



УКРАЇНА

(19) UA (11) 53387 (13) U
(51) МПК (2009)
G01H 9/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ОПТИЧНИЙ СЕНСОР ХВИЛЮВАННЯ В РІДИНІ

1

2

(21) u201002539

(22) 09.03.2010

(24) 11.10.2010

(46) 11.10.2010, Бюл.№ 19, 2010 р.

(72) УЗЛЕНКОВ ОЛЕКСАНДР ВАЛЕНТИНОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ РАДІОФІЗИКИ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ
ІМ. О.Я. УСИКОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАУК УКРАЇНИ

(57) 1. Оптичний сенсор хвилювання в рідині, що включає джерело світла і оптичний детектор, відокремлені один від одного поверхнею рідини, блок живлення в герметичному контейнері, блок обробки і передачі сигналів, який **відрізняється** тим, що в нього додатково введена механічна перемичка,

що з'єднує джерело світла з оптичним детектором так, що їх оптичні осі суміщені і зустрічно спрямовані, і на якій закріплена поплавкова система, що забезпечує задане положення оптичної осі щодо поверхні рідини, а блок живлення в герметичному контейнері має нейтральну плавучість.

2. Оптичний сенсор за п. 1, який **відрізняється** тим, що джерело світла розташоване в рідині, а оптичний детектор розташований над поверхнею рідини.

3. Оптичний сенсор за пп. 1, 2, який **відрізняється** тим, що джерело світла являє собою напівпровідниковий інфрачервоний випромінювач.

Корисна модель належить до оптичних систем діагностики короткохвильового діапазону хвилювання в рідині і може бути використана для оцінки стану хвилювання, коефіцієнта поверхневого натягу рідини в лабораторних і природних умовах та для використання в мультисенсорних системах екологічного моніторингу акваторій.

Відомо, що в судноводінні, морському і портовому будівництві інтерес представляють, головним чином, дані про гравітаційне хвилювання, але в окремих задачах екології і гідродинаміки важливі дані про стан хвилювання гравітаційно-капілярного і капілярного діапазонів з частотами вище 50Гц. Як випливає з публікацій і переліків тем інноваційних проектів цей інтерес останнім часом значно зріс.

Більшість приладів хвилеграфічного контролю орієнтовано на оцінку гравітаційного хвилювання і є відносно низькочастотними, бо мають граничну частоту в основному не вище 15Гц. Це викликано або методичними, або конструктивними причинами.

Оскільки в задачах екології найбільший інтерес представляють високочастотні брижі, а крім того, екстремальні морські умови вимагають простоти конструкції, малої ціни ризику втрати сенсора, тому низька гранична частота, технічна складність і відносно висока вартість є недоліками більшості існуючих датчиків хвилювання.

Найбільш високочастотними серед контактних систем є струнні резистивні хвилеграфи, що мають верхню граничну частоту 50Гц.

Недоліками таких хвилеграфів є обмеженість частоти, яка обумовлена наявністю контактного меніска рідини та високою адгезією води до матеріалу чутливого елемента датчика. Крім того струнні хвилеграфи мають досить складну конструкцію і високу вартість.

Необхідний частотний діапазон забезпечує лазерний хвилеграф [Lange P.A. Comparison between an amplitude measuring wire and slope measuring laser wave gauge / P.A. Lange // Rev. Sci. Instrum. - 1982. - V. 53, №5. - P.651-655]. Такий хвилеграф є прецизійним вимірником хвилювання в рідині в широкому частотному діапазоні, але критичний до точності юстирування і умов експлуатації: вібраціям і взаємним переміщенням елементів конструкції і може бути використаний тільки в стаціонарних лабораторних умовах.

Недоліками даного хвилеграфа є його непристосованість до використання в умовах відкритих водоймищ через конструктивну складність, надмірна вага та вартість.

Найбільш близьким за технічною сутністю до корисної моделі, що заявляється, та вибраним як прототип є оптичний сенсор для дистанційного вимірювання хвилювання, що містить джерело світла, яке розташоване над поверхнею води, чутливий прилад, який містить оптичний детектор для

(19) UA (11) 53387 (13) U

прийому у вузькому куті зору і вузькій смузі частот світла, що пододало поверхню океану, розміщений під водою на дні акваторії або на спеціальній платформі, яка закріплена на субмарині в підводному стані для прийому світлового потоку і який з'єднаний кабелем з блоком збирання і відображення інформації [Патент США № 4988885, кл. G01C13/00, 1991].

У основі роботи системи лежить модуляція інтенсивності світлового потоку схвильованою поверхнею рідини за рахунок зміни величини заломленої компоненти поля випромінювання при зміні кута нахилу поверхні і зміни поглинання та розсіяння світлового потоку, викликаних змінами оптичної довжини шляху в рідині при хвилюванні. У даному сенсорі потік, що приймається, зосереджений у вузькому тілесному куту навколо оптичної осі детектора, розташованого в чутливому приладі, і тому інтенсивність заломленої компоненти світлового потоку, що потрапляє у вузьку діаграму детектора, визначається коефіцієнтами заломлення Френеля і оптичною довжиною шляху у воді, яка пов'язана з висотою хвилювання. Після калібрування сенсор дозволяє оцінювати висоти хвиль з частотами від десятих часток герців до 5Гц.

Даний сенсор пристосований для роботи в умовах відкритих акваторій, але його недоліками є низька гранична частота (до 5 Гц), технічна складність, надмірна вага та висока вартість.

Низька гранична частота обумовлена тим, що при збільшенні частоти хвилювання відбувається природне зменшення амплітуди хвиль, які дають приріст оптичної довжини шляху в рідині і, відповідно, рівня сигналу в оптичному детекторі. Це пов'язано з тим, що для гравітаційних хвиль гранична висота H_{\max} , при якій хвиля не втрачає стійкості, задовольняє умові $H_{\max} < \lambda/7$. На частотах понад 5Гц рівень сигналу від хвилювання стає сумірним з перешкодами від поглинання світлового потоку в товщі води, не пов'язаними з хвиловим рухом і з власними шумами системи. Складність конструкції і значна вартість сенсора обумовлені необхідністю використання надійного і герметичного корпусу, оскільки він експлуатується на достатньо великих глибинах, та вимогами чутливості оптичного детектора, які викликані низьким коефіцієнтом використання світлового потоку джерела світла і через великі втрати в товщі води, яка не бере участь в хвилевому русі.

В основу корисної моделі поставлена задача удосконалити оптичний сенсор шляхом зменшення відстані між джерелом світла та оптичним детектором, що підвищить граничну частоту сенсора і дозволить застосовувати його для оцінки капілярного хвилювання та у відкритих водоймищах.

Поставлена задача вирішується тим, що в оптичний сенсор хвилювання в рідині, що включає джерело світла і оптичний детектор, відокремлені один від одного поверхнею рідини, блок живлення в герметичному контейнері, блок обробки і передачі сигналів, згідно корисної моделі, додатково введена механічна перемичка, що з'єднує джерело світла з оптичним детектором так, що їх оптичні осі суміщені і зустрічне спрямовані, "на якій закріплена поплавкова система, що забезпечує задане

положення оптичної осі щодо поверхні рідини, а блок живлення в герметичному контейнері має нейтральну плавучість.

Сутність корисної моделі пояснюється ілюстраціями: на Фіг.1 зображено оптичний сенсор при розташуванні джерела світла над поверхнею рідини, на Фіг.2 зображено оптичний сенсор при розташуванні джерела світла в товщі рідини.

Оптичний сенсор включає джерело світла 1, яке розміщене над поверхнею рідини 2 (Фіг.1а), або в товщі рідини (Фіг.2), оптичний детектор 3, розміщений в рідині (Фіг.1а), або над поверхнею рідини (Фіг.2), механічну перемичку 4, що забезпечує жорстке кріплення джерела світла і оптичного детектора між собою на відстані R , поплавкову систему 5, блок живлення в герметичному контейнері 6, зв'язаний кабелем 7 з блоком обробки і передачі сигналів 8. Поплавкова система 5 забезпечує плавучість сенсора. Вона може складатися з трьох поплавців 9, шарнірне закріплення на кінцях трьох штанг 10 і мати центр симетрії в точці 11, до якої жорстко кріпиться перемичка 4, до якої, у свою чергу, кріпиться блок 8.

Пропонований оптичний сенсор працює таким чином: інтенсивність світлового потоку, який створюється джерелом світла 1, при проходженні через поверхню рідини, піддається модуляції завдяки заломленню та фокусуванню схвильованою поверхнею рідини 2, внаслідок чого в оптичному детекторі 3 виникає сигнал, спектральна щільність якого пов'язана з енергетичним спектром поверхневого хвилювання. Цей зв'язок описується співвідношенням:

$$A_{\xi}^2(v) = c(v)A_{\xi}^2(v),$$

де $A_{\xi}^2(v)$ - енергетичний спектр флуктуацій підводної освітленості,

$A_{\xi}^2(v)$ - енергетичний спектр поверхневого хвилювання,

$c(v)$ - фокусуючий помножувач, який залежить від частоти хвилювання v , розмірів оптичної системи R і властивостей обох середовищ [Шеввернев В.И. Статистическая структура поля освещенности под взволнованной границей. раздела / В.И.Шеввернев // Физика атмосферы и океана. - 1973. - Т.9 №6. - С. 596-607]. Фокусуюча дія поверхні трактується як заломлення променів певним чином орієнтованими ділянками хвилеподібної поверхні рідини з довжиною хвилі λ , коли заломлені промені перетинаються на заданій глибині Z , створюють найбільші флуктуації освітленості. При такому підході на глибині Z_0 найбільший внесок в спектр потужності флуктуацій освітленості дають хвилі з довжиною λ_m , що є «оптично активною» для даної глибини. Тому залежність $c(v)$ має вигляд близький до резонансної кривої [Николаев В.П. Статистические характеристики подводной освещенности / В.П.Николаев, О.И.Прокопов и др. // Физика атмосферы и океана. - 1972. - Т.8 №9. - С. 936-944]. При належному виборі геометричних розмірів сенсора можливе виділення флуктуацій освітленості, які створюються хвилями вище вказаного діапазону і ослаблення коливань поза цим діапа-

зоном. Діапазон хвиль, що аналізується включатиме «оптично активну» хвилю, при якій $c(v)$ досягає максимуму і її околиці: відносно невелику область у бік довгих хвиль та значно ширшу у бік коротких хвиль. Отже, обираючи розмір робочого відрізка R за допомогою регулювання механічної перемички 4, можна забезпечити $c(v)=\max$ у заданому діапазоні поверхневого хвилювання, наприклад, в діапазоні капілярного або гравітаційно-капілярного хвилювання.

Для обох варіантів розміщення джерела світла і оптичного детектора (див. Фіг.1а і Фіг.2) частоти максимумів $c(v)$ приблизно збігаються при рівних інших умовах. Оптична система, що складається з джерела 1, оптичного детектора 3 та механічної перемички 4, кріпиться до поплавкової системи 5, яка додає їй плавучість, що дозволяє сенсору огинати профіль великомасштабного хвилювання. Введення в оптичний сенсор поплавної системи дозволяє використати його в умовах, коли на поверхні рідини збуджуються довгі гравітаційні хвилі, що мають значну амплітуду, в порівнянні з капілярними брижами. При аналізі спектрів капілярного хвилювання відстань між джерелом світла і оптичним детектором має бути 5-15см [Узленков А.В. Использование широкоугольной оптической системы для анализа капиллярного волнения в жидкости / А.В. Узленков // Радиофизика и электроника: сб. научн. тр. Ин-та радиофизики и электрон. НАН Украины. - 2006. - Т.11, №3. - С. 456 - 466.]. Це набагато менше амплітуди великомасштабного хвилювання, що існує у відкритих водоймищах при швидкості вітру вище 6м/с. Поплавкова система окрім плавучості додає сенсору стійкість на хвилі, що забезпечує стабілізацію положення оптичної осі і робочого відрізка сенсора (зазору між джерелом світла і оптичним детектором) відносно поверхні розділу середовищ.

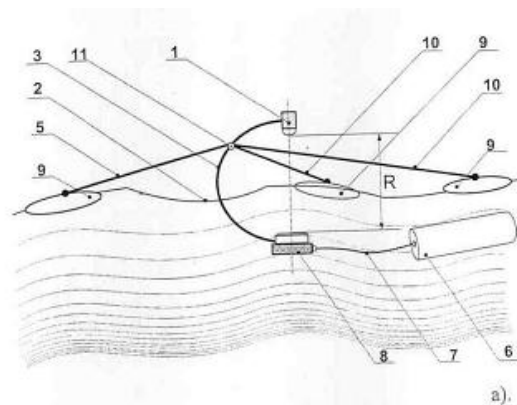
Здібність огинати довгі хвилі еквівалентно високочастотній фільтрації початкового двомасштабного хвильового процесу. Завдяки цьому в робочий відрізок сенсора потрапляють і впливають на світловий потік тільки високочастотні коливання, а частота зрізу еквівалентного ВЧ-фільтра - ν_p обернено пропорційна площі опори поплавної системи, тобто в разі запропонованої поплавної системи - площі круга діаметром D, який описаний навколо поплавної системи і який визначається довжиною штанг 10. Діаметр поплавців 9 - d обирають виходячи, з одного боку, з вимоги мінімуму механічної реакції поплавців на високочастотні коливання рідини, які призводять до коливачь точок опори та оптичної осі сенсора і створюють перешкоди, потрапляючи безпосередньо в смугу частот аналізованих хвиль, з іншого боку - мінімуму віддзеркалень від самих поплавців в точці вимірювання. При фіксованій довжині штанг 10 рівень віддзеркалень прямо пропорційний, а рівень механічних перешкод обернено пропорційний діаметру поплавців d, тому його вибирають, знаходячи компроміс між цими умовами при заданій величині ν_p . Вплив механічних перешкод пригнічується

практично повністю при $d/\lambda > 2$. Коли центр мас сенсора рухається уздовж середнього рівня великомасштабних хвиль, то хвилі, які задовольняють умові $\lambda > 2D$, не роблять помітного впливу на положення і ухил поверхні рідини в точці вимірювання. При цьому гравітаційно-капілярні хвилі, з довжинами менш за D в 10 та більш разів, перетинають оптичну вісь сенсора практично без перешкод та спотворень. Шарнірне кріплення поплавців до штанг забезпечує плавний рух центра мас сенсора уздовж профілю великомасштабного хвилювання без ривків при зміні кривизни (і її знаку) поверхні води в опорних точках. Оптична вісь сенсора орієнтується по нормалі до усередненої тривимірної хвильової поверхні довжина якої задовольняє умові $\lambda > 2D$.

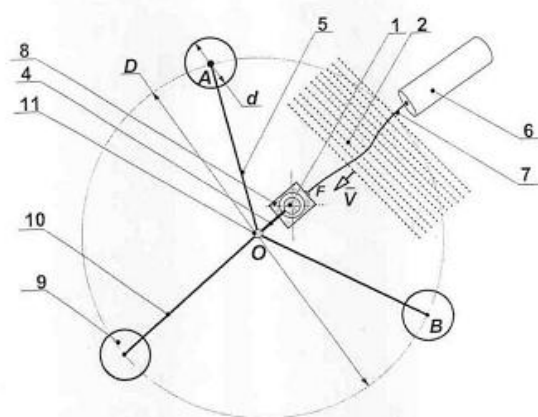
Підвищення роздільної здатності сенсора, тобто його граничної частоти при фіксованому робочому відрізку, може досягнуте шляхом розміщення джерела світла в рідині, а оптичного детектора - в повітрі (див Фіг.2). Це пов'язано з тим, що при розповсюдженні потоку із оптично більш щільної середовища в менш щільну, відбувається звуження діафрагми оптичної трубки потоку, що приймається, яка лежить на поверхні розділу середовищ [Сапожников Р.А. Теоретическая фотометрия / Р.А. Сапожников - М.: Энергия, 1977. - 264 с.]. При такому розміщенні джерела і детектора в сенсорі можна використовувати відносно ширококутні оптичні прилади, що робить сенсор не критичним до юстирування і нахилу оптичної осі відносно поверхні розділу. Невеликий розмір робочого відрізка R, та режим роботи сенсора на просвіт роблять його потенціал достатнім для впевненого виявлення хвиль з нахилами $H/\lambda \geq 0,001$ при використанні оптичних приладів і інших компонент широкого застосування, малопотужних та мініатюрних: малогабаритних інфрачервоних світло- і фотодіодів, компонентів блока обробки і передачі сигналів в мікромініатюрному виконанні.

На Фіг.16 оптичний сенсор зображений в плані. Видно, що для неспотвореної оцінки спектру хвилювання потрібна орієнтація сенсора щодо вітру і напрямку бігу хвиль. Найкраща азимутальна орієнтація досягається при збігу вектора вітру з бісектрисою $\angle AOB$ поплавної системи: в цьому положенні поплави не затінують набігаючи хвилювання і створюють найменший рівень перешкод (див. Фіг.16). Це положення може бути досягнуте шляхом використання блока живлення в герметичному контейнері 6 в ролі підводної флюгерки. Оптимальна азимутальна орієнтація сенсора досягається при кріпленні кабелю 7, що також грає роль фала, в точці, яка лежить на бісектрисі $\angle AOB$, наприклад, до блоку 8 в точці F.

Для того щоб не навантажувати легкий, практично безінерційний сенсор, блок живлення в герметичному контейнері має нульову плавучість.

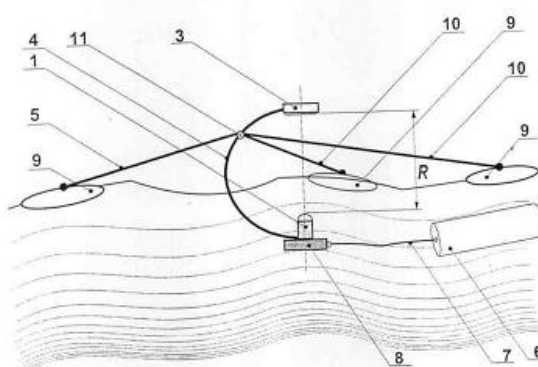


a).



Фиг. 1

б).



Фиг. 2