L_x$  – адлегласць да УТП ад кропкі назірання  $O$  (месца размяшчэння магнітных антэн);  
 $\alpha$  – вугал напрамку на УТП з пункту назірання  $O$ ;  
 $T_x$  – адлегласць да УТП па восі трубопровода  $T$  ад кантрольнай кропкі  $O_k$

Наяўнасць двух прыёмных магнітных антэн (магнітапрыёмнікаў) дазваляе вырашыць задачу вызначэння месцазнаходжання УТП у трубопроводе, выкарыстоўваючы моначыпульсны метады пеленгацыі ў адной плоскасці [1, 2].

Пры гэтым вядомыя тры метады пеленгацыі: фазавы, амплітудны і сумарна-рознасны.

Фазавы метады ў выпадку вызначэння месцазнаходжання УТП не можа быць ажыццэўлены практычна, таму што на працоўных частотах (дыяпазон 10...30 Гц) дзве магнітныя антэны, разнесеныя ў прасторы на адлегласць  $L$ , значна меншую, чым даўжыня хвалі  $\lambda$ , практычна маюць аднолькавыя фазавыя дыяграмы.

Пры амплітуднай пеленгацыі ў моначыпульсных сістэмах для вызначэння вуглавой каардынаты напрамку на крыніцу сігнала фарміруюцца дзве перакрываючыя дыяграмы накіраванасці (ДН) антэн, разнесеныя на вугал  $\pm\alpha_0$  адносна раўнасігнальнага напрамку (РСН). Амплітудны метады патрабуе роўнасці і стабільнасці каэфіцыентаў узмацнення каналаў, у адваротным выпадку зрушваецца нуль пеленгацыйнай характарыстыкі. Для памяншэння залежнасці пеленгацыйнай характарыстыкі ад узроўню сігнала выкарыстоўваюцца лагарыфмічныя ўзмацняльнікі [3].

Сумарна-рознасны амплітудны метады з'яўляецца найбольш дасканалым, таму што дазваляе выключыць уплыў амплітуды і фазы сігнала на стабільнасць пеленгацыйнай характарыстыкі і забяспечыць найбольшую дакладнасць вызначэння напрамку на крыніцу сігнала.

Прынцып фарміравання сумарна-рознасных каналаў тлумачыць малюнак 3.

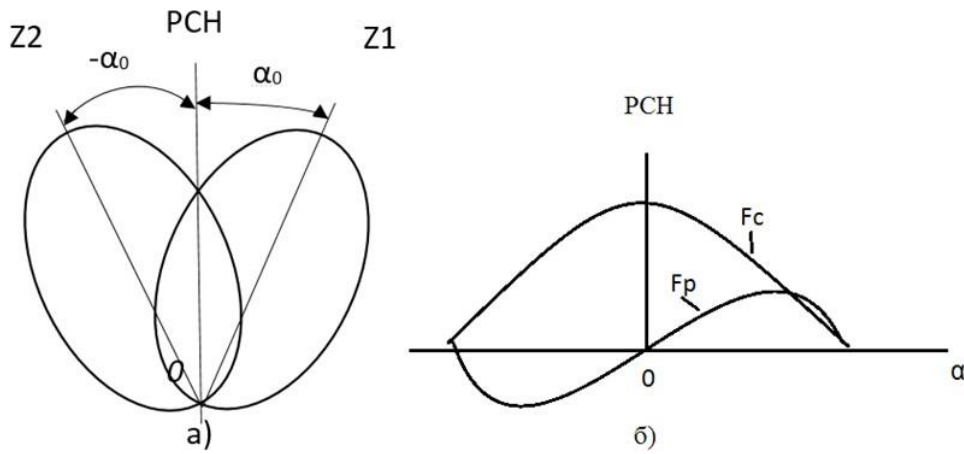
Прыёмныя антэны  $A_1$  і  $A_2$  з дыяграмамі накіраванасці ДН-1 і ДН-2 з максімумамі ў напрамку восей  $Z_1$  і  $Z_2$  адпаведна сіметрычна павярнутыя па вугле адносна раўнасігнальнага напрамку (РСН) на вугал  $\pm\alpha_0$  (малюнак 3 (а)). Пры гэтым вугал паміж восямі  $Z_1$  і  $Z_2$  дыяграм накіраванасці ДН-1 і ДН-2 антэн роўны  $2\alpha_0$ .

Сігналы на выхадзе антэн вызначаюцца наступным чынам:

$$\begin{aligned} U_1(\alpha) &\sim kF(\alpha_0 + \alpha)\cos\omega t, \\ U_2(\alpha) &\sim kF(\alpha_0 - \alpha)\cos\omega t, \end{aligned} \quad (1)$$

дзе  $k$  – каэфіцыент прапарцыянальнасці, які ўключае амплітуду сігнала  $U_m$  і каэфіцыент перадачы антэн;

$F(\alpha_0 - \alpha)$ ,  $F(\alpha_0 + \alpha)$  – дыяграмы накіраванасці антэн  $A_1$  і  $A_2$ .



Малюнок 3 – Принцип фармування сумарної і рознесної ДН

Сумарний канал фармується сумаруванням сигналу  $U_1(\alpha)$  і  $U_2(\alpha)$  з виходу антэн, а рознесний канал – рознесю гэтых жа сигналаў. Гэта эквівалентна фармуванню сумарнай  $F_c(\alpha)$  і рознеснай  $F_p(\alpha)$  дыяграм накіраванасцяў (малюнак 3(б)).

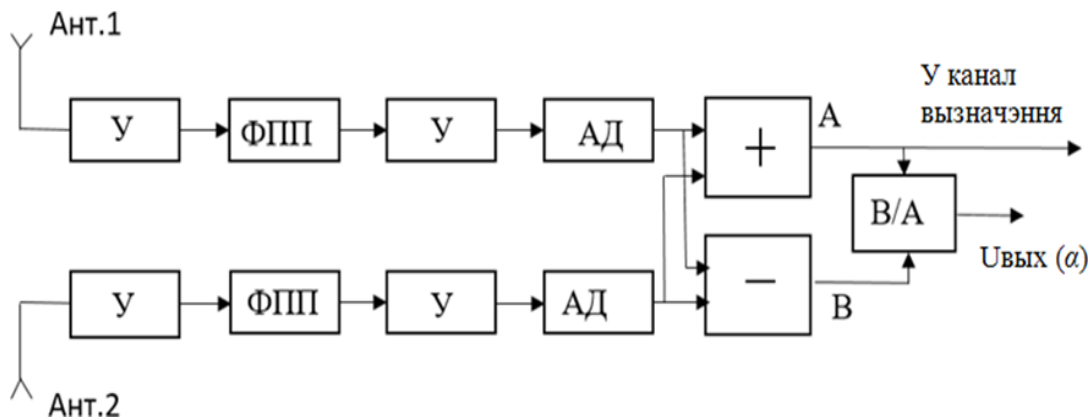
Пеленгацыйная характарыстыка пры сумарна-рознесным метадзе вызначаецца суадноснасцю:

$$U_{\text{вых}}(\alpha) = \frac{U_p(\alpha)}{U_c(\alpha)} \sim \frac{k_p F_p(\alpha)}{k_c F_c(\alpha)}, \quad (2)$$

і не залежыць ад узроўню сигналу, які прымаецца [4].

Атрымаць залежнасць  $U_{\text{вых}}(\alpha)$ , прапарцыйную суадноснасці сигналаў  $U_p(\alpha)$  к  $U_c(\alpha)$ , можна чатырма спосабамі.

- 1) прамая рэалізацыя матэматычнай аперацыі дзялення сигналаў з выкарыстаннем спецыялізаваных мікрасхем;
- 2) выкарыстанне аўтаматычнага рэгулявання ўзмацнення (АРУ) па сумарным і рознесным каналах;
- 3) выкарыстанне фазавага дэтэктара і дзяленне выхаднога сигнала фазавага дэтэктара на квадрат сигнала сумарнага канала пасля амплітуднага дэтэктавання.
- 4) фармуванне сумарнага і рознеснага сигналаў пасля ўзмацнення і амплітуднага дэтэктавання сигналаў ад антэн з наступнай нарміроўкай рознеснага сигнала па сумарным сігнале (малюнак 4).



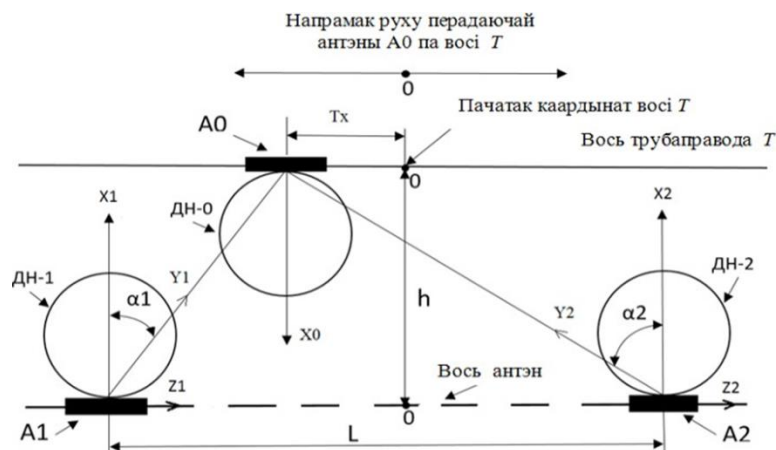
Малюнак 4 – Фармуванне пеленгу на відэачастаце: У – узмацняльнік; ФПП – фільтр палосна-прапускальны; АД – амплітудны дэтэктар; В/А – дзельнік

Пры ідэнтэчных прыёмных каналах ( $k_1 = k_2 = k$ ), на выхадзе схемы дзялення атрымліваецца сігнал, прапарцыянальны вуглу  $\alpha$ , які не залежыць ад узроўню сігналу і фазавых зрухаў у каналах:

$$U_{\text{вых}}(\alpha) = \frac{U_p(\alpha)}{U_c(\alpha)} = \frac{2kU_m F(\alpha_0)\mu\alpha}{2kU_m F(\alpha_0)} = \mu\alpha. \quad (3)$$

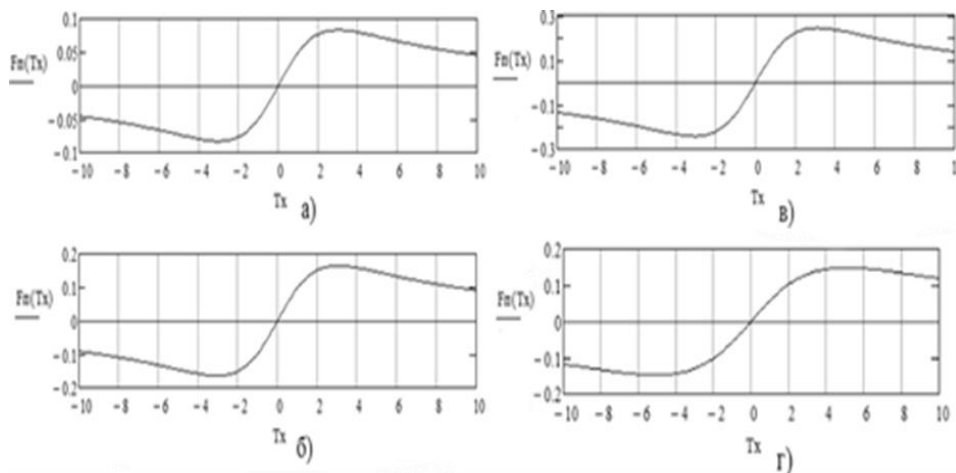
дзе  $\mu$  – стромкасць працоўнага ўчастку рознаснай дыяграмы накіраванасці ў вобласці пеленгавання.

З дапамогай матэматычнага мадэлявання і эксперыментальнага даследавання, устаноўлена, што на практыцы неабходна арыентаваць антэны такім чынам, каб яны і меркаваная вось трубаправода ляжалі ў адной плоскасці (малюнак 5).



Малюнак 5 – Схема мадэлявання сумарна-рознаснага метаду пеленгацыі пры сувосевым размяшчэнні антэн ( $\alpha_0 = 0$ )

У гэтым выпадку пеленгацыйная характарыстыка будзе мець дастатковую стромкасць, незалежна ад вугла павароту антэннай сістэмы вакол сваёй восі. Аптымальнай адлегласцю паміж антэнамі (магнітапрыёмнікамі) пры сувосевым пазіцыянаванні антэн з'яўляецца  $L$  парадку 1 м, пры гэтым антэнная сістэма павінна быць максімальна набліжана да восі трубаправода (малюнак 6).



Малюнак 6 – Пеленгацыйная характарыстыка як функцыя  $T_x$ :  
 а)  $L = 0,5$  м,  $h = 3$  м; б)  $L = 1,0$  м,  $h = 3$  м; в)  $L = 1,5$  м,  $h = 3$  м; г)  $L = 1,5$  м,  $h = 5$  м

## Літаратура

1. Радиолокационные устройства / В. В. Васин [и др.]. – М.: Советское радио, 1970. – 680 с.
2. Родс, Д. Р. Введение в моноимпульсную радиолокацию / Д. Р. Родс. – М.: Советское радио, 1960. – 159 с.
3. Бакулев, П. А. Радиолокационные системы. Учебник для вузов / П. А. Бакулев. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
4. Сістэма дыстанцыйнага маніторынгу месцазнаходжання ўнутрытрубнага герметызатара для нафтаправоднага транспарту / Ю. В. Крышнёў [и др.] // Сборник материалов Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума «Новые горизонты 2015», Минск, БНТУ, 26–27 ноября 2015 г. – 2015. – С. 211–212.

**Ю. В. Крышнёў, А. Я. Запольскі, М. А. Рогаў, П. Д. Раманцоў, М. І. Гапоненка**  
Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. О. Сухога,  
г. Гомель, Рэспубліка Беларусь

### **АСАБЛІВАСЦІ ПРАЕКТАВАННЯ ЭЛЕКТРАХІМІЧНАЙ АБАРОНЫ ПАДЗЕМНЫХ МАГІСТРАЛЬНЫХ НАФАПРАВОДАЎ**

Трубаправодны транспарт мае асаблівае значэнне для эканомікі Рэспублікі Беларусь, з'яўляючыся асновай для транспарціроўкі розных цяжкіх прадуктаў у розных агрэгатных фазах (нафта, нафтапрадукты, прыродны газ, гарачая вада). Пры яго працяглай эксплуатацыі адбываецца старэнне і парушэнне уласцівасцей, як непасрэдна металаканструкцыі, так і ахоўнага ізаляцыйнага пакрыцця. Усё гэта прыводзіць да рэзкага ўзрастання верагоднасці аварыйнай сітуацыі, што, у сваю чаргу, можа прывесці, як да буйных эканамічных страт, так і да экалагічных праблем.

У сувязі з гэтым абарона ад карозіі трубаправодаў мае асабліва актуальнае значэнне, па прычыне таго, што матэрыяльныя страты ад яе аказваюцца вельмі значнымі.

Відамі каразійнага ўздзеяння на вонкавую паверхню падземных сталёвых збудаванняў з'яўляюцца [1]:

- атмасферная карозія;
- карозія ў глебава-грунтавых водах і грунтах;
- біякарозія;
- карозія, выкліканая блукаючымі токамі (пераменнымі і пастаяннымі).

Для прадухілення такіх сітуацый праводзяць комплекс мерапрыемстваў, якія ўключаюць у сябе каразійны маніторынг і прымяненне сродкаў пасіўнай (ахоўныя пакрыцці) і актыўнай (катодная палярызацыя) антыкаразійнай абароны [1]. Пры гэтым для магістральных трубаправодаў класіфікацыя і патрабаванні да ахоўных пакрыццяў вызначаны ў [2].

Асяроддзе месцавання трубы ўяўляе сабой зямны грунт з рознай ступенню агрэсіўнага ўплыву, які паступова разбурае знешнюю паверхню трубы. У сувязі з гэтым вялікая ўвага надаецца як ўласцівасцям матэрыялаў канструкцыі, так і актыўным метадам абароны.

Для фарміравання ахоўнага патэнцыялу ў якасці тыповага рашэння выкарыстоўваюцца станцыі катоднай абароны (СКА). Сутнасць іх функцыянавання заключаецца ў фарміраванні адмоўнага патэнцыялу пастаяннага току аптымальнага, для дадзеных умоў, узроўню. Базавымі ў дадзеным дачыненні з'яўляюцца патрабаванні стандартаў [1, 2] па абароне падземных металічных збудаванняў ад карозіі. Пры гэтым магістральныя трубаправоды падлягаюць абавязковай электрахімічнай абароне незалежна ад умоў пракладкі. Ахоўныя патэнцыялы металазбудавання адносна насычанага медна-сульфатнага электрода параўнання складаюць ад 0,85 да 1,2 В [1].

Электрахімічная абарона павінна забяспечваць бесперапынную па часе катодную палярызацыю падземных металазбудаванняў на працягу ўсяго тэрміну іх эксплуатацыі [1].