

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ  
Г.В.КАРПЕНКА

*На правах рукопису*

**ПІДГІРНЯК**  
**Ярослав Євстахович**

УДК 621.317.3/4

**РОЗРОБКА ПЕРВИННИХ  
ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ  
КВАЗІПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ  
У СВІТОВОМУ ОКЕАНІ**



Спеціальність: 05.11.05 - прилади і методи вимірювання  
електричних і магнітних величин

Автореферат дисертації на здобуття наукового  
ступеня кандидата технічних наук

**Львів - 1995**



00753591 (U)

Робота виконана в Фізико-Механічному інституті імені  
Г.В.Карпенка Національної академії наук України

Наукові керівники: професор, д.т.н. СОПРУНЮК Петро  
Маркьянович  
к.ф.-м.н. БОГОРОДСЬКИЙ Михайло  
Михайлович

Офіційні опоненти: д.т.н. КОРЕПАНОВ Валерій Євгенович  
к.т.н. БУЧМА Ігор Михайлович

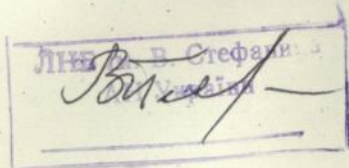
Провідна установа: Морський-гідрофізичний інститут НАН  
України м.Севастополь

Захист відбудеться " 25 " 06 1996 року  
о 14 год. на засіданні спеціалізованої ради К.016.42.02 при  
Фізико-механічному інституті НАН України (290601, Львів, вул.  
Наукова 5)

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.  
Автореферат розісланий " 02 " травня 1996 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
к.т.н., ст.н.с.

В.Д.ПОГРЕБЕННИК



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Електромагнітні методи займають важливе місце при геофізичних дослідженнях у Світовому океані. Серед найважливіших методів, які застосовують дані про електричну складову електромагнітного поля, такі як магнітотелуричні дослідження, зондування на полях течії, електророзвідувальні роботи із застосуванням джерел несприродного походження та ін. Ці методи дозволяють досліджувати гідродинаміку океану, глибинну будову дна, вивчати геоелектричні розрізи осадових порід, верхню мантію на глибинах, співмірних з радіусом Землі, досліджувати шари з підвищеною провідністю в земній корі і верхній мантії, та зони локального розігрівання у них. З допомогою електромагнітних методів вивчаються динамічні та енергетичні характеристики на великих глибинах. Ці характеристики дозволяють глибше зрозуміти геологічні процеси, правильно підійти до проблеми походження та змінюваності магнітного поля Землі. Електромагнітні методи є першорядними при вирішенні названих задач тому, що тільки вони дозволяють проводити дослідження розподілу електричної провідності і температури, які найповніше описують глибинні процеси. Особливе народногосподарське значення має застосування цих методів щодо пошуку нафтогазоносних районів. Електричними методами вивчаються природа і особливості природнього електричного поля, в тому числі електричне поле морських хвиль. Геофізичні та економічні особливості задач морської геоелектрики пред'являють високі вимоги до метрологічних та експлуатаційних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів електричного поля у провідному середовищі, яким є середовище Світового океану.

Порівняно з вимірюванням електричного поля в інших середовищах (повітрі, землі і т.п.) методи і засоби вимірювання електричного поля у провідних середовищах (морська вода, електроліти) розроблені менш повно. Причиною цього є те, що область таких досліджень почала розвиватися пізніше. У зв'язку з тим, що при розповсюдженні електромагнітної хвилі у провідному середовищі змінюється характер її поширення, то змінюються й засоби і методи експериментального її дослідження. Співставлення відомих даних про первинні вимірювальні перетворювачі електричного поля в провідному середовищі з вимогами, які ставляться до методів і засобів вимірювання електричних полів у морській геоелектриці показує, що для вирішення актуальних задач морської геофізики необхідно

підвищувати чутливість і вдосконалювати їх експлуатаційні характеристики (зменшувати споживання, збільшувати терміни автономної роботи, підвищувати надійність роботи, забезпечити крапцю повторюваність результатів, вдосконалити алгоритми управління і т.п.), та метрологічні параметри (стабільність коефіцієнтів передачі, вхідного опору, т.д.). У зв'язку з перерахованими причинами гостро стоїть задача розробки нових методів вимірювання електричного поля у провідному середовищі та створення нових засобів його дослідження. Зародковий стан проблеми розвитку метрологічного забезпечення вимірювачів електричного поля у провідному середовищі не менш гостро ставить питання методів і засобів перевірки первинних вимірювальних перетворювачів електричного поля провідного середовища.

Важливість поставлених задач зумовлена тим, що метрологічні характеристики і експлуатаційні параметри перетворювачів у суттєвій мірі визначають можливості одержання геофізичної інформації при вирішенні наукових і прикладних задач. Цим і визначається актуальність вибраної теми.

МЕТОЮ дисертаційної роботи є дослідження і розробка нових методів квазіпостійного електричного поля у провідному середовищі, придатних для роботи в умовах Світового океану з врахуванням агресивності середовища та дії високих тисків, розробка методів і засобів метрологічного забезпечення.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити основні наукові задачі:

- аналіз джерел поля та його інформативних параметрів;
- аналіз процесу вимірювання поля з позицій теорії похибок з метою виявлення їх причин;
- аналіз причин нестабільності метрологічних параметрів датчиків електричного поля у провідному середовищі;
- аналіз і систематизація методів моделювання електричного поля у провідному середовищі;
- розробити методи і засоби вимірювання квазіпостійного електричного поля у Світовому океані;
- розробити методи і засоби метрологічного забезпечення вимірювальних перетворювачів квазіпостійного електричного поля в електроліті;
- розробити методи і засоби поліпшення дрейфових параметрів датчиків електричного поля;
- розробити засоби зниження енергоспоживання первинних

вимірювальних перетворювачів.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ. Для вирішення поставлених задач в роботі використовуються основні положення теорії вимірювань, теоретичний аналіз із доповненням натурними даними, лабораторний експеримент.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- запропоновано новий метод вимірювання квазіпостійного електричного поля, його фізичну модель і аналітичний опис;

- комплексно вирішено проблему енергоспоживання і стабілізації метрологічних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів електричного поля у провідному середовищі;

- запропоновано новий метод стабілізації дрейфових характеристик контактних електродів та засоби його реалізації;

- запропоновано новий метод моделювання високооднорідного електричного поля у провідному середовищі і засоби його реалізації;

- розроблено методику перевірки первинних вимірювальних перетворювачів квазіпостійного електричного поля у Світовому океані.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ РОБОТИ визначається тим, що знайдено методи вимірювання квазіпостійного електричного поля в провідному середовищі, які дозволили реалізувати засоби дослідження електричного поля у Світовому океані практично на всій акваторії, без обмежень вимог до глибини, що дає можливість спостерігати низькочастотні варіації поля з метою вивчення глибинної будови дна.

Комплексно вирішено питання стабілізації метрологічних параметрів первинних вимірювальних перетворювачів та їх енергоспоживання, що дозволяє збільшити термін автономності їх роботи.

РЕАЛІЗАЦІЯ РОБОТИ Теоретичні і практичні результати роботи використані при виконанні бюджетних науково - дослідних робіт: "Розробка принципів побудови та створення високочутливих вимірювальних перетворювачів електричного поля", "Вимірювання параметрів електричних і магнітних полів стосовно задач діагностики електропровідних середовищ", "Розробка донних станцій квазіпостійного електричного поля". В результаті реалізовані і впроваджені в практику морського приладобудування нові методи вимірювання та перевірки вимірювачів квазіпостійного електричного поля у середовищі Світового океану.

АПРОБАЦІЯ РОБОТИ. Основні положення роботи доповідалися на двох всесоюзних конференціях, всесоюзній нараді та двох міжнародних науково-технічних семінарах.

За результатами роботи опубліковано п'ятнадцять робіт, з них

чотири авторські свідчення на винаходи.

**ОБСЯГ ТА СТРУКТУРА ДИСЕРТАЦІЇ.** Дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку літератури. Робота викладена на сторінках, містить основного тексту сторінок, ілюстрацій сторінок, список літератури з найменувань на сторінках.

### ЗМІСТ РОБОТИ.

**У ВСТУПІ** обґрунтовано актуальність і перспективність роботи по розробці і вдосконаленню методів вимірювання квазіпостійного електричного поля у провідному середовищі. Показано необхідність розвитку засобів метрологічного забезпечення вимірювачів електричного поля.

**У ПЕРШОМУ РОЗДІЛІ** для обґрунтування вимог до виміральної апаратури, проведено огляд джерел електричного поля у Світовому океані.

Розглянуто принципи роботи, особливості застосування, переваги і недоліки різних типів датчиків електричного поля. Проведено дослідження їх еквівалентних схем. Одержано аналітичні вирази для їх коефіцієнта передачі, співставлено теоретичні та експериментальні дані. Проаналізовано вирази для коефіцієнта передачі датчиків з подовжувачами, в яких застосовані гідроперемикачі, зроблено висновок, що перешкодою для подальшого вдосконалення первинних перетворювачів електричного поля з гідроперемикачами є нестабільність опору гідроперемикача у закритому стані. Зміна опору гідроперемикача в процесі експлуатації стає причиною нестабільності його коефіцієнта передачі. Відомі типи датчиків є чисто лабораторними приладами. Вони мало придатні для застосування в натурних умовах - на морському дні. В кращому разі їх можна застосовувати тільки на короткі терміни досліджень, що обмежує можливість використання їх при геофізичних дослідженнях.

**ДРУГИЙ РОЗДІЛ** присвячено розробці та дослідженню нового методу вимірювання електричного поля у морській воді. Проаналізовано величину методичної похибки датчиків з гідроперемикачами. Показано, що вона виражається формулою:

$$\Delta_{\text{методу}} = \left(1 - \frac{\tau}{T}\right).$$

де:  $\tau$  - тривалість закорочення;  $T$  - період закорочень.

Показано, що нестабільність опору гідроключа у закритому стані є причиною, котра погіршує його метрологічні характеристики. Типовим засобом уникнення її дотепер було забезпечення сильнішого прилягання робочих поверхонь з допомогою різноманітних технічних рішень. Але таке рішення суперечить

вимогам до його експлуатаційних характеристик: споживана потужність досягає значень сотень Ват. Це робить такі прилади практично непридатними для застосування при тривалих автономних дослідженнях на морському дні.

В запропонованому новому типі первинного вимірювального перетворювача електричного поля у провідному середовищі між робочими поверхнями введено зазори. Цей захід підвищує надійність роботи гідроперемикачів, суттєво зменшує споживану потужність, спрощує їх конструкцію і технологію виготовлення.

Схеми різноманітних конструкцій таких гідроперемикачів показано на рис. 1.

Напряга  $U$ , котра знімається з клем  $M, N$ , зв'язана з вимірюваною напруженістю електричного поля  $E$  співвідношенням:  $U_i = EL_i + \Delta\phi_i$

де:  $L_i$  - еквівалентна довжина бази датчика;  $\Delta\phi_i$  - власна ЕРС пари електродів.

При наявності зміни напруженості електричного поля  $\Delta E$  в проміжку між замірами вираз для напруженості поля має вигляд:

$$E = \frac{(U_1 - U_2)}{mL_1} + \frac{\Delta E \cdot (1 - m)}{m} - \frac{\Delta\phi_1 - \Delta\phi_2}{mL_1}$$

де:  $m$  - параметр комутації.

Точність вимірювання тим вища, чим значення  $m$  ближче до одиниці. Для датчика побудованого по схемі рис. 1а, при конкретних значеннях: довжини патрубків  $L = 1\text{м}$ ; зазору  $\delta = 0,5\text{мм}$ , при діаметрі гідроканалів  $\phi = 0,2\text{ м}$ , величина еквівалентної довжини бази датчика в момент

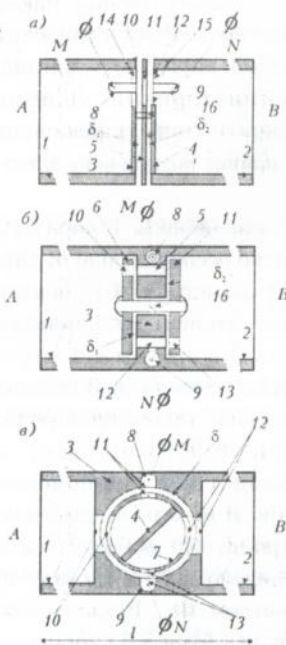


Рис. 1

вимірювання  $L_1 = 1125$  мм, в момент закорочення  $L_2 = 7$  мм, масо  $m = 0,994$ .

Збільшення  $m$  веде до підвищення точності вимірювань, що реалізовано у датчику виконаному по рис. 16. Його еквівалентна схема приведена на рис. 2. Діелектричні труби 1,2 у такому датчику мають діаметр  $\Phi_{тр}$  і заповнені зовнішнім середовищем. Вони утворюють гідроканали, котрі ведуть до корпусу 3, який виконано у вигляді диска товщиною  $d$  з плосконарелевими торцями. З ними гідроканали 1,2 з'єднані герметично. Відкриті кінці гідроканалів виведені у зовнішнє середовище, в котрому наявне вимірюване електричне поле з напруженістю  $E$ .

Гідроканали утворюють вимірювальну базу довжиною  $L$ . В корпусі 3

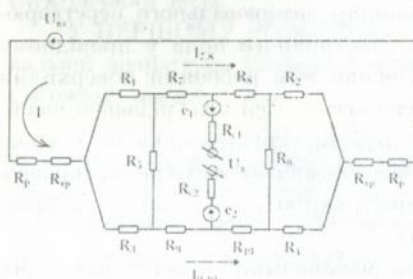


Рис. 2

виконано осепаралельні отвори 11, 12 діаметром  $\Phi_1$ , центри котрих зміщені на однакову віддаль  $D$  в протилежні сторони від осі корпусу 3. В корпусі 3 виконано також електродні камери 8,9, сполучені з отворами 11,12 з допомогою каналів. В ці камери поміщено електроди. По осі корпусу 3

встановлено вал 16. На валу 16

встановлено діелектричні шайби 5,6 діаметром  $\Phi_2$ . Віддаль між шайбами  $l$ , при цьому  $l > l_1$ . Зазори  $\delta_1, \delta_2$  між шайбами 5,6 і корпусом 3 рівні між собою.

В першому робочому положенні тонкостінної шайби 6 її отвір 10 розташований проти отвору 11 диска 3, а отвір 13 шайби 5 навпроти отвору 12. Опори розтікання струмів, що проходять через отвори 10,13 в електроліті гідроканалів 1,2 запишуться:

$$R_{1,4} \cong \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{1}{2 \cdot \Phi_1}$$

Опори розтікання струмів, що проходять від отвору 12 через зазор  $\delta_1$  до краю тонкостінної шайби 6 та від отвору 11 через зазор  $\delta_1$  до краю тонкостінної шайби 5, запишуться:

$$R_{3,2} \cong \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot \delta_{1,2}} \cdot \text{Arcch} \left( \frac{\Phi_2^2 + \Phi_1^2 - 4 \cdot D^2}{2 \Phi_1 \cdot \Phi_2} \right)$$

Опори R7, R8, R9, R10 відповідають половині опору електроліту в кожному з отворів 11, 12:

$$R_7 = R_8 = R_9 = R_{10} = R = \frac{2 \cdot d}{\pi \cdot \sigma \cdot \Phi^2}$$

Опір електроліту в зазорах  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  між отворами 11, 12:

$$R_{5,6} \cong \frac{1}{\pi \cdot \sigma \cdot \delta_{1,2}} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot D}{\Phi_1} + \sqrt{\left( \frac{2 \cdot D}{\Phi_1} \right)^2 - 1} \right)$$

Опори електроліту всередині кожного з гідропровідників 1, 2:

$$R_{\text{тр}} = \frac{2(L-d)}{\pi \cdot \sigma \cdot \Phi_{\text{тр}}^2}$$

Опір розтікання струму, що протікає через гідроподовжувачі у зовнішньому середовищі:

$$R_p = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{1}{2 \cdot \Phi_{\text{тр}}}$$

Буквою  $\sigma$  позначено електропровідність електроліту. Електричне поле створює на електродах вхідну різницю потенціалів:

$$U_{\text{вт}} \cong E \cdot L \cdot \left( 1 + 0,25\pi \cdot \frac{\Phi_{\text{тр}}}{L} \right)$$

При повороті активної частини гідроключа здійснюється антикомутація. При умовах:  $\delta_1 = \delta_2 = \delta$ , виконуються рівності:

$$R_3 = R_2; R_5 = R_6; R_7 = R_8; R_9 = R_{10}$$

Напряга холостого ходу датчика описується виразом:

$$U_{x1} = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \frac{R_5 \cdot (R_3 - R_1)}{R_1 + R_3 + R_5} - (l_1 - l_2) = 2 \cdot E \cdot L_{l_1} + (l_2 - l_1)$$

В другому основному положенні:  $U_{x2} = E \cdot L_{l_2}$

де  $L_{l_1} = -L_{l_2}$

Здійснюючи віднімання виразів для  $U_{x1}$  і  $U_{x2}$  одержимо:

$$U_{x1} - U_{x2} = 2 \cdot E \cdot L_{l_1}$$

Розрахункова величина еквівалентного коефіцієнта перетворення:

$$L_{\text{т}} = \frac{L \cdot \left(1 + 0.25\pi \cdot \frac{\Phi_{\text{тп}}}{L}\right) \cdot R_3 \cdot (R_3 - R_1)}{\left[4 \cdot (R_0 - R_{\text{тп}}) + 2 \cdot R\right] \cdot (R_1 + R_3 + R_5) + 4 \cdot R_1 \cdot R_1 + R_5 \cdot (R_1 + R_3)}$$

Первинний вимірювальний перетворювач електричного поля, виконаний по схемі рис.1в, має рухому частину виконану у вигляді циліндричної оболонки з перегородкою посередині. Принцип роботи такого перетворювача аналогічний попередньому. Він має підвищену механічну міцність.

Експериментальне дослідження первинного вимірювального

перетворювача електричного поля в морському середовищі проводилось на прикладі моделі датчика, виконаної за схемою рис.1а, еквівалентна електрична схема якого зображена на рис.3. Він

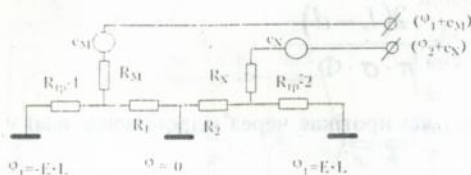


Рис.3

працює за рахунок перебудови електролітичних зв'язків вимірювальних електродів між собою і зовнішнім середовищем, яка відбувається при переміщенні діелектричного диска 8.

При наявності в середовищі напруженості електричного поля  $E$  на кінцях гідродинамічних подовжувачів 1,2 довжиною  $L$  появляться потенціали:

$$\varphi_{1,2} = \pm E \cdot \left(L + \frac{D}{2}\right) \cong E \cdot L$$

де:  $D$  - ширина щілини між заглушками 4,5. По електролітичних шляхах АКС і СТВ потечуть струми:

$$I_{1,2} = \frac{\varphi_{1,2}}{R_{1,2} + R_{\text{тп}1,2}}$$

де:  $R_{1,2}$ -опір шляху КС і СТ між диском 8 і заглушкою 4,5;

$R_{\text{тп}1,2}$ -опір шляхів АК і ТВ в подовжувачах 1,2.

При цьому:

$$R_{1,2} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot d_{1,2}} \cdot \ln\left(\frac{\Phi_4}{\Phi_2}\right) \quad R_{\text{тр}1,2} \cong \frac{4 \cdot L}{\pi \cdot \sigma \cdot \Phi_3^2}$$

Цим встановлено відповідність між геометричними розмірами датчика, середовищем та еквівалентною схемою. Це дає можливість записати вираз для довжини еквівалентної бази такого датчика в першому робочому положенні при закритих вікнах:

$$L_1 = 2 \cdot L \cdot \left[ 1 - \frac{4 \cdot L \cdot (d_1 + d_2)}{\Phi_3^2 \cdot \ln\left(\frac{\Phi_4}{\Phi_2}\right)} \right]$$

а різниця потенціалів, що знімається з електродів:

$$U_1 = E \cdot L_1 + (e_N - e_M)$$

У другому робочому положенні, коли диск 8 повернено таким чином, що спряжені вікна не перекриваються, струм  $I_0$ , котрий проходить по електролітичному шляху АКТВ:

$$I_0 = \frac{2 \cdot E \cdot L}{2 \cdot R_{\text{тр}1,2} + R_{\text{КТ}}}$$

Опір шляху КТ в щілинах вікон 6,7 і між ними:

$$R_{\text{КТ}} \cong \frac{4 \cdot (d_3 + d_4 + D)}{\pi \cdot \sigma \cdot (\Phi_2^2 - \Phi_1^2)}$$

З електродів в другому робочому положенні знімається напруга, що описується виразом:

$$U_2 = E \cdot L_2 + (I_N - I_M)$$

де:  $L_2$  - довжина еквівалентної бази в цьому положенні:

$$L_2 = \frac{D \cdot \exp\left(-\frac{\pi \cdot \Phi_1}{2 \cdot D}\right)}{\frac{\Phi_2^2 - \Phi_1^2}{\Phi_3^2} + \frac{d_3 + d_4 + D}{2 \cdot L}}$$

Встановлено відповідність між геометричними розмірами та довжиною еквівалентної бази датчика в другому основному робочому стані.

Вирази для  $U_1, U_2$  дозволяють виключити значення власного потенціалу з вимірюваної величини шляхом їх віднімання.

Значення  $L_1, L_2$  визначалися експериментально в гідролотку, де досліджувалися діючі макети описаного датчика. При дослідженнях імітувалася деформація заслонки шляхом зсуву її з штатного положення  $d_1=d_2$  в положення  $d_{2,1}=0, d_{1,2}=2d$ , а також перекося диска.

Результати експериментів показали, що в широкому діапазоні значень  $L$  та зазорів  $d_1=d_2=d$  (від 0,2 до 1,2 мм) одержано глибини модуляції сигналу  $m=0,990 \pm 0,997$ .

Розгляд шляхів подальшого вдосконалення перетворювачів електричного поля показав, що основним фактором, котрий і після вжитих заходів обмежує чутливість датчиків, є дрейф власного потенціалу електродів. Аналіз джерел дрейфу дозволив відокремити часову складову дрейфу власного потенціалу електродів і запропонувати метод його зменшення.

Суть методу полягає в реалізації такого процесу вимірювання потенціалу, при котрому через електроди в середньому протікає нульовий струм. На рис. 4 показано схему, котра реалізує такий метод

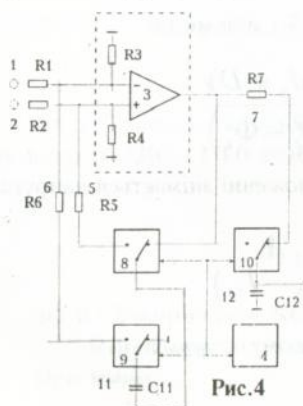


Рис. 4

вимірювання. Електроди 1,2 під'єднані до входів диференціального підсилювача з входними опорними резисторами R3, R4, коефіцієнт підсилення  $K > 1$  постійний і відомий наперед. Вихід диференціального підсилювача 3 підключений до розмикаючого контакту перемикача 8 і, через резистор R7, до такого ж контакту перемикача 10. Перемикаючий контакт останнього через конденсатор C12 з'єднаний із землею. Розмикаючий контакт перемикача 8 з'єднаний через конденсатор C11 з таким же контактом

перемикача 9, розмикаючий контакт котрого з'єднаний із землею. Замикаючі контакти перемикачів 8,9 з'єднані, відповідно, через резистори 5,6 з неінвертуючим та інвертуючим входами диференціального підсилювача. Управління перемикачами здійснюється тактовими імпульсами генератора 4.

При виконанні співвідношень :

$$R_{1,2} \ll R_{3,4}; \quad R_{5,6} = (k-1) \cdot R_{4,3}$$

у пристрої в першому основному положенні ключів 8,9,10, показаному на рис.4, різниця потенціалів:

$$U_{ax} = (\varphi_2 - \varphi_1) + (e_2 - e_1)$$

Через електроди протікає струм:  $I_1 = \frac{U_{ax}}{R_3 + R_4}$ , котрий

переносить через електроди за час тривалості імпульсу  $t$  заряд:

$$\Delta q_1 = I_1 \cdot \Delta t \cong \frac{U_{ax}}{R_3 + R_4} \cdot \Delta t.$$

Конденсатор С11 заряджається до різниці потенціалів:

$$U_{C11} = K \cdot U$$

і через конденсатор 7 підзаряджає вихідний конденсатор 12. В другому основному положенні конденсатор 12 відключається від виходу підсилювача. Конденсатор 11, відключившись від виходу підсилювача і зберігаючи на собі попередню різницю потенціалів, через замкаючі контакти ключів 8, і резистори 5,6 підключається до електродів 1,2. При цьому через електроди протікає струм:

$$I_2 = \frac{U_{ax} \cdot (1-K)}{R_5 + R_6} \approx \frac{U_{ax}}{R_3 + R_4}$$

котрий за час тривалості тактового імпульса переносить через електроди заряд:

$$\Delta q_2 = I_2 \cdot \Delta t \approx - \frac{U_{ax}}{R_3 + R_4} \cdot \Delta t,$$

по знакові оберненій заряду  $q_1$ . При щільності імпульсів тактового генератора 0,5 перенесеній через електроди сумарний заряд, за повний цикл роботи тактового генератора, стає близьким до нуля. Завдяки цьому зменшується сумарна зміна власних потенціалів контактних електродів.

Інший пристрій, що реалізує такий метод вимірювання, показано на рис.5. Тут 1,2 електроди, гідроканал 3 з перегородкою 4, диференціальний підсилювач 5 з коефіцієнтом підсилення  $K$ , резистори 6,7 з опором  $R$  і 8,9 з опором  $KR$ , інвертор 10, перемикаючий ключ 11, конденсатор 12, тактовий генератор 13.

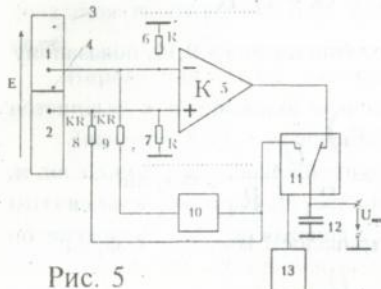


Рис. 5

В першому положенні через електроди протікає струм:

$$J = \frac{U}{2 \cdot R + 2 \cdot R_i} \approx \frac{U}{2 \cdot R}$$

Конденсатор, через розмикаючий контакт ключа 11, заряджається до:

$$U_C = K \cdot U,$$

котра, в другому основному положенні, через розмикаючий контакт ключа 11 і резистор 9 поступає на неінвертуючий вхід диференціального підсилювача. В результаті таких операцій через електроди протікає струм:

$$J = \frac{K \cdot U - U}{2 \cdot K \cdot R + 2 \cdot R_i} \approx \frac{U}{2 \cdot R},$$

напряг котрого протилежний до струму в першому основному положенні і рівний йому по величині.

Макет первинного вимірювального перетворювача з гідроперемикачем, котрий мав зазор біля 1 мм було випробувано в натурних умовах у селищі Стрілкове на березі Азовського моря. Зроблено вимір електричного поля протягом двох діб. Його величина змінювалась від 7 до 74 мкВ/М.

Експериментально встановлено необхідність дальшого вдосконалення електроприводу, який застосовується в датчиках електричного поля. В запропонованому варіанті електроприводу гідроперемикача має ротор, котрий суміщений із заслонкою гідроключа. Конструкція такого двигуна торцевої конструкції зображена на рис.6. Його ротором є диск з оргекла (заслонка гідроперемикача) товщиною 2-3 мм, по периферії котрого розміщено в отворах 20 постійних магнітів, полярність котрих по черзі міняється. Статор має двофазну обмотку, виконану у вигляді двох тонких кілець з фольгованого гетинаксу, на обох сторонах котрого виконана двошарова обмотка якоря. Два кільця з такими двошаровими обмотками розташовані по обидві сторони

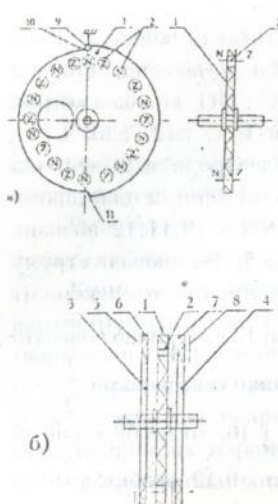


Рис.6

ротора і утворюють дві фази обмоток якоря. Кожна фазова обмотка містить спіральні секції, кількість котрих рівна кількості магнітів на роторі. Кожна секція в одному шарі містить 14 спіральних витків. При подачі на фазні обмотки відповідним чином узгоджених імпульсів вектор магніторухійної сили займає в просторі послідовні положення, що відповідає просторовому куту  $9^\circ$ . Ротор з постійними магнітами відслідковує ці положення і повертається здійснюючи кроки по  $9^\circ$ , доки не дійде до чергового фіксованого положення. Витримується пауза для замірів і ротор повертається в попередній стан.

Миттєва потужність такого електродвигуна в момент пуску дорівнює 0,5 Вт, середня потужність під час роботи -

0,3 Вт. З врахуванням щільності роботи електродвигуна (приблизно 0,5 с за кожних 15 хв.) електрична потужність, споживана електродвигуном, становить  $2 \cdot 10^{-4}$  Вт. Схема управління в проміжках між роботою електродвигуна споживає 0,3 Вт.

В ТРЕТЬОМУ РОЗДІЛІ описана розробка і дослідження установки для експериментального визначення передавальних характеристик первинного перетворювача електричного поля у водному середовищі.

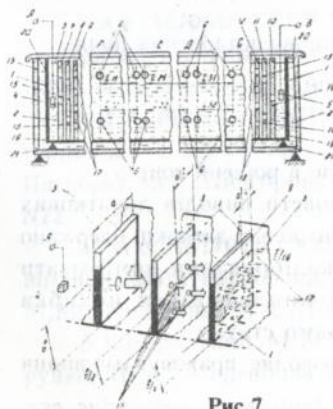


Рис.7

Структура запропонованої установки подана на рис.7.

Метрологічна кювета 1 виконується з електроізоляційного матеріалу, заповнюється електролітом 2, вільна поверхня котрого 3. Розміри поперечного перерізу електроліту позначені:  $a$  - ширина,  $b$  - глибина. В електроліт занурено задаючі електроди А, В, котрі підключені до джерела струму. У стінках кювети розміщено отвори 6 невеликого діаметру і виводи 24 додаткових електродів, котрі утворюють 12 контрольних датчиків

поля, бази котрих розташовані вздовж кювети.

Досліджуваній датчик розміщується в робочій зоні СД. Вона містить чотири датчики з базами L21, L22, L23, L24, по обидві сторони від робочої зони розміщено допоміжні зони FC і DG, кожна з котрих має відповідно контрольні датчики з базами L11, L12, L13, L14 і L31, L32, L33, L34, відповідно. Задаючі електроди відділені від допоміжних і робочої зон плоскими електроізоляційними пластинами (відповідно 7,8,9 і 10,11,12). Пластини 7,8,9 і 10,11,12 названо розсіювачами струму задаючих електродів 4,5. Розсіювачі струму побудовані таким чином, що в центрах занурених в електроліт поверхонь  $a \times b$  пластин 7 і 10, розміщено отвори 13 і 14. Якщо поверхні пластин 8,11 розбити на рівновеликі прямокутники із сторонами  $\frac{1}{2} \cdot a$  і  $\frac{1}{2} \cdot b$  в центрах котрих розмістити отвори 15 і 16, то це буде спосіб побудови другої пластини. Наступні поверхні 9,12 розбивають на рівновеликі прямокутники із сторонами  $\frac{1}{4} \cdot a$  і  $\frac{1}{4} \cdot b$ , в центрах яких розміщено отвори 17, і 18. При протіканні струму в колі електродів, останній розсіюється на отворах на рівні частини, створюючи систему рівномірно розподілених в двох паралельних площинах джерел струму. Відтворюване в кюветі поле стає однорідним вже на віддалі від розсіювача струму порядку віддалі джерел на цій пластині одне від одного, тобто  $\frac{1}{4} \cdot a$ ,  $\frac{1}{4} \cdot b$

Розміщення в зоні СД датчика викличе спотворення поля:

$$\delta E = \frac{E_2 - E_1}{E_1}$$

де:  $E_1$  - поле в допоміжній зоні;  $E_2$  - поле в робочій зоні.

Завдяки розміщенню в стінках кювети виводів додаткових електродів, котрі утворюють незалежні контрольні датчики, одержано можливість безпосередньо в момент калібрування вимірювати відтворюване в пристрої поле, чим виключається похибка калібрування, зумовлена джерелом опорного струму.

Наявність контрольних датчиків дозволяє враховувати вплив стінок на вимірюване поле.

## ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

При виконанні даної роботи було отримано наступні основні результати:

Розроблено та теоретично і експериментально досліджено новий метод вимірювання квазіпостійного електричного поля, який дозволяє розширити можливості досліджень земних надр.

Розроблено та досліджено метод зменшення дрейфу власного потенціалу контактних електродів.

Комплексно вирішено проблеми: стабілізації метрологічних параметрів; енергоспоживання та тривалості автономної роботи перетворювачів електричного поля у Світовому океані.

Запропоновано фізичні та аналітичні моделі перетворювачів поля. З їх допомогою розроблена методика аналізу метрологічних та експлуатаційних параметрів перетворювачів.

Запропоновано новий метод моделювання квазіпостійного електричного поля у провідних середовищах, на основі якого створено стандарт повірки первинних вимірювальних перетворювачів електричного поля у провідному середовищі.

Запропоновано методіку повірки перетворювачів поля, яка дозволяє визначити їх метрологічні параметри.

## ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ, що розкривають зміст роботи:

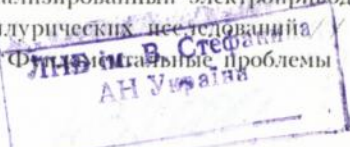
1. А.с. 1594453 СССР "Датчик для измерения напряженности электрического поля в электролите", Богородский М.М., Жданов М.С., Мельцер М.С., Симоненко Г.Б., Сопрунок П.М., Пидгирияк Я.Е. Оpubл. 1990, Бюл. N 35.

2. А.с. 1670648 СССР "Устройство для калибровки измерителей электрического поля" Богородский М.М., Жданов М.С., Сопрунок П.М., Пидгирияк Я.Е. Оpubл. 1991, Бюл. N 30.

3. А.с. 1821756 СССР "Устройство для измерения разности потенциалов в электролитах", Богородский М.М., Жданов М.С., Пятибрат А.О., Пидгирияк Я.Е., Сопрунок П.М., Оpubл. 1993, Бюл. N22.

4. А.с. 1817041 СССР "Устройство для измерения разности потенциалов в проводящих средах" Сопрунок П.М., Богородский М.М., Пидгирияк Я.Е., Пятибрат А.О., Оpubл. 1993, Бюл. N19.

5. Богородский М.М., Елизаров В.В., Нагайцев В.И., Сопрунок П.М., Пидгирияк Я.Е. Специализированный электропривод для аппаратов подводных магнитотеллурических исследований // Тез. докл. VII Всесоюзного семинара "Фундаментальные проблемы



морских электромагнитных исследований", Звенигород, 1988.

6. Богородский М.М., Жданов М.С., Мельцер Я.А., Симоненко Г.Б., Пидгирияк Я.Е. Глубоководный датчик для измерения квазистационарных электрических полей в море // Тез. докл. УП Всесоюзного семинара "Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований", Звенигород, 1988.

7. Богородский М.М., Жданов М.С., КЛЕКОВКИН В.А., Сопрунюк П.М., Пидгирияк Я.Е. Установка для тарирования датчиков квазистационарного электрического поля в море // Тез. докл. УП Всесоюзного семинара "Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований", Звенигород, 1988

8. Богородский М.М., Жданов М.С., Сопрунюк П.М., Пидгирияк Я.Е., Исследование свойств и опыт построения стенда проверки измерителей электрического поля // Тез. докл. УШ Всесоюзного семинара "Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований", Звенигород, 1990.

9. Богородский М.М., Жданов М.С., Пятибрат И.П.; Сопрунюк П.М., Пидгирияк Я.Е., Устройство для измерения разности потенциалов в непроводящих средах // Тез. докл. УШ Всесоюзного семинара "Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований", Звенигород, 1990.

10. Богородский М.М., Сопрунюк П.М., Пидгирияк Я.Е., Натурные испытания первичного измерительного преобразователя электрического поля в Азовском море // Тез. докл. УШ Всесоюзного семинара "Фундаментальные проблемы морских электромагнитных исследований", Звенигород, 1990.

11. Богородский М.М., Жданов М.С., Клековкин В.А., Сопрунюк П.М., Пидгирияк Я.Е. Тарировка измерителей электрического поля в проводящих средах // Тез. докл. Всесоюзного совещания "Актуальные проблемы развития океанографической информации", Москва, 1989.

12. Богородский М.М., Жданов М.С., Мельцер А.Я., Симоненко Г.Б., Сопрунюк П.М., Пидгирияк Я.Е. Измерение квазипостоянного электрического поля в море // Тез. докл. Всесоюзного совещания "Актуальные проблемы развития океанографической информации", Москва, 1989.

13. Сопрунюк П.М., Богородский М.М., Пидгирияк Я.Е. Методика экспериментального визначення передаточних характеристик первинних вимірювальних перетворювачів електричного поля // Сборник трудов международного научно-технического семинара"

Морское и экологическое приборостроение", Севастополь, 1994.

14. Сопрунок П.М., Богородский М.М., Підгірняк Я.Є. Глибоководний первинний вимірювальний перетворювач квазишостійного електричного поля // сборник трудов міжнародного науково-технічного семінара "Морское и экологическое приборостроение", Севастополь, 1995.

15. Сопрунок П.М., Богородский М.М., Нагайцев В.І., Підгірняк, Спеціалізований електропривід для первинних вимірювальних перетворювачів електричного поля з негерметизованим гідрокомутатором // Сборник трудов міжнародного науково-технічного семінара "морское и экологическое приборостроение", Севастополь, 1995.

AB 35.044

**AB 35.044**