

На правах рукопису

КОСАЧ НАТАЛІЯ ІГОРІВНА

УДК 532.517.08

РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ І ЗАСОВУ
ВИМІРЮВАННЯ ЧИСЛА РІЧАРДСОНА І ЧАСТОТИ
ВІЯСЯЛЯ БРЕНТА В НАТУРНИХ УМОВАХ

Спеціальність: 05.11.15. Метрологія : метрологічне
забезпечення

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-1992

№ 26.59

Працю виконано в Харківському державному науково-виробничому об'єднанні "Метрологія".

Науковий керівник: к.т.н., старший науковий співробітник
Большаков В.В.

Офіційні опоненти: д.т.н., професор Себок В.П.
к.т.н., доцент Марков Б.Ф.

Провідна установа: НДІ Укрводгео

Захист відбудеться " 18 " 02 1992р. о 15 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 04І.08.01 при Харківському державному науково-виробничому об'єднанні "Метрологія"
за адресою: 310078, Харків, вул. Мироносицька, 40.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці об'єднання.

Автореферат розіслано " 18 " 01 1992р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
к.т.н.

Кушко Кушко В.С.



ЛННБ України ім. В. Стефаніка



00816976 (.)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність праці.

У водах Світового океану є зосереджена велика кількість природних ресурсів. Майбутнє бурхливо зростаючого населення планети є тісно пов'язане з перспективами освоєння його мінеральних, біологічних і енергетичних запасів. На сучасному етапі практичної діяльності людини проблема освоєння Світового океану є тісно пов'язана з проблемою його комплексного вивчення.

Зараз спостерігається зростаючий інтерес до дослідження градієнтів рівних гідрофізичних характеристик океану, пов'язаний в першу чергу з аналізом вертикального тепломасоперенесення і стійкості руху.

Найінформативнішими градієнтними безрозмірними величинами, які характеризують динамічну стійкість стратифікованої структури океану, є число Річардсона (Ri) і частота Вьяйсяля-Брента (N):

$$Ri = \frac{N^2}{\left(\frac{\partial V}{\partial z}\right)^2}; \quad N^2 = -\frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \quad (1)$$

По суті, число Річардсона являє собою відношення потенціальної енергії до турбулентної і характеризує здатність швидкості зсуву генерувати турбулентну енергію по відношенню до здатності градієнту густини її ослаблювати. Частота Вьяйсяля-Брента - частота плавучості - частота власних коливань рідини у стійко-стратифікованому середовищі є мірою вертикальної гідростатичної стійкості стратифікованого океану, яка характеризує динамічний стан морської середовища. Частоту Вьяйсяля-Брента можна розглядати як теоретично граничну величину - всі реальні коливання /внутрішні хвилі/ відбуваються з нижчими частотами.

На сьогодні основним методом визначення числа Ri і частоти N є їхнє обчислення на основі емпіричних даних про солоність S , температуру T , тиск P середовища і швидкості течії V в точці

вимірювань. Визначення Ri і N вимагає синхронних вимірювань по-
лів густини води $\rho = \rho(S, T, P)$ і швидкості течії з мінімальною від-
даллю між вимірювальними пристроями, тобто для виконання даної
задачі є необхідні прилади з високим просторово-часовим розв'язан-
ням. Як правило, поставлені вимогдночасногозабезпечення опера-
тивності, точності і розв'язучоїздатності при вимірюваннях гідро-
фізичних параметрів задовольнити надто складно.

В зв'язку з усе зростаючим інтересом до реальних величин чис-
сел Річардсона і частоти Вьєсіяля-Брента і маючи на увазі тенден-
цію сучасного океанологічного приладобудування до комплексності і
багатоканальності, уявляється вельми актуальною і своєчасною поста-
новка питання про створення спеціального приладу "Ri-метр", за
допомогою якого процедура визначення числа Ri і частоти N зро-
билася б у практиці океанологічних досліджень такого ж звичайною,
як, наприклад, вимірювання температури або швидкості течії.

Мета праці:

- розробка методу і засобу вимірювання числа Річардсона і частоти Вьєсіяля-Брента в натурних умовах, які мають необхідну розв'язучу здатність і нормовані похибки вимірювання;
- створення метрологічного забезпечення для реалізації розроблено-
го методу вимірювання числа Ri і частоти N - електромагнітного
вимірника /МГД вимірника/ двох компонентів вектора швидкості рі-
динних потоків;
- дослідження метрологічних характеристик розроблених вимірників
вектора швидкості течії, числа Річардсона і частоти Вьєсіяля-Брента.

Наукова новизна праці полягає в тому, що в ній уперше:

- теоретично обгрунтовано і експериментально підтверджено можли-
вість визначити число Річардсона і частоту Вьєсіяля-Брента однією
групов сканувачих вимірників гідрофізичних параметрів середовища,
кож місце знаходження останніх визначається за часом і вертикаль-

ним компонентом швидкості сканування;

- розроблено методику визначення числа Річардсона і частоти

Вяйсяля-Брента однією групою скануючих виміривачів, коли місце знаходження останніх і градієнти вимірюваних параметрів середовища визначаються за часом і вертикальним компонентом швидкості;

- для забезпечення розробленого методу вимірювання Ri і N створено МГД - виміривач двох компонентів вектора швидкості рідинних потоків;

- теоретично і експериментально досліджено: залежність показів МГД- виміривачів швидкості течій від фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища; діаграму спрямованості сферичного МГД - виміривача з Ш- подібною магнітною системою, визначено умови, за яких такі засоби вимірювання ΔV забезпечують незалежне, синхронне вимірювання двох компонентів вектора швидкості рідинних потоків, розміри області формування сигналу /робочої області/ таких ΔV , встановлено залежність розмірів робочої області виміривачів від конструктивних параметрів перетворювача; залежність чутливості сферичного МГД- виміривача двох компонентів вектора швидкості від конструктивних параметрів його перетворювача і від режиму обтікання осередненим потоком в широкому діапазоні чисел Рейнольдса; визначено оптимальні конструктивні параметри МГД- перетворювача і умови, за яких градувальна характеристика таких ΔV є лінійною і його покази практично не залежать від числа Рейнольдса (Re);

- розроблено експериментальний макет комплексного виміривача числа Річардсона і частоти Вяйсяля-Брента — ΔV "Ri-метр";

- розроблено "Програму і методику атестації електромагнітних виміривачів швидкості" і "Програму і методику атестації комплексного виміривача" "Ri-метр";

- зроблено експериментальні дослідження метрологічних характеристик розроблених МГД- виміривача двох компонентів вектора швидкості ЕВШ і комплексного виміривача "Ri-метр".

На захист вносяться:

1. Методика визначення вертикальних компонентів градієнтів гідрофізичних параметрів досліджуваного середовища за часом і швидкістю сканування вимірвачів.

2. Обґрунтування можливості незалежного вимірювання двох компонентів /вертикального і горизонтального в напрямку течії/ вектора швидкості довільно спрямованого потоку рідини за допомогою сферичного МГД-вимірвача з відповідною Ш- подібною магнітною системою і двома парами належним чином розташованих вимірвальних електродів.

3. Обґрунтування раціональності вимірювання числа Річардсона і частоти Вейселя-Врента однією групою скануючих вимірвачів гідрофізичних параметрів середовища, коли місце знаходження останніх визначається за часом і вертикальним компонентом швидкості сканування.

4. Результати досліджень:

- метрологічних характеристик існуючих методів і засобів вимірювання Ri і N ;

- оптимальних конструктивних параметрів сферичних МГД-вимірвачів двох компонентів вектора швидкості рідинних потоків;
- ступеня залежності показів таких МГД-вимірвачів від фізикохімічних властивостей вимірюваного середовища; їхньої ортогональності, тобто здатності вимірювання синхронно-незалежним шляхом двох компонентів вектора швидкості рідини, діаграми спрямованості, конфігурації і протяжності області просторового осереднення, метрологічних характеристик;

- метрологічних характеристик макету " Ri -метр": графікувальних характеристик вимірвальних каналів " Ri " і " N ", залежності показів від швидкості і частоти сканування, а також від градієнтів швидкості і температури вимірюваного середовища.

Практична цінність і реалізація праці.

На підставі результатів виконаної роботи розроблено метод і засіб вимірвальня числа Річардсона і частоти Вьясяля-Врента - 3В "Ri-метр", який дозволяє в реальному масштабі часу за достатньо високої розв'язуючіадгності робити вимірювання значень Ri і N з детермінованими похибками в натурних умовах.

Для забезпечення розробленого методу створено МГД-вимірвач двох компонентів вектора швидкості рідинних потоків.

Розроблені вимірвачі забезпечуть комплексне дослідження структури стратифікованого шару океану з науково-дослідного судна. Їхнє впровадження у практику гідрофізичних досліджень підтверджено відповідним Актom.

Апробація праці.

Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідались і одержали позитивну оцінку на I Р-есокеній конференції "Проблеми стратифікованих течій" /м. Дрмала, 1988р./, III Всесоюзній науково-технічній конференції "Метрологія в дальнометрії" /м. Харнів, 1988р./, III Всесоюзній школі-семінарі "Методи гідрофізичних досліджень" /м. Світлогорськ, 1989р./, II Всесоюзній конференції "Проблеми стратифікованих течій" /м. Кшнів, 1991р./, IV Школі-семінарі "Методи гідрофізичних досліджень" /м. Світлогорськ, 1992р./

Публікації.

По темі дисертації опубліковано II праць, список яких подано в кінці реферату.

Структура і обсяг дисертації.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох глав, висновку, список використаної літератури, в який занесено 138 найменувань, додатків. Вона містить 133 сторінок основного тексту, 20 рисунків і 5 таблиць.

ЗМІСТ ПРАЦІ

У вступі коротко розглянуто роль і місце числа Річардсона і частоти Вьясяля-Брента при вивченні динамічних характеристик стратифікованої структури океану. Показано основні труднощі визначення Ri і N і актуальність розробки вимірників числа Річардсона і частоти Вьясяля-Брента.

У першій главі наведено аналіз методів і засобів вимірювання числа Річардсона і частоти Вьясяля-Брента в натурних умовах.

Показано, що:

- на сьогодні в гідрометричній практиці є відсутні атестовані засоби вимірювання Ri і N ;
- розрахунок Ri і N за експериментальними даними гідрологічних спостережень і вертушечних вимірювань течій при обчисленні градієнтів гідрофізичних величин не забезпечує необхідної точності визначення цих параметрів і дозволяє одержувати лише їхні якісні оцінки;
- розв'язуюча здатність традиційного способу вимірювання Ri і N є порядку 1 м - флуктуації гідрофізичних параметрів саме таких масштабів реєструється рознесеними на відстань $\sim 1\text{ м}$ двома групами відповідних вимірників S , T , P і V ;
- похибки вимірювання числа Ri і частоти N в натурних умовах за допомогою існуючих методик, методів і засобів вимірювання можуть досягати значних величин - $\sigma_{Ri} \sim 200\%$, $\sigma_N \sim 20-50\%$; в сезонному термодинамічному кліні - $\sigma_{Ri} \sim 50-100\%$, $\sigma_N \sim 5\%$.

Отже, існуючі зараз методи і засоби вимірювання Ri і N в натурних умовах не відповідають потребам океанологічних досліджень - мають низьку точність вимірювань і невисоку розв'язуючу здатність.

В зв'язку з цим у праці поставлено такі задачі:

- а/ розробка методу і засобу вимірювання Ri і N в натурних умовах, які мали б високу розв'язуючу здатність і прийнятні нормовані похибки;

б/ дослідження основних метрологічних характеристик розробленого вимірвача числа Річардсона і частоти Вьясяля-Брента.

У другій главі здійснено розробку методу вимірювання Ri і N за допомогою скануючого STPV зонду. При цьому вимірювання Ri і N здійснюється за допомогою однієї групи скануючих вимірвачів, коли горизонт вимірювання і градієнти гідрофізичних параметрів досліджуваного середовища визначається за часом t і вертикальним компонентом швидкості сканування V_z - швидкості зворотно-поступального руху вимірвачів у вертикальній площині, який викликається, наприклад, хитавицею НДС, з борту якого найчастіше робляться океанологічні роботи.

Як алгоритми для визначення N і Ri використовувались вирази (1), в яких, відповідно до гіпотези Тейлора, виконано перехід від просторової метрики до часової:

$$N^2 = \frac{g}{\rho} \frac{1}{V_z} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} ; \quad Ri = \frac{N^2}{\left(\frac{1}{V_z} \frac{\partial V_z}{\partial t} \right)^2} \quad (2)$$

Гіпотеза Тейлора, а тож і прийнятий алгоритм (2), певно справджується тоді, коли варіації швидкості в напрямку осередненого руху є малі порівняно зі швидкістю сканування. Очевидно, що ця умова при океанологічних дослідженнях напевно виконується, оскільки величина пульсацій швидкості в натурних умовах є порядку 1 см/с, вертикальна ж швидкість сканування, пов'язана з хитавицею судна, ~ 50 см/с.

Розв'язує здатність цього методу, зумовлена сталов часу вимірвачів осереднених значень термодинамічних характеристик і швидкості зворотно-поступального руху вимірвачів, досягає 0,1 м, що є на порядок краще, ніж в існуючих способах.

Однак похибки вимірювання числа Ri і частоти N в натурних умовах за допомогою скануючого STPV зонду все ж залишаються досить великими: $\sigma_{Ri} \sim 150\%$, $\sigma_N \sim 20\%$. Це обумовлено

рологічними характеристиками існуючих вимірвачів швидкості течії. Для реалізації розробленої методики вимірювання числа Річардсона і частоти Вьясяля-Брента з нормованими похибками необхідно забезпечити високе вимірювання двох компонентів /вертикального і горизонтального вздовж течії/ вектора швидкості рідини. Вимірвачі мають бути реверсивними.

Проведено аналіз існуючих методів і ЗВ вимірювання швидкості рідинних потоків, який показав, що найбільше задачі вимірювання двох компонентів вектора швидкості в поверхневому шарі океану відповідає електромагнітний метод, і створені на його основі МГД-вимірвачі, що мають високу механічну міцність, надійність, здатність робити вимірювання в аерованих і забруднених середовищах. Ці вимірвачі є безенергійні, їхній вихідний сигнал є електричний. Встановлено, що задачі вимірювання двох компонентів вектора швидкості течії найбільше відповідають сферичні МГД-вимірвачі з подібною магнітною системою.

Однак, досі залишається відкритим питання про залежність показів таких вимірвачів від фізико-хімічних властивостей рідини, в якій робляться вимірювання; існують надто суперечливі думки стосовно їхньої ортогональності, тобто здатності вимірювати незалежним чином синхронно два компоненти вектора швидкості довільно спрямованого потоку рідини; не досліджено ступінь залежності показів від різних режимів їхнього обтікання осередненим потоком рідини - числа Рейнольдса; не визначено діаграму спрямованості і конфігурацію області просторового осереднення таких вимірвачів.

Без відповідей на поставлені питання неможливо використати сферичні МГД-вимірвачі швидкості як ЗВ двох компонентів вектора швидкості в розроблюваному вимірвачі числа Річардсона і частота Вьясяля-Брента в поверхневому стратифікованому шарі океану.

Розв'язуванню цих задач присвячено третью главу.

Робота МГД-вимірвачів ґрунтується на тому, що під час руху електропровідної рідини в магнітному полі вимірвача в ній індукується електричне поле E , пропорційне швидкості течії рідини і індукції, B магнітного поля приладу $E = [VB]$. Сигналом МГД-вимірвача є різниця потенціалів $\varphi = -\nabla E$, яку знімають з його електродів. Показано, що сигнал таких вимірвачів визначається густиною j електричних струмів, індукованих у вимірваному потоці рідини, який переміщується в магнітному полі вимірвача.

$$\mathcal{U} = \varphi_{E_1} - \varphi_{E_2} = \int_{E_1}^{E_2} \frac{j_i}{\sigma} dl,$$

де σ - електропровідність рідини; dl - елемент контура інтегрування L , що сполучає електроди E_1 і E_2 МГД-вимірвача.

При застосуванні МГД-вимірвачів швидкості в умовах стратифікованого океану, де середовище може бути істотно неоднорідним ($\sigma = \nu \alpha \rho$), принциповим питанням є оцінка ступеня впливу неоднорідності вимірваних потоків рідини на покази вимірвачів.

Оцінку ступеня залежності показів МГД-вимірвачів від фізико-хімічних властивостей середовища проведено на основі аналізу його електричної моделі, яка відображає струмовий механізм роботи таких приладів.

Показано, що покази МГД-вимірвачів залежать від опору середовища, міжелектродного проміжутку і вимірвального приладу; в разі однорідного середовища залежність їхніх показів фізико-хімічних властивостей середовища, як відомо, можна звести до прийнятого мінімуму шляхом збільшення вхідного опору вимірвача; в разі неоднорідного середовища покази МГД-вимірвачів залежать від фізико-хімічних властивостей середовища незалежно від величини вхідного опору вимірвача; одним з шляхів зниження даної залежності в неоднорідних потоках є зменшення області просторового осере-

дняння ЗВ. Визначено протяжність і конфігурацію області просторового осереднення МГД-виміривачів двох компонентів вектора швидкості на основі аналізу їхньої узагальненої вагової функції W ,

$$U_{E_1 E_2} = \iiint_{\Omega} (vW) d\Omega \quad (3)$$

яка описує вклад елементарних об'ємів вимірюваного потоку в сигнал виміривача. Тут Ω - об'єм рухомої рідини.

Узагальнена вагова функція W визначалася в результаті знаходження розподілу електричного потенціалу φ у вимірюваному потоці рідини, що обтікає МГД-перетворювач, на основі розв'язку класичної задачі Неймана для рівняння Пуассона:

$$\Delta\varphi = \text{div}[VB]; \quad \frac{\partial\varphi}{\partial n}|_s = 0, \quad \frac{\partial\varphi}{\partial n}|_{\infty} \rightarrow 0 \quad (4)$$

Для визначення у явному вигляді W було знайдено розподіл вектора магнітної індукції B поля розсіювання магнітної системи МГД-виміривача у вимірюваному потоці рідини. Розподіл магнітної індукції B в робочій області перетворювача визначається на основі розв'язку диференціальних рівнянь

$$\Delta\varphi_m = 0; \quad B = -\nabla\varphi_m$$

за таких природних межових умов:

$$\left. \frac{\partial\varphi_m}{\partial r} \right|_{r=R} = -F(\theta), \quad F(\theta) = \begin{cases} B_0, & 0 < \theta < \alpha; \\ 0, & \alpha < \theta < \beta, \quad \beta < \theta < \pi; \\ -B_0, & \beta < \theta < \pi; \end{cases} \quad \left. \frac{\partial\varphi_m}{\partial r} \right|_{r \rightarrow \infty} \rightarrow 0,$$

де B_0 - характерне значення магнітної індукції;
 α, β, π - параметри, що характеризують розміри центрального полюсу магнітопроводу, величину пазу під катушку збудження магнітного поля і протяжність усієї магнітної системи МГД-виміривача.

Зроблені розрахунки показали, що область просторового осереднення розглядуваного вимірвача:

- симетрична відносно баз електродів;
- в основному сконцентрована над центральним полем магнітопроводу, її протяжність не перевищує $1,5-2$ радіуси (R_0) центрального поля магнітопроводу і не залежить від величини винесення електродів у потік;
- являє собою деякий квазіконічний трохи витягнутий вздовж бази електродів об'єм вимірюваного потоку.

Відповідно до результатів виконаних досліджень установлено такі геометричні параметри і місцезнаходження електродів в МГД-вимірвачі, за яких його область просторового осереднення буде локалізована в безпосередній близькості від міжелектродного проміжку і неоднозначність показів розроблюваного ЗВ, обумовлена неоднорідністю середовища в умовах реального поверхневого шару океану, не перевищуватиме 1% .

Виконано дослідження ортогональності вимірвача швидкості.

На основі аналізу узагальненої вагової функції W сферичного МГД-вимірвача швидкості з III-подібною магнітною системою показано, що для того, щоб даний вимірвач мав ортогональність, необхідно, щоб його магнітна система була осесиметричною, а кожна пара електродів розташовувалася на взаємно перпендикулярних базах.

При цьому кожна пара електродів реєструватиме синхронно і незалежно тільки одну ортогональну базу електродів складову вектора швидкості потоку.

При розробці МГД-вимірвачів швидкості істотним є питання про їхню чутливість S . Через те, що покази вимірвачів (3) в значній мірі визначаються місцезнаходженням електродів і структурою магнітного поля перетворювача, тобто його конструктивними параметрами, то виникає необхідність визначення оптимальних конструктивних параметрів первинного перетворювача, за яких його покази

в припустимій мірі залежали б від режиму обтікання, тобто числа Рейнольдса. Для в'яснення цього питання було визначено сигнал МГД-виміривача при його обтіканні довільним потоком рідини на основі розв'язку відповідної кривої задачі (4).

При цьому розподілу швидкості у виміривальному довільно спрямованому потоці рідини в звичайній сферичній системі координат в широкому діапазоні чисел Re виміривався шляхом таких інтерполяційних поліномів /відомих по літературним джерелам/:

$$V_{\varphi} = \sum_{k=0}^{\infty} D_k \left(\frac{\delta R}{\rho}\right)^k \cdot (V_{0x} \sin \theta \cos \varepsilon + V_{0y} \sin \theta \sin \varepsilon + V_{0z} \cos \theta),$$

$$V_{\theta} = \sum_{k=0}^{\infty} D_k \left(\frac{\delta R}{\rho}\right)^k \cdot (1-0,5k)(V_{0x} \cos \theta \cos \varepsilon + V_{0y} \cos \theta \sin \varepsilon - V_{0z} \sin \theta), \quad (5)$$

$$V_{\varepsilon} = \sum_{k=0}^{\infty} D_k \left(\frac{\delta R}{\rho}\right)^k \cdot (1-0,5k)(-V_{0x} \sin \varepsilon + V_{0y} \cos \varepsilon),$$

де V_{0x}, V_{0y}, V_{0z} - компоненти вектора швидкості незбуреного вимірюваного потоку; δ - безмірний параметр, який характеризує товщину ізоляційного покриття обтікача сферичного МГД-виміривача.

Значення коефіцієнтів D_k для різних Re визначалися по епоках швидкості в околі обтічної сфери.

Безрозмірна відносна чутливість МГД-виміривача згідно з виразами (4) і (5) визначалися так:

$$S = \frac{U}{V_0 B_0 R} = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{A_n D_k P_n'(\cos \varepsilon)}{(n+1)(2n+k+1)(\delta+\gamma)^{n+1}} \cdot \left[(3-k) \frac{n+k+1}{n+1} - \left(\frac{\delta}{\delta+\gamma}\right)^k - \frac{(2-k)(2n+k+1)}{n+1} \right], \quad (6)$$

де γ - величина винесення електродів у потік.

Вираз (6) дозволяє врахувати вплив швидкості потоку на чутливість МГД-виміривача вектора швидкості у всьому можливому діапазоні зміни чисел Рейнольдса.

Аналіз виразу (6) показав, що величина винесення електродів у потік не збільшує чутливість виміривача, а навіть трохи її знижує. В зв'язку з ним можна зробити висновок про нерациональність винесення електродів у вимірюваний потік.

На рис. 1 і 2 подано графіки залежності чутливості S_0 і неоднозначності показів δS_0 % від місцезнаходження електродів за різ-

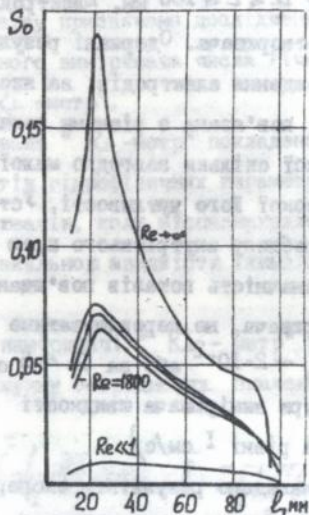
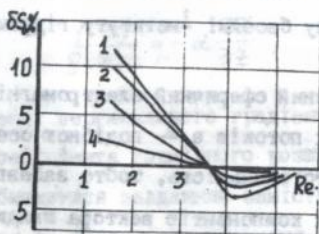


Fig. 1.



1- $l=12\text{mm}$; 2- $l=22\text{mm}$; 3- $l=60\text{mm}$;
4- $l=95\text{mm}$.

Fig. 2.

них режимів обтікання (чисел Re) МГД-виміривача. Міжелектрона відстань варіювалася в межах $12 < \ell < 100$ мм. Електроди розташовувались врівень з тілом перетворювача. Одержані результати показали, що існує таке місцезнаходження електродів, за якого неоднозначність показів виміривача, пов'язана з різними режимами обтікання, не перевищуватиме будь-якої скільки завгодно малої наперед заданої величини за достатньо високої його чутливості. Установлено, що при розташуванні електродів поблизу внутрішнього краю зовнішнього полюсу магнітопроводу неоднозначність показів пов'язана з різними режимами обтікання МГД-виміривача, не перевищуватиме 2% за порогової чутливості ~ 1 см/с ($S_0 \sim 2 \cdot 10^{-2}$ або за $R \sim 5$ см, $B \sim 600$ Гс і шумів електронної апаратури виміривача швидкості ~ 1 мкВ його порогова чутливість буде на рівні 1 см/с).

В закінченні глави наведено результати експериментальних досліджень діаграми спрямованості, чутливості і градувальної характеристики розробленого на основі одержаних результатів МГД-виміривача двох компонентів вектора швидкості довільно спрямованого потоку рідини. Дослідження виконувалися за розробленою і затвердженою "Програмою і методикою метрологічної атестації виміривача вектора швидкості /ЕВВШ/" на дослідному басейні Інституту гідромеханіки АН України.

Показано, що розроблений сферичний електромагнітний виміривач вектора швидкості рідинних потоків з Ш-подібною осесиметричною магнітною системою має ортогональність, тобто забезпечує незалежне синхронне вимірювання двох компонентів вектора швидкості довільно спрямованого потоку рідини, відносна середня квадратична похибка відхилення його діаграми спрямованості від ідеальної в широкому інтервалі зміни кута набігання потоку $/-50^\circ \leq \theta \leq 185^\circ/$ не перевищує 5%, що знаходиться в межах точності експерименту; має реверсивність і лінійну градувальну характеристику; порогова чутливість виміривача є на рівні 1 см/с.

Початковими даними для обчислення Ri і N^2 були результати вимірювання швидкості течії і вертикального компонента швидкості сканування за допомогою розробленого на основі виконаних досліджень електромагнітного вимірника вектора швидкості - ЕВВШ і температури середовища - за допомогою термоопірникового вимірника ВРТ-5, розробленого СКТБ "Турбулентність" /м. Донецьк/.

Розроблений вимірник числа Річардсона і частоти Вьяйсяля-Брента згідно в ДЕСТ 8.437 відноситься до інформаційно-вимірвальних систем /ІВС/, бо являє собою сукупність об'єднаних обчислювальних і вимірвальних засобів, за допомогою яких на основі відповідних алгоритмів (7) за поданими на вхід вимірника значеннями швидкості течії, вертикальної швидкості сканування і температури середовища здійснюється обчислення значень N^2 і Ri .

Виконано дослідження метрологічних характеристик ІВС "Ri-метр". Відповідно до ДЕСТ 8.326 вони проводилися комплексно за розробленою "Програмою і методикою метрологічної атестації вимірника "Ri-метр" так:

1/ на входи контрольованих каналів 3 В "Ri-метр" подавалися зразкові значення електричних сигналів, які відповідають вимірюваним величинам; швидкості сканування V_1 , швидкості течії V_H і температурі середовища T ;

2/ результати вимірювання N^2 і Ri на виході вимірника "Ri-метр" порівнювалися з відповідними їм значеннями сигналів, обчислених відповідно до реалізованих алгоритмів (7), в результаті чого визначалися похибки вимірвальних каналів "N²" і "Ri". При цьому значення N^2 і Ri визначалися у можливих інтервалах зміну градієнтів термогідродинамічних величин в натурних умовах: температури середовища - /0,5/° С/м; швидкості течії - /1,5-5/·10⁻² м/с/мі швидкості сканування - /0,3-1/у м/с.

При проведенні досліджень метрологічних характеристик ІВС " Ri - метр" визначалися градувальні характеристики каналів вимірювання N^2 і Ri , а також похибки, обумовлені можливими в натурних умовах варіаціями термогідродинамічних параметрів досліджуваних середовищ, швидкості і частоти сканування вимірника.

Проведені експериментальні дослідження МХ розробленого макету ІВС " Ri -метр" показали, що:

- градувальні характеристики по обох каналах вимірювання N^2 і Ri є лінійні;
- зведені середні квадратичні інструментальні похибки вимірювання N^2 і Ri за можливих в натурних умовах варіацій термогідродинамічних параметрів досліджуваних середовищ не перевищують 0,5%;
- межі зведеної основної припустимої похибки вимірювань, зумовленої максимально можливими в умовах відкритого океану при виконанні гідрологічних робіт з дрейфуючого судна змінами частоти і швидкості сканування не перевищують: по каналу " N^2 " - 12,3%, по каналу " Ri " - 10,8% за $P=0,95$.

Результати проведених досліджень оформлені відповідним протоколом.

Розроблений макет комплексного вимірника числа Річардсона і частоти Вьясяля-Брента " Ri - метр" пройшов апробацію в натурних умовах. За його допомогою досліджувалися амплітудно-частотні характеристики внутрішніх хвиль і енергетика сезонного термокліну в умовах відкритого океану в рамках експедиції Інституту космічних досліджень. Одержані за його допомогою наукові результати дозволили розширити знання про динаміку поверхневого шару океану. Впровадження вимірника " Ri - метр" в практику океанологічних досліджень підтверджено відповідним актом.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

Результати виконаної дисертаційної праці дозволяють зробити такі висновки.

1. Розроблено методику вимірювання числа Річардсона і частоти Вейселя-Брента за допомогою однієї групи скануючих вимірювачів, коли місцезнаходження останніх і значення вертикальних градієнтів гідрофізичних параметрів середовища визначаються за часом і швидкістю сканування. Використання такої методики дозволяє поліпити на порядок розв'язуючу здатність і точність вимірювання частоти N і числа Ri в натурних умовах.

2. Для реалізації запропонованої методики розроблено вимірювач двох /вертикального і горизонтального вздовж напрямку потоку/ компонентів вектора швидкості. Розробку здійснено на базі сферичного МГД-вимірювача вектора швидкості з Π - подібною магнітною системою.

3. В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень визначено геометричні і конструктивні параметри МГД-перетворювача швидкості, за яких:

- залежність показів таких $3 B$, зумовлена зміною фізико-хімічних властивостей вимірюваного середовища, не перевищує 1%;

- $3 B$ мають ортогональність, тобто забезпечують незалежне синхронне вимірювання двох компонентів вектора швидкості - відносна середня квадратична величина відхилення діаграми спрямованості вимірювача від ідеальної в широкому інтервалі $-5 \leq \theta \leq 165^\circ$ кута набігання потоку не перевищує 5%, що знаходиться в межах точності експерименту;

- чутливість $3 B$ є порядку 1 см/с;

- неоднозначність показів, пов'язана з різним режимом обтікання МГД-перетворювача довільно спрямованим потоком /варіацією числа Рейнольдса в найширшому діапазоні/, не перевищує 2%;

- ці ЗВ мають реверсивність і лінійну градувальну характеристику.

4. Розроблено методику реалізації алгоритмів визначення числа Річардсона і частоти Вейселя-Брента. Відповідно до запропонованої методики розроблено макет комплексного вимірвача "Ri метр", який забезпечує синхронне вимірювання в реальному масштабі часу вертикального, горизонтального в напрямку течії компонентів вектора швидкості, азимуту течії, температури середовища, числа Ri і частоти N .

5. Розроблено і затверджено Програму і методику метрологічної атестації комплексного вимірвача "Ri-метр". За даною Програмою виконано експериментальні дослідження метрологічних характеристик розробленого макету вимірвача "Ri-метр". Показано, що:

- градувальні характеристики ЗВ по каналах Ri і N^2 є лінійні;
- середні квадратичні інструментальні похибки вимірювання N^2 і Ri за можливих в натурних умовах варіацій термогідродинамічних параметрів досліджуваних середовищ не перевищують 0,5%;
- середні квадратичні похибки вимірювань N^2 і Ri , пов'язані з максимально можливими змінами швидкості і частоти сканування ЗВ при виконанні гідрологічних робіт з дрейфуючого судна в умовах відкритого океану, не перевищує: по каналу " N^2 " - 6,0%, по каналу " Ri " - 5,0%.

6. Розроблений комплексний вимірвач "Ri-метр" проявив апробацію в натурних умовах. За його допомогою досліджувались амплітудно-частотні характеристики внутрішніх хвиль і енергетика сезонної термоклину в рамках експедиції Інституту космічних досліджень в Тихому океані /1989р./ і Російсько-Американського експерименту "Pre-Smetti" в Атлантичному океані /1992р./.

Основні результати дисергації опубліковано в таких працях:

1160 545

1. Большаков В.Б., Королев В.Б., Косач Н.И. Влияние неоднородности среды на метрологические характеристики МГД-измерителей гидродинамических параметров //Тез.докл. I Всесоюз. конф. "Проблемы стратифицированных течений" Т.2. Юрмала, 1988 С. 182-185.
2. Большаков В.Б., Королев В.Б., Косач Н.И., Купко В.С. Метрологическое обеспечение градиентных измерений гидрофизических параметров среды. //Тез.докл. III Всесоюз. школы-семинара "Методы гидрофизических исследований". Светлогорск, 1989. С. 58-59.
3. Большаков В.Б., Королев В.Б., Косач Н.И. Метрологическое обеспечение градиентных измерений гидрофизических параметров среды в дальнометрии //Сб. научн.тр. "Вопросы разработки дальномерных систем и их метрологического обеспечения" Л. НИО ВНИИ им. Д.И.Менделеева, 1990. С.85-91.
4. Большаков В.Б., Косач Н.И. Исследование МГД-измерителей гидродинамических параметров в задачах метрологического обеспечения гидродальнометрии //Тез.докл. III Всесоюз. науч.-техн. конф. "Метрология в дальнометрии". Харьков, ГНПО "Метрология", 1988. С. 29-30.
5. Большаков В.Б., Королев В.Б., Косач Н.И. Метрологическое обеспечение измерений числа Ричардсона и частоты Вьяйсяля-Брента в поверхностном стратифицированном слое океана //Тез.докл. II Всесоюз. конф. "Проблемы стратифицированных течений". Канев, 1991. С. 13-14.
6. Большаков В.Б., Королев В.Б., Косач Н.И., Купко В.С. Метрологическое обеспечение градиентных измерений гидрофизических параметров среды //Измерительная техника. 1991. №4. С. 23-25.
7. Большаков В.Б., Королев В.Б., Косач Н.И. Измеритель числа Ричардсона. - "Ri-метр" //Тез.докл. Всесоюз. школы "Технические средства и методы исследования Мирового океана" Т.2. М. 1991. С.33.
8. Большаков В.Б., Косач Н.И., Купко В.С. Разрешающая способность МГД-измерителей гидродинамических параметров стратифицированных потоков //Тез.докл. IV школы-семинара "Методы гидрофизических исследова-

дований". М. 1992, С. 91-92.

9. Косач Н.И. Исследования диаграммы направленности и области пространственного осреднения сферических МГД- измерителей скорости //Сб. научн. тр. "Методы и средства метрологического обеспечения измерений характеристик ветрового волнения и гидродинамических параметров в поверхностном слое океана". Харьков: ГНПО "Метрология", 1991. С. 50-66.

10. Вольшаков В.В., Королев В.В., Косач Н.И. Экспериментальное исследование диаграммы направленности сферических МГД- измерителей скорости //Сб. научн. тр. "Методы и средства метрологического обеспечения измерений характеристик ветрового волнения и гидродинамических параметров в поверхностном слое океана". Харьков: ГНПО "Метрология". 1991. С. 67-74.

11. Вольшаков В.В., Косач Н.И., Исследование влияния нестационарности контактных измерителей на их метрологические характеристики //Сб. научн. тр. "Методы и средства метрологического обеспечения измерений характеристик ветрового волнения и гидродинамических параметров в поверхностном слое океана". Харьков: ГНПО "Метрология". 1991. С. 75-92.

АВ 26.591
АВ 26.591

Подписано в печать 05.01.93 г.

I печ.л.

Тираж 100 экз.

Зак. №452

Отпечатано на ротаринте НПО "Метрология"
г. Харьков-76, ул. Мироносицкая, 40