

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Онищук Олег Володимирович

УДК 681.883.482

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОБРОБКИ ТА ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ
ЗАПОВНЕННЯ ЕХОСИГНАЛІВ ДОПЛЕРІВСЬКОГО ЛАГА**

Спеціальність 05.11.08 – Радіовимірювальні прилади

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті

Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент, лауреат Державної премії СРСР
Барась Святослав Тадіонович,
Вінницький національний технічний університет,
доцент кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кичак Василь Мартинович,
Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри телекомунікаційних систем та телебачення

доктор технічних наук, професор
Філіпський Юрій Костянтинович,
Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри радіотехнічних пристроїв

Захист відбудеться “14” _____ 03 _____ 2009 р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.052.02 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ауд. 210 ГУК.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий “10” _____ 02 _____ 2009 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С.В. Павлов

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми. Україна є морською державою, яка володіє різноманітним класом кораблів та суден Військово-Морського флоту, Міністерства Морського флоту, Міністерства рибного господарства, річкового флоту, торговельного флоту тощо. Високі міжнародні вимоги щодо якості навігаційного забезпечення стимулюють пошуки шляхів удосконалення існуючих та розробки нових навігаційних приладів та систем для потреб таких об'єктів плавання. За часів існування СРСР у галузі створення навігаційного обладнання мало місце монополія і в Україні цей напрямок був розвинений недостатньо. Таким чином, для сучасної України розвиток навігаційних систем безумовно є актуальним.

Згідно з вимогами Міжнародної Морської Організації (ІМО) об'єкти надводного і, особливо, підводного плавання повинні бути оснащені лагом –автономним навігаційним приладом для визначення швидкості руху та пройденого ними шляху. Від того, наскільки точно лаг визначає швидкість руху об'єкту залежить рівень безпеки плавання в цілому, здійснення швартовних операцій крупнотонажними суднами, економічні витрати часу, пального, а також ефективність роботи інших навігаційних приладів, які використовують інформацію про швидкість. У зв'язку з цим ставляться високі вимоги щодо точності та надійності роботи лагів.

Серед автономних вимірювачів швидкості найширше застосовуються доплерівські лаги, в основі роботи яких лежить ефект Доплера. Питання, пов'язані з цим науковим напрямом досліджень, розглядалися у роботах Бараса С.Т., який був тривалий час головним конструктором уніфікованого ряду доплерівських лагів, що розроблялись для всіх класів надводних і підводних об'єктів плавання, а також Бородіна В.І., Виноградова К.А., Осюхіна Б.А., Кошкарева В.М., Хребтова А.А., Євтютюва А.П., Букатого В.М. та ін.

Аналіз сучасних розробок доплерівських лагів, які застосовуються на переважній більшості об'єктів плавання, показав, що розв'язання проблеми достовірного і точного визначення складових вектора швидкості рухомого об'єкту цими приладами досі в повному обсязі не вирішена. Основним джерелом випадкової складової похибки вимірювання швидкості об'єкта плавання доплерівським лагом є похибка визначення доплерівських зсувів частоти, яка пов'язана з процесом обробки та вимірювання частоти заповнення доплерівських ехосигналів. Методи і засоби, які для цього використовуються в сучасних доплерівських лагах і є типовими для обробки радіосигналів в області радіонавігаційного обладнання, не забезпечують необхідної точності визначення доплерівських зсувів частоти, оскільки не враховують особливості структури доплерівських ехосигналів (закони поведінки обвідної та високочастотного заповнення). Ці проблеми до сьогоднішнього дня залишаються належним чином не вивченими.

У дисертаційній роботі розглядаються питання аналізу структури ехосигналів доплерівського лага, як основного чинника впливу на точність вимірювання доплерівських зміщень частоти, і за результатами їх розв'язання – розробки нових або удосконалення існуючих методів і засобів обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів. Тому дану дисертаційну роботу можна класифікувати як актуальну, що спрямована на розв'язання важливого науково-технічного завдання підвищення точності доплерівського лага.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури Вінницького національного технічного університету згідно із планом наукових досліджень Вінницького національного технічного університету і Міністерства освіти і науки України у рамках держбюджетної теми № 50-Д-309 «Аналіз і синтез RLC-негатронів на базі інжекційно-польових ефектів в багатоелектродних напівпровідникових структурах Шотткі та створення на їх основі високоефективних інформаційних пристроїв. Дослідження інжекційно-польових ефектів та імітансних властивостей багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі» (№ДР 0108U000660), у виконанні якої автор брав безпосередню участь як відповідальний виконавець, і відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки та техніки в Україні «Нові комп'ютерні засоби та технології інформатизації суспільства».

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методів і засобів обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів для підвищення точності визначення доплерівських зсувів частоти та складових вектора швидкості об'єкта плавання доплерівським лагом.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1. Удосконалити математичну модель доплерівських ехосигналів шляхом врахування не тільки основних, але і додаткових факторів, що впливають на механізм їх формування та дослідити особливості їх структури, визначити поведінку обвідної та високочастотного заповнення, як чинників впливу на похибку вимірювання частоти Доплера.

2. На основі удосконаленої математичної моделі створити шляхом імітаційного моделювання фізичні моделі доплерівських ехосигналів, визначити вплив на їх структуру засобів попередньої обробки доплерівського лага, які передують вимірювачам частоти, з урахуванням їх функціональних схем і реальних параметрів, виконати аналіз моделі ехосигналу та установити адекватність її реальним доплерівським ехосигналам.

3. Розробити нові або удосконалити існуючі методи і засоби обробки ехосигналів та вимірювання частоти їх заповнення, що забезпечить зменшення похибки вимірювання доплерівських зсувів частоти та підвищення точності визначення доплерівським лагом складових вектора швидкості об'єкту плавання.

4. Проаналізувати складові похибки вимірювання частоти заповнення ехосигналів запропонованими методами та засобами.

Об'єктом дослідження є процес обробки ехосигналів доплерівського лага та вимірювання у них доплерівських зсувів частоти.

Предметом дослідження є методи та засоби обробки ехосигналів доплерівського лага та вимірювання у них частоти заповнення.

Методи дослідження базуються на принципі феноменологічного моделювання доплерівських ехосигналів, математичному апараті Гільберта для оцінки основних параметрів ехосигналів, імітаційному моделюванні для створення фізичних моделей ехосигналів, методах аналізу перехідних процесів у частотно-вибірних колах, статистичних методах та теорії похибок для аналізу метрологічних характеристик методів та засобів обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів доплерівського лага.

Наукова новизна одержаних результатів:

- розроблено метод вимірювання частоти з використанням часової фрагментації доплерівського ехосигналу, у якому на відміну від існуючих, вимірювання частоти заповнення здійснюється у тих фрагментах сигналу, в яких його обвідна перевищує адаптивний поріг, що дало можливість визначити доплерівські зсуви частоти, які є адекватними складовим вектора швидкості об'єкту плавання та характеризуються найменшими флуктуаціями;

- удосконалено метод вузькосмугової фільтрації доплерівських ехосигналів, у якому на відміну від існуючих, частота заповнення ехосигналу завжди максимально наближена до середньої частоти фільтра, що дозволяє зменшити вплив перехідних процесів у фільтрі на похибку вимірювання частоти заповнення цих сигналів;

- модифіковано математичну модель доплерівського ехосигналу, яка на відміну від існуючих враховує основні та додаткові фактори, пов'язані з параметрами руху об'єкту плавання, акваторії та дна, які впливають на механізм формування цього сигналу, що дало можливість виявити у складі доплерівського ехосигналу двох основних видів фрагментів, в одному з яких доплерівські зсуви частоти відповідають швидкості руху об'єкту плавання, а в іншому - така відповідність відсутня;

- вперше отримано фізичні моделі доплерівських ехосигналів шляхом імітаційного моделювання, для яких на відміну від існуючих, встановлено їх адекватність реальним доплерівським ехосигналам та визначено взаємозв'язки між окремими параметрами моделі, що дало можливість виявити основні чинники, які впливають на похибку вимірювання доплерівських зсувів частоти.

Практичне значення одержаних результатів:

– удосконалено алгоритми та засоби вимірювання частоти ехосигналів доплерівського лага на основі розробленого методу з використанням часової фрагментації, що дало можливість майже у 5–10 раз зменшити похибку вимірювання частоти заповнення доплерівських ехосигналів і, таким чином, підвищити точність вимірювання доплерівським лагом по вздовжньої і поперечної складових вектора швидкості;

– сформульовано рекомендації щодо структури та алгоритмів роботи засобів попередньої обробки ехосигналів доплерівського лага, які базуються на реалізації слідкуючої вузькосмугової фільтрації і забезпечують зведення до мінімуму вплив перехідних процесів у частотно-вибірних колах на доплерівський ехосигнал, що дало можливість зменшити похибку вимірювання частоти заповнення цього сигналу;

– розроблено комп'ютерну програму для моделювання та дослідження структури доплерівських ехосигналів, яка реалізує розроблені в дисертації методи обробки та вимірювання частоти заповнення цих сигналів і може бути використана під час проектування високоточних доплерівських лагів.

Результати дисертаційних досліджень впроваджено у Центрі панорамних акустичних систем НАН України та у навчальний процес кафедри проектування комп'ютерної та телекомунікаційної апаратури Вінницького національного технічного університету. Впровадження результатів дисертаційної роботи підтверджується відповідними актами.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, що складають основний зміст дисертаційної роботи, отримано автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, дисертанту належить: [1,2,3,8,9] – уточнення алгоритмів часової діаграми функціонування лага в змінних умовах плавання; [4,10] – постановка задачі, обробка та інтерпретація результатів експерименту; [5,12] – модернізація математичної моделі доплерівського ехосигналу, імітаційне моделювання фізичних моделей цього сигналу; [6,11] – встановлення адекватності змодельованих сигналів реальним доплерівським ехосигналам, узагальнення моделі ехосигналів доплерівського лага; [7] – розробка методу часової фрагментації ехосигналів та оцінка похибки вимірювання частоти їх заповнення; [13,14,15] – розробка алгоритмів та удосконалення засобів обробки і вимірювання частоти заповнення ехосигналів доплерівського лага.

Апробація результатів дисертації. Викладені в дисертації результати пройшли апробацію на 8 науково-технічних конференціях: III Міжнародній конференції «PHOTONICS – ODS-2005» (Вінниця, 2005); I Міжнародній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП-2005) (Вінниця, 2005); XXXIV-XXXVI науково-практичній конференції професорсько-викладацького складу, студентів та співробітників ВНТУ (Вінниця, 2005-2007); II Міжнародній конференції «Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПМРТП-2006) (Вінниця, 2006); III Міжнародній конференції «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування» (СПРТП-2007) (Вінниця, 2007); Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми, методи та засоби досліджень Світового Океану» (Запоріжжя, 2008).

Публікації. Основні наукові та практичні результати кандидатської дисертації опубліковано у 16 наукових працях. З них 7 науково-технічних статей – у фахових наукових виданнях, що входять до переліку ВАК України, 5 публікацій – у матеріалах та тезах міжнародних наукових конференцій, 3 патенти України на корисні моделі, а також 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір комп'ютерну програму.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, основних висновків по роботі, чотирьох додатків та бібліографічного списку із 140 найменувань. Загальний обсяг дисертації складає 175 сторінок, з яких основний зміст викладений на 149 сторінках друкованого тексту, містить 5 таблиць та 46 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність проблеми, мета та основні завдання дослідження, визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, дається

характеристика реалізації та впровадження положень роботи, подається інформація щодо апробації й публікації результатів дисертаційної роботи, особистий вклад у надрукованих працях та обсяг дисертації.

У першому розділі проаналізовано існуючі методи і засоби вимірювання частоти заповнення доплерівських ехосигналів, а також моделі цих сигналів. На основі проведеного аналізу визначено основні напрямки досліджень.

У другому розділі здійснюється теоретична розробка математичної моделі доплерівських ехосигналів, імітаційне моделювання фізичних моделей цих сигналів, дослідження структури доплерівського ехосигналу та з'ясування найоптимальніших умов для процедури вимірювання його частоти заповнення.

На основі методу феноменологічного моделювання розроблено математичну модель доплерівського ехосигналу, яка враховує вплив параметрів руху об'єкту плавання, глибини місцевої акваторії та параметрів розсіювальної ділянки дна на структуру цього сигналу. Згідно з цим методом доплерівський ехосигнал можна уявити на приймальній антені лага у вигляді суми парціальних ехосигналів, що формуються в результаті розсіювання випроміненого сигналу еквічастотними лініями в межах озвученої характеристикою спрямованості антени лага ділянки дна (рис. 1,а)

$$s(t) = \sum_{m=1}^{M(t)} A_m \cos[2\pi f_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi_m(t) + \varphi_{Rm}], \quad (1)$$

де f_0 – частота заповнення радіосигналу за мить до випромінювання (робоча частота лага); φ_0 – початкова фаза випроміненого радіосигналу; A_m – амплітуда m -того парціального ехосигналу; $\Delta\varphi_m(t)$ – змінна в часі складова повної фази m -того парціального ехосигналу, зумовлена ефектом Доплера; φ_{Rm} – випадкова складова повної фази m -того парціального ехосигналу, яка виникає в момент розсіювання випроміненого сигналу еквічастотною лінією і зумовлена неоднорідностями поверхні дна (приймає значення від $-\pi$ до $+\pi$); $M(t)$ – кількість парціальних ехосигналів, які надходять на антену лага протягом часу прийому.

а

б

Рис.1. Вплив розсіювальної ділянки дна (а) і параметрів руху об'єкту плавання (б) на структуру доплерівського ехосигналу

Для врахування впливу параметрів руху об'єкту плавання в моделі (1) використана складова $\Delta\varphi_m(t)$ повної фази m -того парціального ехосигналу, яка виникає за рахунок руху об'єкту плавання протягом часу, коли сигнал перебуває на антені лага

$$\Delta\varphi_m(t) = \left[\frac{2\pi f_{1m}}{c} Vt \cos \alpha_m - \frac{2\pi f_{1m}}{c} \frac{H}{\sin \alpha_m} + \frac{2\pi f_{1m}}{c} Vt \cos \beta_m - \frac{2\pi f_{1m}}{c} \frac{H}{\sin \beta_m} \right], \quad (2)$$

де V – швидкість руху об'єкту плавання; c – швидкість ультразвуку у воді; α_m, β_m – кути між об'єктом плавання та m -тою еквічастотною лінією відповідно під час випромінювання та прийому сигналів; f_{1m} – значення частоти m -того парціального ехосигналу; H – глибина акваторії.

Амплітуди парціальних ехосигналів залежать від положення відповідних еквічастотних ліній в межах озвученої ділянки дна і можуть бути оцінені з урахуванням кутів нахилу і ширини характеристики спрямованості антени лага

$$A_m = \frac{R_m^2}{R_{m-1}^2} A_{m-1} = \frac{\sin^2 \alpha_m}{\sin^2 \alpha_{m-1}} A_{m-1}, \quad (3)$$

де R_m, R_{m-1} – відстані від об'єкту плавання відповідно до m -тої та $m-1$ -ої еквічастотних ліній; A_m, A_{m-1} – амплітуди m -того та $m-1$ -ого парціальних ехосигналів.

Випромінювання та прийом антеною лага сигналів кінцевої тривалості під кутом у напрямку дна, а також кінцева ширина характеристики спрямованості антени лага і значні розміри озвученої ділянки дна призводять до динамічного процесу озвучення розсіювальної ділянки випроміненим сигналом (рис.1,а). В результаті збільшується тривалість вхідного до-

плерівського ехосигналу, а також у його складі виникають неусталені зони на початку і в кінці цього сигналу, які характеризуються не повністю сформованою структурою у порівнянні зі структурою середньої усталеної зони ехосигналу.

Для дослідження структури доплерівського ехосигналу на основі математичної моделі (1) був використаний математичний апарат Гільберта, що дало можливість отримати формулу, яка відображає взаємозв'язки між амплітудою обвідної, фазою та миттєвою частотою ехосигналу та доводить існування у його складі двох видів компонент – компоненти, яка за значенням доплерівських зсувів частоти точно відповідає осі характеристики спрямованості антени і найбільш адекватно відповідає швидкості об'єкту плавання, і компоненти, яка є функцією не тільки швидкості, але і ширини променя характеристики спрямованості антени лага та амплітуд парціальних ехосигналів. Саме друга компонента вносить нестационарність у поведінку височастотного заповнення доплерівського ехосигналу

$$\omega = \omega_0 \frac{1 + \frac{V}{c} \cos \alpha_0}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha_0} - \omega_0 \frac{\frac{2V}{c} \sin \alpha_0 \sin \gamma}{1 - \frac{V}{c} \cos \alpha_0} \cdot \frac{\left(\frac{A_{m-1}^2}{A_{m+1}^2} - 1\right)}{\frac{A_{m-1}^2}{A_{m+1}^2} + 2 \frac{A_{m-1}}{A_{m+1}} \cos[\Delta\Psi(t)] + 1}, \quad (4)$$

де α_0 – кут нахилу осі характеристики спрямованості антени лага відносно горизонту; γ – ширина характеристики спрямованості антени; $\Delta\Psi(t)$ – різниця фаз парціальних ехосигналів, яка виникає в результаті їх додавання на антені лага;

Отримано формули для визначення частоти обвідної доплерівського ехосигналу, з якої видно, що обвідна цього сигналу характеризується суцільним спектром частот, що поширюється від нульової частоти до деякої максимальної, значення якої визначається швидкістю об'єкту плавання, робочою частотою, кутом нахилу осі променя і шириною характеристики спрямованості

$$\Omega_{обмакс} = \omega_0 \frac{2V \sin \alpha_0 \sin \gamma}{c - V \cos \alpha_0}. \quad (5)$$

На основі розробленої математичної моделі (1) шляхом імітаційного моделювання створено фізичні моделі доплерівських ехосигналів (рис. 2), проаналізовано структуру цих сигналів та визначені закони поведінки миттєвих частот (рис. 3) та спектрів (рис. 4) при різних швидкостях V руху об'єкту плавання, змінних глибинах H та тривалостях радіосигналів $\tau_{випр}$, що випромінюються, а також наявності неоднорідностей дна.

a *б* *в*

Рис.2. Структура доплерівських ехосигналів, змодельованих для:
a – $V_1=1$ м/с, $\tau_{випр1}=10$ мс; *б* – $V_2=5$ м/с, $\tau_{випр2}=30$ мс; *в* – $V_3=7$ м/с, $\tau_{випр3}=100$ мс

a *б* *в*

Рис.3. Графіки миттєвих частот доплерівських ехосигналів, змодельованих для:
a – $V_1=1$ м/с, $\tau_{випр1}=10$ мс; *б* – $V_2=5$ м/с, $\tau_{випр2}=30$ мс; *в* – $V_3=7$ м/с, $\tau_{випр3}=100$ мс

a *б* *в*

Рис.4. Графіки спектрів доплерівських ехосигналів, змодельованих для:
a – $V_1=1$ м/с, $\tau_{випр1}=10$ мс; *б* – $V_2=5$ м/с, $\tau_{випр2}=30$ мс; *в* – $V_3=7$ м/с, $\tau_{випр3}=100$ мс

На наведених графіках спостерігається залежність структури доплерівського ехосигналу від швидкості об'єкту плавання, а також – кореляція між змінами амплітуди обвідної та значенням миттєвої частоти цих сигналів (рис. 2, 3).

Проведений аналіз дав можливість в межах тривалості змодельованих сигналів виділити три види інтервальних фрагментів. Інтервальні фрагменти 1-го виду відносяться до тих ділянок сигналу, в межах яких обвідна приймає максимальні значення, а відповідні миттєві

частоти незмінні (на відповідних графіках мають вигляд горизонтальної прямої). Інтервальні фрагменти 2-го виду відповідають ділянкам змодельованого сигналу, в межах яких амплітуда обвідної мінімальна, а відповідні миттєві частоти стрімко зміщуються відносно сталого значення частоти Доплера у той чи інший бік, створюючи викиди частоти. Інтервальні фрагментів 3-го виду або зони переднього та заднього фронтів змодельованих сигналів відрізняються від попередніх не лише за часовою ознакою, але й за рівнями та спектром флуктуацій частоти заповнення та амплітуди.

Результати вимірювання частоти заповнення в цих фрагментах зведено у табл. 1, з якої видно що лише інтервальні фрагменти 1-го виду можуть вважатися об'єктивними носіями інформації про доплерівські зсуви частоти, які є адекватними швидкості руху об'єкту плавання.

Таблиця 1

Результати дослідження частоти заповнення в інтервальних фрагментах 1-го, 2-го та 3-го видів змодельованих доплерівських ехосигналів

V, м/с	Інтервальні фрагменти 1-го виду		Інтервальні фрагменти 2-го виду		Інтервальні фрагменти 3-го виду (зони фронтів)	
	$ \Delta F_{\text{д іум1}} , \text{Гц}$	$\sigma_{f_{\text{іум1}}}, \text{Гц}$	$ \Delta F_{\text{д іум2}} , \text{Гц}$	$\sigma_{f_{\text{іум2}}}, \text{Гц}$	$ \Delta F_{\text{д іум3}} , \text{кГц}$	$\sigma_{f_{\text{іум3}}}, \text{кГц}$
1	3	7	35	55	1-15	70-100
5	2	6	40	50	1-10	30-50
7	4	9	30	60	0,2-1	2-10

У **третьому розділі** виконано дослідження впливу на структуру доплерівського ехосигналу засобів попередньої обробки лага, які спрямовані на оцінювання впливу перехідних процесів на частоту заповнення ехосигналу, а також на встановлення адекватності розроблених моделей реальним доплерівським ехосигналам.

В приймальному тракті лага вимірювачі частоти заповнення ехосигналів структурно знаходяться після пристроїв попередньої обробки, які підсилюють ехосигнал та покращують співвідношення сигнал/шум на вході вимірювачів (рис. 5). Смуга пропускання частотно-вибірних кіл приймального тракту лага визначається суперечними вимогами: для забезпечення максимального відношення сигнал/шум смуга повинна бути мінімальною, а для зменшення тривалості перехідних процесів смуга повинна бути широкою. З іншого боку смуга пропускання частотно-вибірних кіл повинна вибиратись з урахуванням динамічних змін доплерівських зсувів частоти приймального ехосигналу, які відповідають швидкостям заднього ходу об'єкту плавання 5 вузлів та переднього – 50 вузлів.

Рис.5. Засоби обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів доплерівського лага

Для оцінювання впливу перехідних процесів у частотно-вибірних колах на високочастотне заповнення доплерівських ехосигналів експериментально визначалась ступінь розбіжності між значеннями частоти заповнення імпульсного радіосигналу та частотами у зонах перехідних процесів на виході вузькосмугового фільтра. В результаті встановлено таке. Якщо існує велика різниця між носійною частотою вхідного сигналу та середньою частотою смуги пропускання фільтра, то точне вимірювання частоти заповнення доплерівського ехосигналу на виході фільтра можливе лише за умови, коли вимірювальний строб (інтервал вимірювання) знаходиться за межами зон перехідних процесів. За умови, коли значення носійної частоти вхідного радіосигналу досить близьке до середньої частоти смугового фільтра, то протягом тривалості перехідних процесів спостерігаються мінімальні спотворення високочастотного заповнення вихідного сигналу. Очевидно, реалізація цієї умови на практиці дасть можливість досить точно виконувати вимірювання у будь-якій зоні вихідного сигналу.

Реальні ехосигнали можуть бути ідентифіковані лише на виході пристроїв попередньої обробки лага. З цієї причини для встановлення адекватності розроблених в даній роботі моделей ехосигналів реальним сигналам доплерівського лага виконано моделювання прохо-

дження суміші доплерівського ехосигналу та шуму через вузькосмуговий фільтр. Очевидно, параметри такого фільтра відповідають параметрам частотно-вибірних кіл, які використовуються у схемі приймально-підсилювального тракту доплерівського лага та передують пристрою вимірювання частоти. Результати моделювання наведено на рис. 6 та рис. 7.

a *б* *в*

Рис.6. Фізичні моделі адитивної суміші доплерівського ехосигналу та шуму на виході смугового фільтра: *a* – $V=1$ м/с; *б* – $V=5$ м/с; *в* – $V=7$ м/с

a *б* *в*

Рис.7. Графіки миттєвих частот адитивної суміші доплерівського ехосигналу та шуму на виході смугового фільтра: *a* – $V=1$ м/с; *б* – $V=5$ м/с; *в* – $V=7$ м/с

В результаті порівняльного аналізу змодельованих сигналів (рис. 6) з осцилограмами реальних ехосигналів (рис. 8), які зняті в аналогічній точці приймального тракту, для однакових чи близьких початкових умов, виявлено очевидну схожість їх форми та однакову залежність характеру обвідної моделей та реальних сигналів від швидкості об'єкту плавання.

a *б* *в*

Рис.8. Осцилограми реальних доплерівських ехосигналів, отриманих при:
a – $V_1=1$ м/с; *б* – $V_2=5$ м/с; *в* – $V_3=7$ м/с

Для кількісної оцінки флуктуацій частоти заповнення реальних і змодельованих сигналів оброблялись масиви даних, які отримані в результаті вимірювання частоти заповнення в межах коротких парціальних інтервалів, що виділялись протягом часу існування реальних і змодельованих ехосигналів. За допомогою цих масивів були проаналізовані криві щільності розподілу, що дало підстави прийняти закон розподілу миттєвих частот нормальним і використати для оцінки флуктуацій частоти відповідний математичний апарат. Результати такої оцінки для реальних та змодельованих ехосигналів зведено у табл. 2.

Таблиця 2

Оцінка флуктуацій частоти заповнення реальних та змодельованих ехосигналів

№ масиву даних	$f_0=69813$ Гц, $H=27$ м, $a_c=30$, $\tau_{\text{випр}}=30$ мс, $\gamma=3^0$, $V=5$ м/с		№ масиву даних	$f_0=69813$ Гц, $H=100-150$ м, $a_c=30$, $\tau_{\text{випр}}=100$ мс, $\gamma=3^0$, $V=7$ м/с	
	σ_{f_m} , Гц	$\sigma_{f_{\text{екс}}}$, Гц		σ_{f_m} , Гц	$\sigma_{f_{\text{екс}}}$, Гц
М1А	1,01	1,1	МС-16	0,81	0,9
М1Б	0,84	1,2	МС-19	0,65	0,8
М2Б	0,92	1,0	МС-20	0,73	0,85

Порівняльний аналіз отриманих результатів показав їх надзвичайну близькість, що дало підставу остаточно підтвердити адекватність отриманих моделей реальним доплерівським ехосигналам.

У **четвертому розділі** виконується розробка методів і удосконалення засобів обробки доплерівського ехосигналу, які спрямовані на зменшення впливу перехідних процесів на високочастотне заповнення цього сигналу, а також методів та засобів вимірювання частоти заповнення у тих фрагментах ехосигналу, в яких доплерівські зсуви частоти є адекватними швидкості руху об'єкту плавання.

Запропоновано метод слідкуючої вузькосмугової фільтрації, який дає можливість мінімізувати вплив перехідних процесів на частоту заповнення доплерівського ехосигналу, а також зменшити мінімально-допустиме співвідношення сигнал/шум шляхом приведення частоти заповнення вхідного ехосигналу f до значення середньої частоти смуги пропускання фільтра $f_{0\phi}$.

Для реалізації слідуючої вузькосмугової фільтрації ехосигналів доплерівського лага необхідна інформація про усереднене значення частоти вхідних сигналів f_{cp} по відповідному променю антенної системи лага. Значення усередненої частоти повинне визначатись за тривалий проміжок часу за результатами вимірювання частоти заповнення ехосигналів, отриманих в Z попередніх циклах випромінювання-прийому сигналів лагом

$$f_{cp} = \frac{1}{Z} \sum_{i=1}^Z f_i, \quad (6)$$

де Z – кількість циклів випромінювання-прийому сигналів, протягом яких визначається усереднене значення частоти вхідних ехосигналів.

Таким чином, на момент прийому кожного доплерівського ехосигналу лаг володіє інформацією про поточну середню частоту вхідних ехосигналів, що дає можливість визначати в реальному часі різницеву частоту між усередненою частотою вхідного ехосигналу f_{cp} та середньою частотою вибірного кола $f_{0\phi}$, яка називається гетеродинною частотою f_r . Значення гетеродинної частоти використовується для створення гетеродинної напруги, яка разом із вхідним ехосигналом у робочому режимі подається на частотний змішувач. В результаті частота доплерівського ехосигналу на виході змішувача виявляється максимально наближеною до середньої частоти вузькосмугового фільтра, що зменшує вплив перехідних процесів.

На основі запропонованого методу сформульовано рекомендації щодо структури і алгоритму роботи засобу слідуючої вузькосмугової фільтрації, який на відміну від принципу фазової автопідстройки частоти, працює з постійним значенням частоти гетеродина протягом тривалості ехосигналу, але визначає потрібне значення гетеродинної частоти на інтервалах між ехосигналами.

Розроблено метод вимірювання частоти заповнення ехосигналів з використанням часової фрагментації цього сигналу, який базується на виділенні зон ехосигналу, доплерівські зсуви в яких є адекватними складовим вектора швидкості об'єкту плавання та характеризуються найменшими флуктуаціями. Суть рекомендацій полягає в наступному.

На першому етапі з процесу вимірювання вилучаються зони переднього та заднього фронтів доплерівського ехосигналу, які характеризуються значними частотними спотвореннями. Мова йде про частотні спотворення, які зумовлені динамічним процесом озвучення розсіювальної ділянки дна та перехідними процесами в частотно-вибірних колах засобів попередньої обробки. Для цього розраховуються час покриття ділянки дна

$$t_n = \frac{H}{c} \left[\frac{1}{\sin(\alpha_0 - \gamma/2)} - \frac{1}{\sin(\alpha_0 + \gamma/2)} \right] \quad (7)$$

та тривалість перехідних процесів

$$t_{nn} \geq k / \Delta f_{\phi}, \quad (8)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від коефіцієнта прямокутності амплітудно-частотної характеристики смугового фільтра; Δf_{ϕ} – смуга пропускання фільтра.

Після цього вибирається більше значення і на його основі встановлюється строб τ_{ϕ} заборони вимірювання на початку і в кінці ехосигналу (рис.9,б,в).

На другому етапі у середній частині доплерівського ехосигналу виділяються зони (фрагменти), в яких амплітуда обвідної доплерівського ехосигналу перевищує поріг C_a (рис. 9,а,б). Застосування при цьому адаптивного порогу C_a дає можливість максимально наблизити вимірювальний фрагмент до зони з мінімальними флуктуаціями частоти.

Завершальний етап – безпосередній процес вимірювання частоти заповнення у виділених фрагментах модифікованим методом підрахунку нулів. Для цього у виділеному фрагменті підраховується кількість цілих періодів вимірювальної частоти n_g заповнення доплерівського ехосигналу (рис. 9,з) та кількість періодів n_{em} опорної частоти еталонного генератора (рис. 9,д) і за результатами цих вимірювань визначається частота заповнення ехосигналу за відомою формулою

$$f = n_g / (n_{em} T_{em}), \quad (9)$$

де T_{em} – період еталонної частоти.

На практиці процеси фрагментації доплерівського ехосигналу і вимірювання частоти заповнення можуть бути реалізовані з допомогою засобу, в основу роботи якого покладено метод часової фрагментації з використанням адаптивного порогу та модифікований метод підрахунку нулів. Структура пристрою наведена на рис. 10.

Рис.9. Пояснення методів часової фрагментації та вимірювання частоти заповнення доплерівського ехосигналу

Рис.10. Засоби вимірювання частоти заповнення (а) та часової фрагментації (б) доплерівського ехосигналу

Ехосигнал (рис.9,б) по першій вхідній шині 1 надходить на вхід обмежувача 1 сигналів і детектора 3 (рис.10,а). Детектор 3 виділяє обвідну цього сигналу (рис.9,а), яка поступає на перший вхід блоку 2 керування (рис.10,б), а обмежувач 7 формує послідовність імпульсів вимірювальної частоти. На виході блоку 2 формується N стробів вимірювання $\tau_{вим1}, \tau_{вим2}, \dots, \tau_{вимN}$ (рис.9,в), тривалість і орієнтація яких залежить від тривалості зон переднього та заднього фронтів, які враховуються таймерами 18, 19 (рис.10,б), порогового рівня C_a компаратора 17 (рис.9,а), часу затримки детектором обвідної. З допомогою лічильників 11 та 12 (рис.10,а) в межах кожного вимірювального стробу підраховується відповідно кількість періодів n_e вимірювальної частоти заповнення доплерівського ехосигналу (рис.9,з), та кількість періодів n_{em} опорної частоти (рис.10,д) еталонного генератора 4 (рис.10,а). Результати вимірювання надходять у керуючий блок ділення 13 (рис.10,а), який розраховує частоту за формулою (9). Результати вимірювання частоти заповнення у виділених фрагментах у вигляді масиву даних надходять у пристрої вторинної обробки інформації, де виконуються додаткова статистична обробка та визначення доплерівських зсувів частоти і розрахунки складових вектора швидкості.

П'ятий розділ присвячено аналізу складових похибки вимірювання частоти заповнення ехосигналів доплерівського лага, які виникають при застосуванні запропонованих методів та засобів обробки та вимірювання, а також теоретичні та експериментальні дослідження.

Огляд систематичних та випадкових складових похибки вимірювання частоти заповнення доплерівських ехосигналів показав, що визначальною є випадкова складова, значення якої визначається власними флуктуаціями високочастотного заповнення ехосигналу, впливом шумів і інструментальною похибкою.

Отримано аналітичну залежність середньоквадратичних значень флуктуацій частоти заповнення доплерівського ехосигналу від рівня порогу при застосуванні методу часової фрагментації

$$\sigma_{\phi_l}(C, M) = F_D \sin \alpha_0 \sin \frac{\gamma}{2} \cdot \frac{1 - M^2}{M^2 + 2M(2C - 1) + 1}, \quad (10)$$

де C – відносний пороговий рівень часової фрагментації; F_D – значення доплерівського зсуву частоти; M – глибина амплітудної модуляції ехосигналу.

Отримана формула для визначення середньоквадратичного значення інструментальної похибки

$$\sigma_{in}(C, a_c) = f - f \frac{\arccos(2C - 1)}{\frac{\pi F_{обв}}{\arccos(2C - 1)} + \frac{1}{3} \sqrt{\frac{3}{2} [f(1 + a_c)]^2 + T_{em}^2}}, \quad (11)$$

де a_c – співвідношення сигнал/шум; $F_{обв}$ – частота обвідної ехосигналу (5).

З просторових графіків на рис.11,а,б, які отримано за допомогою виразів (10) і (11), видно, що середньоквадратичні значення власних флуктуацій високочастотного заповнення ехосигналу та інструментальної похибки залежать від значення порогу фрагментації і можуть бути зменшені до одиниць герц.

виконано їх імітаційне моделювання. З'ясовано, що важливим при створенні математичної моделі є урахування поточних значень фази парціальних сигналів та виділення еквічастотних смуг озвученої ділянки дна.

2. Модифіковано математичну модель та отримано шляхом імітаційного моделювання фізичні моделі доплерівських сигналів, в результаті аналізу яких встановлено однозначний взаємозв'язок між поведінкою обвідної та високочастотного заповнення. Визначено, що значення доплерівських зсувів частоти є адекватними значенням відповідних складових вектора швидкості об'єкту плавання та відповідають осі характеристики спрямованості антени лага лише протягом тих інтервальних фрагментів ехосигнала, які характеризуються максимальними значеннями обвідної.

3. У складі спектру доплерівського сигналу встановлено існування двох видів принципово відмінних компонент. Одна компонента має близький до фіксованого значення вигляд і за значенням доплерівського зсуву частоти відповідає осі характеристики спрямованості антени лага. Саме вона несе об'єктивну інформацію про значення відповідної складової швидкості. Інша – представляє собою суцільний спектр, причому його частотний склад визначається значенням швидкості об'єкту плавання, ширини променя характеристики спрямованості антени, робочою частотою лага, параметрами та характеристиками дна та середовища поширення сигналу.

4. Удосконалено процес попередньої обробки ехосигналів та запропоновано схему на основі слідкуючої вузькосмугової фільтрації, що дало можливість підвищити точності вимірювання частоти заповнення ехосигналів шляхом зменшення впливу перехідних процесів у частотно-вибірних колах. На відміну від фазової автопідстройки частоти вона працює з постійним значенням частоти гетеродина протягом тривалості ехосигналу, але визначає потрібне значення гетеродинної частоти на інтервалах між ехосигналами. Гетеродинна частота повинна бути такою, щоб частота вхідного сигналу вузькосмугового фільтра була максимально наближеною до середньої частоти смуги пропускання цього фільтра.

5. Розроблено метод вимірювання частоти заповнення доплерівських ехосигналів та запропоновано схему з використанням часової фрагментації, що дало можливість забезпечити вимірювання значення доплерівських зсувів частоти, які адекватні відповідним складовим швидкості об'єкту плавання, а також мінімізувати похибку зумовлену власними флуктуаціями частоти заповнення ехосигналу. Цей метод передбачає вимірювання частоти лише у тих фрагментах, в яких обвідна ехосигналу перевищує певне (адаптивне) значення порогу.

6. Запропоновано рекомендації щодо методів і засобів обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів, що дають можливість у 5-10 разів зменшити похибку вимірювання доплерівських зсувів частоти і підвищити точність визначення лагом повздовжньої та поперечної складових вектора швидкості об'єкту плавання. При цьому значення випадкової похибки вимірювання частоти ехосигналу визначається власними флуктуаціями частоти заповнення ехосигналу, впливом шумів та інструментальною похибкою.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Онищук О.В. Алгоритм роботи доплерівського лага в умовах глибокого моря / С.Т. Барась, М.А. Філінюк, О.В. Онищук // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч.1,Т.1. – №2. – С. 121–123.

2. Онищук О.В. Алгоритм функціонування гідроакустичного доплерівського лага в режимі вимірювання відносної швидкості / С.Т. Барась, О.В. Онищук // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2006. – №1(11). – С. 60–62.

3. Онищук О.В. Алгоритм функціонування гідроакустичного доплерівського лага в режимі вимірювання параметрів течії / С.Т. Барась, О.В. Онищук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2006. – №1. – С. 11–13.

4. Онищук О.В. Вимірювання несівної частоти імпульсного радіосигналу на виході вузькосмугового фільтра / С.Т. Барась, О.П. Шеремета, В.І. Калінін, А.П. Мартинюк, О.В.

Онищук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – №2. – С. 64–70.

5. Онищук О.В. Моделювання доплерівського сигналу / О.В. Онищук, С.Т. Барась // Вісник Вінницького Політехнічного Інституту. – 2007. – №5. – С.143–147.

6. Узагальнена модель доплерівського сигналу гідроакустичного лага [Електронний ресурс] / О.В. Онищук, С.Т. Барась // Електронне науково-спеціалізоване видання „Наукові праці Вінницького національного технічного університету” англ., рос. та укр. мовами. – 2008. – Вип. №1. – Режим доступу до журн.: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/VNTU/2008-1/uk.htm>.

7. Онищук О.В. Використання фізичної моделі доплерівського сигналу для оцінки похибки вимірювання частоти його заповнення при часовій фрагментації / С.Т. Барась, О.В. Онищук, В.Ф. Яблонський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – №4(113). – С.27–33.

8. Онищук О.В. Алгоритм функціонування гідроакустичного доплерівського лага в режимі вимірювання відносної швидкості / С.Т.Барась,О.В.Онищук // PHOTONICS-ODS 2005: intern. conf., april. 27th–28th 2005. : thes.pap. – Vinnytsia, 2005. – P. 209 – 210.

9. Онищук О.В. Алгоритм функціонування гідроакустичного доплерівського лага в режимі вимірювання параметрів течії / О.В.Онищук, С.Т.Барась // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: міжнар. науково-технічна конф., 2–5 червня 2005р.: матеріали конф. – Вінниця, 2005. – С.116.

10. Онищук О.В. Корекція структури луно-сигналу в приймальному тракті гідроакустичного доплерівського лага / О.В. Онищук, С.Т. Барась // Сучасні проблеми мікроелектроніки, радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: міжнар. науково-технічна конф., 16-19 листопада 2006р.: матеріали конф., – Вінниця, 2006. – С. 129.

11. Онищук О.В. Моделювання доплерівського сигналу / О.В. Онищук, С.Т. Барась // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування: міжнар. науково-технічна конф., 31 травня – 2 червня 2007р.: матеріали конф., – Вінниця, 2007. – С. 104.

12. Онищук О.В. Феноменологическая модель доплеровского сигнала гидроакустического лага / С.Т. Барась, О.В. Онищук // Проблемы, методы и средства исследований Мирового океана: междунар. научно-практ. конф., 13–14 мая 2008г. : сб. докладов конф.; – Запорожье, 2008. – С. 122 – 131.

13. Патент 19457 України, МПК⁶ (2006) G 01 S 15/00. Приймальний тракт гідроакустичного доплерівського лага з автоматичним регулювання підсилення/ Барась С.Т., Онищук О.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет.– № u200607081; заявл.26.06.2006; опубл.15.12.2006,Бюл.№ 12.

14. Патент 19635 України, МПК⁶ (2006) G 01 S 15/00. Гідроакустичний доплерівський лаг з адаптивним приймальним трактом / Барась С.Т., Онищук О.В.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200607981 ; заявл. 17.07.2006 ; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.

15. Патент 31064 України, МПК⁶ (2008) G 01 R 23/00. Вимірювач частоти гідроакустичного доплерівського лага / Онищук О.В., Барась С.Т.; заявник і власник Вінницький національний технічний університет. – № u200712828 ; заявл. 19.11.2007 ; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

16. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір Комп'ютерна програма «Імітаційне моделювання ехосигналів доплерівського лага», № 27011 від 23.12.2008 р., автор О. В. Онищук. Рішення про реєстрацію авторського права на твір №27066 від 29.09.2008 р.

АНОТАЦІЯ

Онищук О.В. Методи і засоби обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів доплерівського лага. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.08 – Радіовимірювальні прилади. – Вінницький національний технічний університет,

Вінниця – 2009.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної наукової задачі удосконалення методів і засобів обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів для підвищення точності визначення доплерівських зсувів частоти та складових вектора швидкості об'єкта плавання доплерівським лагом.

В дисертації наведено теоретичні узагальнення і запропоновано нові шляхи розв'язання наукової задачі, які забезпечують радіочастотні вимірювання доплерівських зсувів частоти. Розроблено метод вимірювання частоти з використанням часової фрагментації доплерівського ехосигналу. Удосконалено метод слідкуючої вузькосмугової фільтрації доплерівських ехосигналів. Модифіковано математичну модель та змодельовано фізичні моделі доплерівських ехосигналів. Розроблено структурні схеми засобів попередньої обробки та вимірювання частоти заповнення ехосигналів. Отримано аналітичні залежності та проаналізовано похибки розроблених методів вимірювання частоти заповнення ехосигналів, здійснено їх кількісну оцінку теоретичних і експериментальних досліджень.

Ключові слова: доплерівський ехосигнал, частота заповнення, доплерівський лаг, методи і засоби вимірювання, математична і фізична моделі, часова фрагментація, слідкуюча вузькосмугова фільтрація.

АННОТАЦИЯ

Онищук О.В. Методы и средства обработки и измерения частоты заполнения эхосигналов доплеровского лага. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.08 – Радиоизмерительные приборы. – Винницкий национальный технический университет, Винница – 2009.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи усовершенствования методов и средств обработки и измерения частоты заполнения доплеровских эхосигналов для повышения точности определения доплеровских сдвигов частоты и составляющих вектора скорости объекта плавания доплеровским лагом.

Разработан метод измерения частоты с использованием временной фрагментации, в котором измерение частоты заполнения осуществляется в тех фрагментах эхосигнала, в которых доплеровские сдвиги частоты адекватно соответствуют составляющим вектора скорости объекта плавания и характеризуются наименьшими флюктуациями.

Усовершенствован метод следящей узкополосной фильтрации, в котором частота заполнения эхосигнала всегда максимально приближена к средней частоте фильтра, что позволяет уменьшить влияние переходных процессов в фильтре на погрешность измерения частоты заполнения эхосигнала.

Модернизирована математическая модель эхосигнала доплеровского лага, которая учитывает основные и дополнительные факторы, которые связаны с параметрами движения объекта плавания, акватории и дна, и влияют на механизм формирования сигнала, что позволило выявить в составе сигнала два основных вида фрагментов, в одном с которых доплеровские сдвиги частоты адекватно соответствуют скорости объекта плавания, а в другом такое соответствие отсутствует.

Получены аналитические соотношения для определения частоты заполнения доплеровского эхосигнала и его огибающей, которые отображают зависимость структуры эхосигнала от скорости движения объекта плавания и взаимосвязь между законом поведения огибающей и высокочастотного заполнения эхосигнала.

Получены физические модели доплеровских эхосигналов путем имитационного моделирования, установлена их адекватность реальным эхосигналам доплеровского лага, определены взаимосвязи между параметрами модели и основные факторы, влияющие на погрешность измерения доплеровских сдвигов частоты.

Разработаны структурные схемы и сформулированы рекомендации по усовершенствованию устройств обработки и измерения частоты заполнения эхосигналов доплеровского

лага на основе методов временной фрагментации и следящей узкополосной фильтрации, что дало возможность в 5-10 раз уменьшить погрешность измерения доплеровских сдвигов частоты.

Разработана компьютерная программа для моделирования и исследования структуры доплеровских эхосигналов в тракте обработки и измерения частоты заполнения эхосигналов доплеровского лага, которая реализует разработанные в диссертации модели и методы.

Получены аналитические соотношения для случайной составляющей погрешности измерения частоты эхосигнала, значения которой определяются собственными флуктуациями частоты заполнения эхосигнала, влиянием шумов и инструментальной погрешностью.

Выполнен анализ составляющих и результирующей погрешностей измерений, приведены графические зависимости, а также результаты расчетов погрешностей по физическим моделям доплеровских эхосигналов в сравнении с теоретическими данными. Показана эффективность использования метода временной фрагментации при измерении частоты и сформулированы подходы по достижению минимальной погрешности путем оптимизации длительности измерительных интервалов.

Ключевые слова: доплеровский эхосигнал, частота заполнения, доплеровский лаг, методы и средства измерения, математическая и физическая модели, временная фрагментация, следящая узкополосная фильтрация.

ANNOTATION

Onyshchuk O.V. Methods and Means of Processing and Measuring the Carrier Frequency of Echo-signals of Doppler Log. – Manuscript.

Thesis for a submission of scientific degree of a candidate of technical sciences on the speciality by the code 05.11.08 - Radio Measuring Devices. – Vinnytsya National technical university, Vinnytsya – 2009.

The thesis is dedicated to the relevant scientific problem of improving the metrological parameters of methods and means of processing and measuring basic frequency of echo-signals of Doppler Log.

The thesis introduces the theoretical generalization and the new ways of solving the scientific problem, providing radio frequency measurements of Doppler frequency shifts. The frequency measuring method by means of timing fragmentation of echo-signals has been worked out. The method of tracking narrow-band filtering has been improved. The mathematical model has been modified and the computer physical modeling of Doppler signals has been performed. The flow charts of means of preprocessing and measuring of carrier frequency have been developed. Analytic dependencies have been obtained and the errors in the designed methods of measuring carrier frequency of echo-signals have been analyzed, their quantitative assessment in terms of theoretical and experimental research having been performed.

Key words: Doppler echo-signal, carrier frequency, Doppler log, methods and means of measuring, mathematical and physical models, timing fragmentation, tracking narrow-band filtering.

Підписано до друку 19.01.2009 р. Формат 29,7×42 1/4
Наклад 100 прим. Зам. №2009-009
Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел. (0432) 59-81-59