

## **Аўтаматызацыя вымярэнняў і дыстанцыйнае кіраванне тэхналагічнымі аб'ектамі нафтаправоднага транспарту**

**Ю. В. Крышнёў**

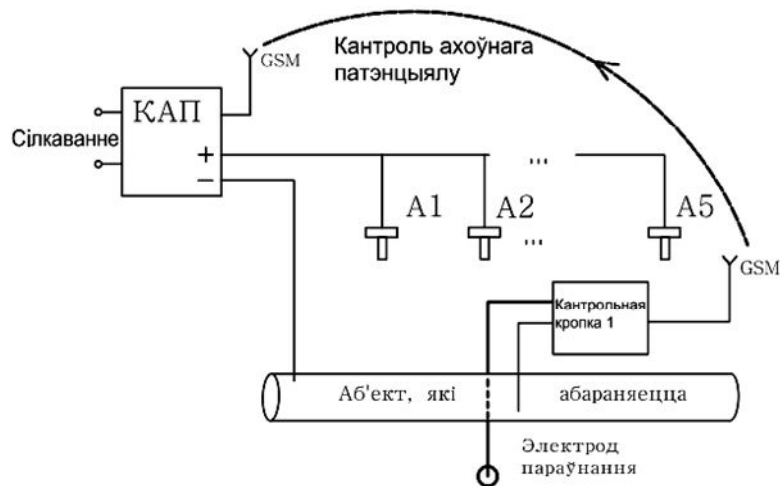
*Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны тэхнічны ўніверсітэт імя П. В. Сухого», Рэспубліка Беларусь*

Асноўнымі дэфектамі, якія ўзнікаюць у трубаправодзе ў працэсе эксплуатацыі, з'яўляюцца каразійныя пашкоджанні знешніх паверхняў трубаправода праз парушэнні ізаляцыі і эразійныя пашкоджанні ўнутраных паверхняў трубаправода з прычыны міжкрышталітнай карозіі і гідрадынамічных удараў, прыводзячых да страты металу ў сценах трубы. Для барацьбы з карозіяй металу ў трубаправадах выкарыстоўваецца катодная (электрахімічная) абарона, якая дазваляе значна запаволіць карозію ў месцах з дэфектамі ізаляцыі. Актуальнымі задачамі з'яўляюцца:

– для запаволення працэсаў карозіі сценак нафтаправода і разбурэння ізаляцыйнага пакрыцця – распрацоўка прылад стабілізацыі аноднага (або катоднага – у залежнасці ад канфігурацыі аб'екта) току, якія эфектыўна падтрымліваюць патрэбны ахоўны патэнцыял на кожнай з ліній працяглых участкаў нафтаправода;

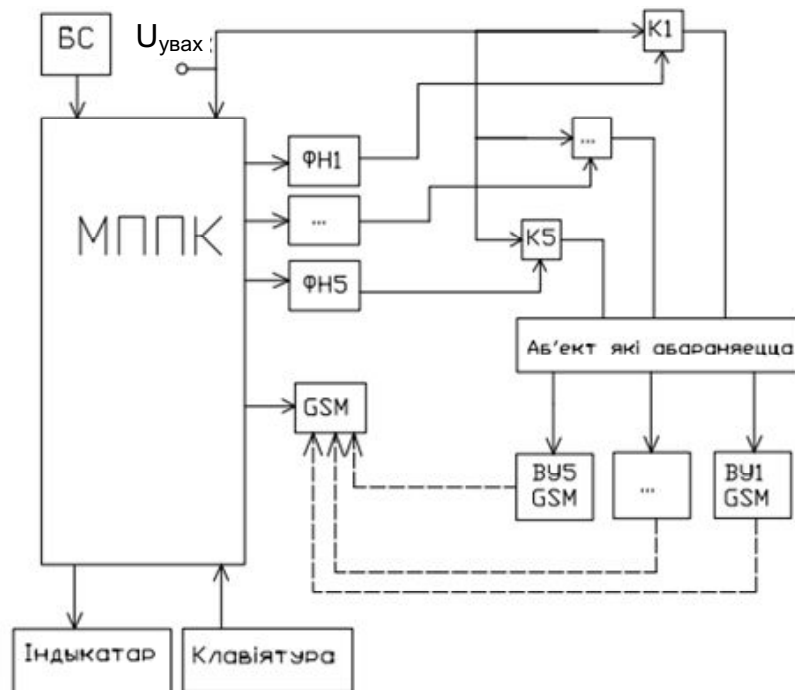
– для выяўлення месцаў пашкоджання ізаляцыйнага пакрыцця нафтаправода – распрацоўка ўнутрытрубных вымяральных і дыягнастычных сродкаў, якія працуюць ва ўмовах бесперапыннага тэхналагічнага працэса транспарту нафты.

*Аўтаматычныя сістэмы фарміравання электрахімічных ахоўных патэнцыялаў падземных трубаправодаў.* Распрацаваны шматканальны стабілізатар-дзельнік аноднага току з кантролем ахоўнага патэнцыялу, які прадугледжвае назіранне за патэнцыялам трубаправода ў аўтаматычным рэжыме. Прынцып яго дзеяння прадугледжвае выкарыстанне ў кожным канале двух GSM-модуляў, адзін з якіх усталяваны ў кантрольнай кропцы, а другі – непасрэдна на катоднай ахоўнай прыладзе (мал. 1).



Мал. 1. Структура 5-канальнага імпульснага стабілізатара аноднага току для станцыі катоднай абароны з кантролем ахоўнага патэнцыялу: КАП – катодная ахоўная прылада; А1–А5 – глыбінныя анодныя заземляльнікі

На мал. 2 прыведзена функцыянальная схема станцыі катоднай абароны са шматканальным стабілізатарам аноднага току.



Мал. 2. Функцыянальная схема станцыі катоднай абароны з 5-канальным стабілізатарам аноднага току: МППК – мікрапрацэсарная прылада кіравання; К<sub>1</sub>–К<sub>5</sub> – каналы стабілізатара-дзельніка току; ВУ<sub>1</sub>–ВУ<sub>5</sub> – вымяральныя ўзмацняльнікі; ФН<sub>1</sub>–ФН<sub>5</sub> – фарміроўнікі напружання (у форме шыроўна-імпульснай мадуляцыі); BC – блок сілкавання; GSM – тэлекамунацыйныя модулі фармату GSM

У перыяд 2010–2016 гг. на кафедры «Прамысловая электроніка» ГДТУ імя П. В. Сухого супольна са спецыялістамі групы электрахімічнай абароны ААТ «Гомельтранснафта Дружба» ў накірунку стварэння аўтаматычных сістэм стабілізацыі электрахімічных патэнцыялаў падземных нафтаправодаў здзейснены і прайшлі эксперыментальную апрабаваную наступныя распрацоўкі [1]–[3] (мал. 3):

- двухполюсны (прахадны) стабілізатар-дзельнік току катоднай абароны з функцыяй аўтаматычнай стабілізацыі;
- прылада дыстанцыйнага маніторынгу ахоўнага патэнцыялу трубаправода;
- шматканальны стабілізатар-дзельнік катоднага току з Ethernet-інтэрфейсам.



а)



б)



в)

Мал. 3. Знешні выгляд: а – двухполюснага стабілізатара-дзельніка току катоднай абароны з функцыяй аўтаматычнай стабілізацыі; б – прылады дыстанцыйнага маніторынгу ахоўнага патэнцыялу трубаправода; в – шматканальнага стабілізатара-дзельніка катоднага току з Ethernet-інтэрфейсам

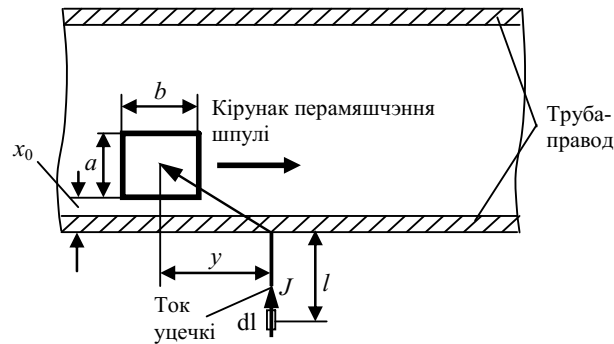
*Унутрытрубная дыягностыка парушэнняў ізаляцыйнага пакрыцця падземных нафтаправодаў.* Для папярэджання з'яўлення каразійных дэфектаў праз парушэнні ізаляцыі падземных нафтаправодаў быў распрацаваны метада бескантактавага кантролю ізаляцыі трубаправода шляхам вымярэння магнітнага поля, створанага токамі ўцечкі, і ўзнікаючым неаднастайным токам трубы ў месцах пашкоджання ізаляцыі [4], [5].

Парушэнне ізаляцыі размешчанага ў зямлі металічнага трубаправода прыводзіць да «расцяжання» току трубы ў зямлю. У выніку ток трубаправода робіцца неаднастайным. У адсутнасць неаднастайнасцяў току магнітнае поле ўсярэдзіне трубаправода роўна нулю, неаднастайнасць току прыводзіць да з'яўлення поля.

Метада прадугледжвае выкарыстанне пераменнага вымяральнага току, які генеруецца адмысловымі генератарамі. Гэта дае наступныя перавагі:

- магчымасць выкарыстання ў вымяральных каналах селектыўных (частотна-абіральных) ўзмацняльнікаў з каэфіцыентам узмацнення парадку  $10^6$ – $10^7$  разоў;
- магчымасць выключыць уплыў на вынік вымярэнняў магнітнага поля самой трубы, абумоўленага рэшткавай намагнічанасцю, якое на некалькі парадкаў больш за магнітнае поле ад токаў уцечкі.

Ток уцечкі і неаднастайны ток трубаправода ў месцы парушэння ізаляцыі прыводзяць да ўзнікнення магнітнага поля, якое прапануецца вымяраць з дапамогай размешчанага ўсярэдзіне трубаправода індукцыйнага датчыка – шматвіткавай шпулі (мал. 4). Размяшчэнне шпулі (ці сістэмы шпуль) дазваляе вымяраць той ці іншы складнік магнітнага поля ў трубаправодзе.



Мал. 4. Прынцып вымярэння магнітнага поля току ўцечкі

Электрарухальная сіла (ЭРС), наведзеная ў шпулі магнітным полем току ўцечкі, вызначаецца ў адпаведнасці з законам электрамагнітнай індукцыі:

$$e = -N \frac{\partial}{\partial t} e^{j\omega t} \int_{-L}^0 \int_{x_0}^{x_0+a} \int_{y_m-\frac{b}{2}}^{y_m+\frac{b}{2}} dy \cdot dx \cdot dB_z,$$

дзе  $N$  – колькасць віткоў у шпулі;  $\omega$  – кругавая частата току ўцечкі;  $dB_z$  – магнітная індукцыя элемента току ўцечкі:

$$dB_z(x, y) = \frac{\mu_0 I(l) dl y}{4\pi \left[ \sqrt{(x-l)^2 + y^2} \right]^3}.$$

Тут прынята, што ток уцечкі размеркаваны перпендыкулярна восі трубаправода на інтэрвале даўжынёй  $L$ .

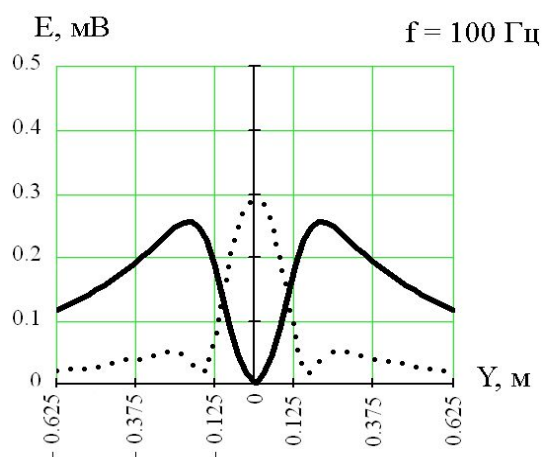
ЭРС, наведзеная ў шпулі, па форме паўтарае функцыю напружанасці магнітнага поля. Пры размяшчэнні цэнтра шпулі па-над месцам працякання току ўцечкі, наведзеная ў ёй ЭРС раўна нулю, далей ЭРС узрастае, пры нейкім становішчы шпулі мае максімум і далей зноў памяншаецца да нуля. Сустрэчнае ўключэнне двух шпуль дазваляе прыкладна ўдвая павялічыць наведзеную ЭРС. На мал. 5 прыведзены залежнасці ЭРС у двух шпулях пры паслядоўным і пры сустрэчным уключэннях (адлегласць паміж шпулямі  $d = 0,2$  м). ЭРС, наведзеная ў шпулі, ці двух шпулях, складае ( $10^{-11}$ – $10^{-12}$ ) В.

Аналагічным чынам разлічваецца магнітнае поле і ЭРС, наведзеная ў датчыку неаднастайным токам трубы. Тут неабходна ўлічваць, што экранаванне поля сценкай трубы ці саслаблена, ці адсутнічае ў залежнасці ад глыбіні пашкоджання металу.

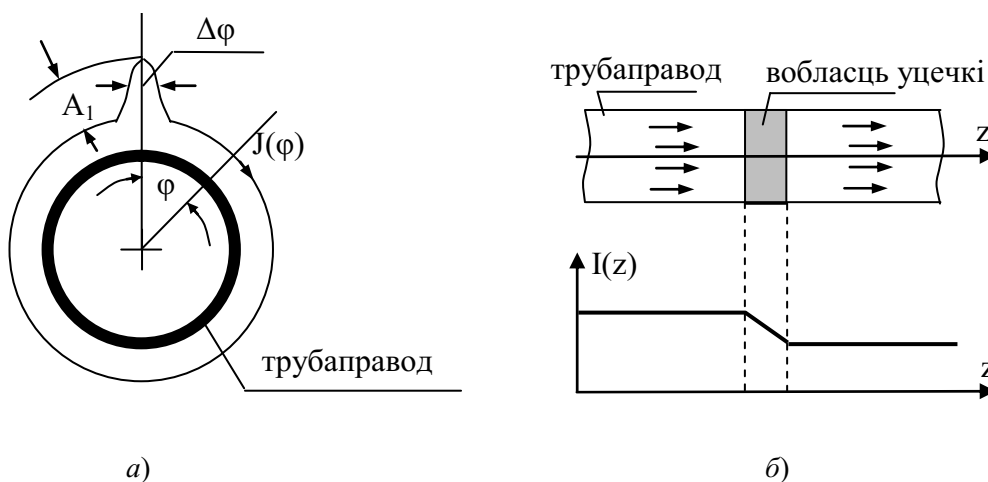
Неаднастайнасць у палярным (азімутальным) кірунку (мал. 6, а) ствараецца ўцечкай току, размеркаванай уздоўж трубы. Уздоўж трубы ток аднастайны, а ў азімутальным кірунку змяняецца паводле закону:

$$J(\phi) = \left[ A_0 + A_1 \left| \cos \frac{\phi}{2} \right|^m \right] e^{j\omega t},$$

дзе  $A_0$  – канстанта, якая вызначае велічыню току ў адсутнасць неаднастайнасці;  $A_1$  і  $m$  (дадатная лічба) вызначаюць адпаведна велічыню змянення току і памер неаднастайнасці;  $\Delta\phi$ ,  $\phi$  – азімутальная каардыната (пачатак адліку па  $\phi$  супадае з максімумам току).



Мал. 5. ЭРС, якая індуктуецца ў двух шпулях пры паслядоўным уключэнні (суцэльная лінія – рознасная дыяграма) і пры сустрэчным уключэнні (пункцірная лінія – сумарная дыяграма)

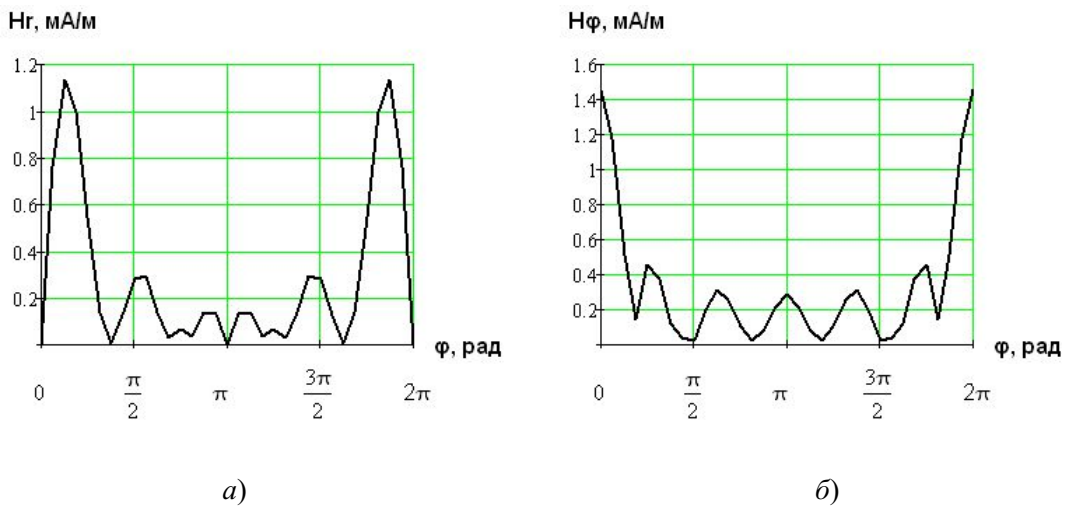


Мал. 6. Размеркаванне тока ў трубаправодзе: *a* – падоўжная неаднастайнасць; *б* – папярэчная неаднастайнасць

Падоўжная неаднастайнасць задаецца лінейнай функцыяй (мал. 6, *б*). Ток у трубе праваруч і леваруч ад неаднастайнасці пастаянны, а ў межах неаднастайнасці – лінейна залежыць ад падоўжнай каардынаты.

Рашэнне раўнанняў Максвэла дазваляе вызначыць усе складнікі напружанасці магнітнага поля ўсярэдзіне трубапровода. Для абодвух відаў неаднастайнасці разлічваліся радыяльны і азімутальны складнікі поля.

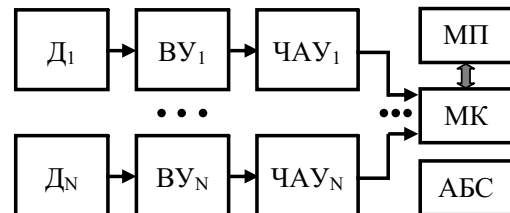
Паблізу неаднастайнасці току мае месца воплеск магнітнага поля ўсярэдзіне трубы, прычым розныя складнікі поля маюць розную залежнасць ад каардынат. Гэта прадэманстравана на мал. 7, дзе прыведзены радыяльны і азімутальны складнікі напружанасці магнітнага поля паблізу сценкі трубы з токам, якія маюць папярэчную неаднастайнасць.



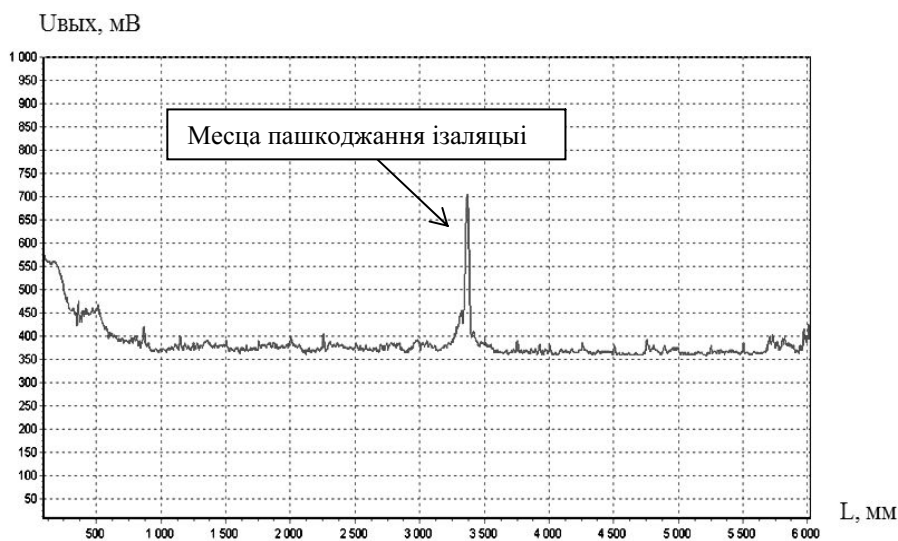
Мал. 7. Напружанасць магнітнага поля паблізу сценкі трубы:  
*a* – радыяльны складнік, *b* – азімутальны

Для правядзення натуральных выпрабаванняў быў распрацаваны і выраблены кантрольна-вымяральны дыягнастычны снарад (мал. 8), які, акрамя кантролю ізаляцыі, ажыццяўляе гэтак сама кантроль унутранага профілю трубы і каардынатыны вымярэнні.

Натурныя выпрабаванні кантрольна-вымяральнага дыягнастычнага снарада на эксперыментальным палігоне ААТ «Гомельтранснафта Дружба» (мал. 9) паказалі магчымасць выкарыстання метада ў рэальных умовах.



Мал. 8. Кантрольна-вымяральны дыягнастычны снарад: *a* – знешні выгляд;  
*b* – структурная схема модуля выяўлення пашкоджанняў ізаляцыі  
 $D_1$ – $D_N$  – датчыкі магнітнага поля;  $B_{У1}$ – $B_{УN}$  – вымяральныя ўзмацняльнікі;  
 $ЧАУ_1$ – $ЧАУ_N$  – частотнаабіральныя ўзмацняльнікі; МК – мікракантролер  
 з убудаваным лічбавальнікам; МП – модуль памяці, які ўяўляе сабой flash-карту;  
 АБС – аўтаномны блок сілкавання



Мал. 9. Дыяграма выходнага сігналу аднаго з вымяральных каналаў, датчыкі якіх эквідыстантна размеркаваны па адной акружнасці на знешняй паверхні кантрольна-вымяральнага дыягнастычнага снарада

Перспектыўныя распрацоўкі ў дадзеным накірунку будуць прадугледжваць распрацоўку метада ўнутрытрубнай дыягностыкі стану ізаляцыйнага пакрыцця на аснове вымярэння падзення напружання ўздоўж трубаправода, стварэнне і эксперыментальную праверку адпаведных вымяральных сродкаў. Пры гэтым плануецца выкарыстоўваць корпус наяўнага кантрольна-вымяральнага дыягнастычнага снарада з заменай датчыкаў і электронікі.

Спосаб і сродкі абмену інфармацыяй паміж рухомымі ўнутрытрубнымі і наземнымі прыладамі. Кіраваны ўнутрытрубны герметызатар. Для правядзення рамонтных работ на нафтаправодах выкарыстоўваюцца ўнутрытрубныя герметызатары (мал. 10) – прылады, якія дазваляюць скараціць аб'ём адпампаванай нафты перад правядзеннем рамонтных работ і, адпаведна, час простаю нафатранспартнай сістэмы [6]–[9].



а)

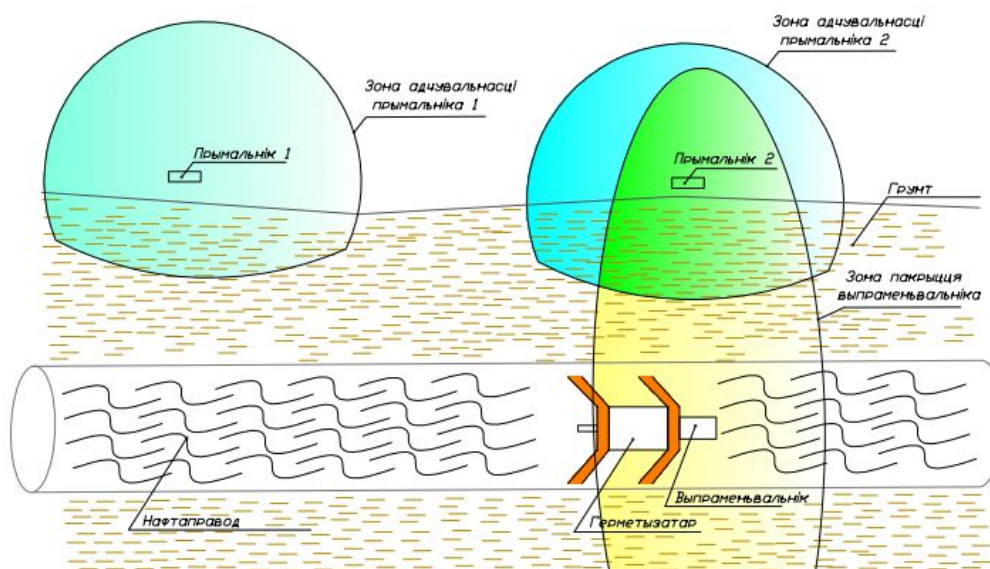


б)

Мал. 10. Кіраваны ўнутрытрубны герметызатар 17.153.00 00 DN800 (а), распрацаваны і зманціраваны на кафедры «Прамысловая электроніка» ГДТУ імя П. В. Сухога супольна са спецыялістамі аддзела эксплуатацыі ААТ «Гомельтранснафта Дружба»; выпрабавальная камера 17.156.00.00 ПС (б) для ўнутрытрубных і іншых прылад

Сістэма кіравання ўнутрытрубным герметызатарам (КУГ) 17.153.00 00 DN800, укаранёным ў пастаянную эксплуатацыю на ААТ «Гомельтранснафта Дружба», складаецца з двух частак – унутрытрубнай прылады, прызначанай для выпраменьвання сігнала ідэнтыфікацыі і выканання працэсу герметызацыі, і наземнай прылады, на якой прымаецца сігнал ідэнтыфікацыі (вызначэння месцазнаходжання) КУГ, і фарміруюцца каманды кіравання працэсам герметызацыі.

Для назірання за перамяшчэннем КУГ па нафтаправодзе ў цяперашні час адначасова выкарыстоўваюцца шумамеры (акустычныя), ультрагукавыя паказальнікі і сістэмы актыўнага суправаджэння ўнутрытрубных аб'ектаў (пошукавыя комплекты), якія працуюць у дыяпазоне частот 0–25 Гц [6]. Для пазіцыянавання герметызатара ў зададзенай кропцы выязная брыгада суправаджае ўнутрытрубны рухомы аб'ект на ўсім яго шляху. Перспектыўным з'яўляецца прыняццё суправаджэння герметызатара, адлюстраваны на мал. 11.



Мал. 11. Прынцып суправаджэння КУГ у падземным нафтаправодзе

Прымальныя прылады, усталяваныя на некаторай адлегласці адна ад адной, забяспечваюцца модулем GPS і GSM і/альбо Ethernet. Пры праходжанні герметызатара прымальныя прылады рэгіструюць сігнал і адпраўляюць даныя аб яго месцазнаходжанні на сервер. З дапамогай кліенцкай праграмы, усталяванай на камп'ютары, мабільным тэлефоне альбо планшэце, тэхнічны персанал, які абслугоўвае нафтаправод, атрымлівае аператыўныя даныя і прымае рашэнне аб запаволенні альбо поўным прыпыненні герметызатара шляхам кіравання значэннем ціску ў трубаправодзе. Пры дапамозе апісанага вышэй спосабу спрашчаецца працэдура суправаджэння ўнутрытрубнага аб'екта і павышаецца дакладнасць яго пазіцыянавання.

#### Літаратура

1. Импульсный стабилизатор анодного тока / С. М. Бодилковский [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополюцк, 22–25 нояб. 2011 г. / Полоц. гос. ун-т ; под общ. ред. В. К. Липского. – Новополюцк, 2011. – С. 63–65.



2. Многоканальный стабилизатор анодного тока для станций катодной защиты трубопроводов / Л. А. Захаренко [и др.] // The civil protection '2011 : докл. 1 част Sixth scientific conference with international participation and exposition. – София : Акад. на МВР 2011. – С. 119–122.
3. Многоканальный стабилизатор анодного тока на основе импульсного преобразователя для электрохимической защиты трубопроводов / Ю. В. Крышнев [и др.] // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. / редкол. : А. Ю. Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – Т. 1. – С. 179–185.
4. Выбор оптимальной частоты измерительного сигнала для поиска мест повреждения изоляции трубопровода / Н. И. Вяхирев [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22–25 ноября 2011 г. – Полоцк. гос. ун-т ; под общ. ред. В. К. Липского. – Новополоцк, 2011. – С. 192–194.
5. Меркурьева, И. А. Развитие методов диагностирования изоляционных покрытий нефтегазопроводов / И. А. Меркурьева. – М. : Недра, 1989. – 271 с.
6. The monitoring and control system of the intrapipe sealer / Y. Kryshneu [at al.] // ITELMS'2010 : Materials of 5th International Conference Intelligent Technologies in Logistics and Mechatronics Systems. – Panevezys, Lithuania, 2010. – P. 31–36.
7. Преимущества использования управляемого герметизатора для магистральных нефтепроводов / А. М. Бордовский [и др.] // Надежность и безопасность трубопроводного транспорта : материалы VII Междунар. науч.-техн. конф., Новополоцк, 22–25 нояб. 2011 г. – Полоцк. гос. ун-т ; под общ. В. К. Липского. – Новополоцк, 2011. – С. 192–194.
8. Праектаванне бесправаднага канала сувязі для кіравання клапанам кіруемага ўнутрытрубнага герметызатара / Ю. В. Крышнёў [і інш.] // Весн. Гомел. дзярж. тэхн. ун-т імя П. В. Сухого. – 2012. – № 1. – С. 29–33.
9. Даследаванне праходжання сігналу праз сценку нафтаправода для сістэмы кіравання ўнутрытрубным герметызатарам / М. І. Вяхіраў [і інш.] // Весн. Гомел. дзярж. тэхн. ун-т імя П. В. Сухого. – 2015. – № 2. – С. 80–87.