

УДК 53.06+53.082.2

П.В. АНАХОВ, О.В. АНАХОВА
Державний університет телекомунікацій, м. Київ

ВИМІРЮВАННЯ ГЛИБИНИ ВОДОЙМИ МЕТОДОМ ВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ

Представлено типові способи контролю рівня води водного об'єкту. При дослідженні наслідків зниження рівня поверхні води озера Севан (Вірменія) було виявлено закономірність модулювання частоти власних коливань водного басейну функцією глибини. Запропоновано спосіб безпосереднього вимірювання рівня води, заснований на розв'язанні зворотної задачі. Також пропонується спосіб віддаленого вимірювання рівня, який використовує аналіз вібрацій дна сейшевого походження. Віддалене вимірювання дозволяє багатоканальний моніторинг з використанням часового, частотного і просторового ущільнення вібрацій дна різних водойм. Це доцільно для дистанційного вимірювання рівня води віддалених водних об'єктів, інформація про які може бути обмеженою. Додатково пропонується використання визначеної закономірності для виконання інших інженерних задач – сейсмічної розвідки, підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій, управління режимом зміщень у фрагментах сейсмаоактивних розломів.

Ключові слова: багатоканальний моніторинг, віддалене вимірювання глибини, частотна модуляція сейшів.

P. V. ANAKHOV, O. V. ANAKHOVA
State University of Telecommunications, Kyiv

MEASURING OF RESERVOIR DEPTH BY METHOD OF CHARACTERISTIC OSCILLATIONS

Presented standard methods to control water level of water body. Study of aftermath of recession of level Lake Sevan (Armenia) have discovered a law of frequency modulation of characteristic oscillations of water basin by function of water depth. We offer the method of direct measurement of water level based on the solution of the inverse problem. We offer the remote measurement method too, which use analysis of vibrations of the basin floor of seiches origin. Remote measurement provides the possibility of multi-channel monitoring by the use of time division, frequency division and space division of vibrations of different reservoirs floors. This is expedient for the remote measurement of water level in distant reservoirs, the information about which may be limited. In addition, we offer presented law for solution of other engineering tasks – seismic tomography, increasing power output of hydropower plants, controlling shifts mode in fragments of seismic-active faults.

Keywords: multi-channel monitoring, remote measurement of water depth, frequency modulation of seiches.

Традиційно для визначення висоти водної поверхні використовують реперні і рейкові водомірні пости, свайні пости, самописці рівня води. На рис. 1 показана відповідна схема роботи системи контролю рівнів води на ділянці ріки.

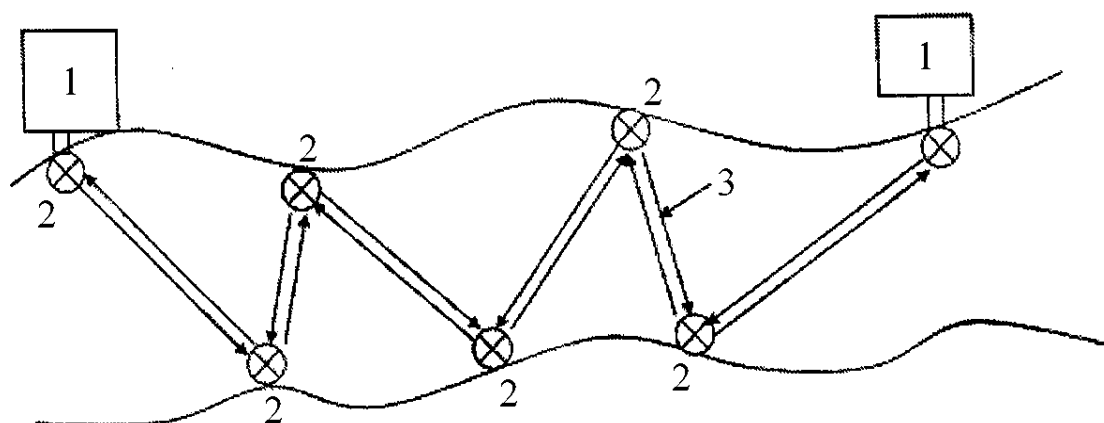


Рис. 1. Схема роботи системи контролю рівнів води на ділянці ріки: 1 – головні водомірні пости; 2 – водомірні підводні палі; 3 – сигнал виміряних даних [1]

Виконуються вимірювання рівнів елементарних площадок, на які розбита водна поверхня, і які розміщені в зонах дії водомірних підводних реперів. Отримані дані збираються, аналізуються, зберігаються, передаються центральною станцією моніторингу, розміщеною на водомірному посту.

Також типовим є спосіб віддаленого моніторингу рівня води, при якому використовують просторово рознесені передавальну і приймальну станції. На рис. 2 показана відповідна схема роботи системи.

Водна поверхня умовно розбивається на елементарні площадки, які розміщені безперервно вздовж смуг захоплення просторово рознесених станцій прийому-передачі електромагнітного сигналу. Виконуються послідовні вимірювання відбитого сигналу. Отримані дані збираються, аналізуються, зберігаються, передаються центральною станцією моніторингу.

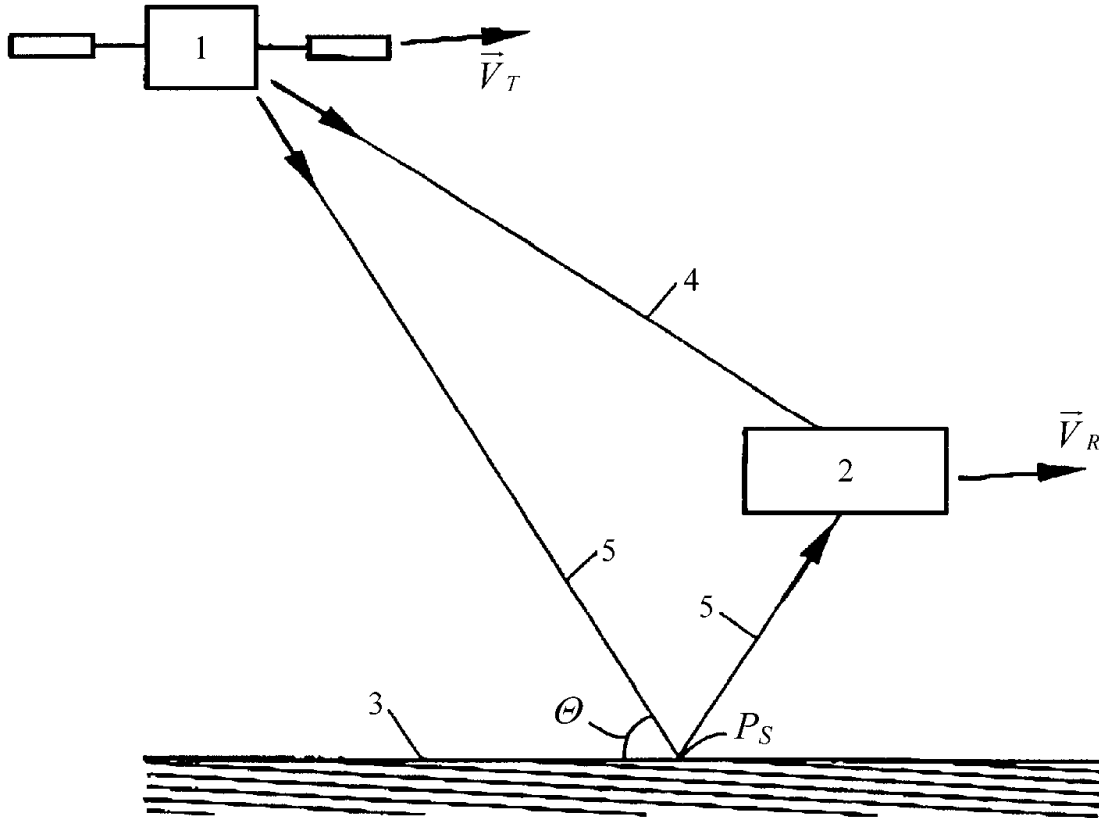


Рис. 2. Схема роботи системи моніторингу рівня води водойми: 1 – супутник системи GPS зі швидкістю руху \vec{V}_T ; 2 – приймач-висотомір на борту супутника на низькій навколоземній орбіті або повітряного судна, що пролітає зі швидкістю \vec{V}_R ; 3 – поверхня води; 4, 5 – сигнал, переданий від супутника системи GPS; θ – кут падіння сигналу; P_S – точка відбиття [2]

Залежність частоти власних коливань від глибини. При дослідженні наслідків зниження рівня поверхні води озера Севан (Вірменія) виявлено закономірність модулювання частоти стоячих хвиль (сейшів) ν_S , яка співпадає із частотою власних коливань водного басейну, функцією глибини D (рис. 3).

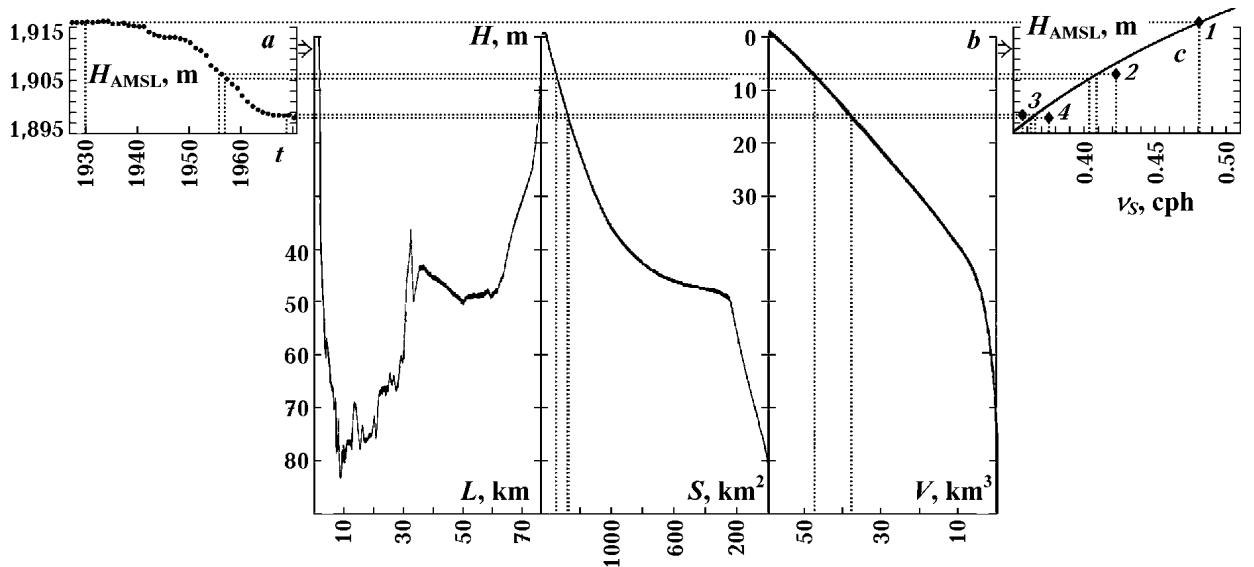


Рис. 3. Зміни рівня H озера Севан (а), відповідні зміни морфометричних характеристик (б), і викликані ними зміни частоти сейшів (в) [3]

На рис. 3 показано: а – графік змін рівня озера над рівнем моря H_{AMSL} за період $t=1926-1971$ рр.; б – залежність морфометричних характеристик оз. Севан від рівня води H : профіль дна за довгою віссю; площа дзеркала S ; об’єм V ; в – частоти спостережених одноузлових поздовжніх сейшів озера ν_S (1 – 0,480, 2 – 0,423, 3 – 0,357, 4 – 0,375 циклів за годину).

Частоти одноузлових поздовжніх сейшів озера Севан, в межах проведених спостережень, задовільно апроксимуються лінійною залежністю від рівня води в абсолютних відмітках (крива на рис. 1в) [4]:

$$v_s = \frac{3600}{262711 - 133H_{ASML}} \quad (1)$$

Проте, частота сейшів є функцією морфометричних характеристик водойми, до яких належать довжина, ширина, площа, глибина, об'єм водної маси [5]. Залежність $v_s(D)$ можна пояснити для моделі у формі прямокутного басейну з горизонтальним дном і незмінними характеристиками [3]:

$$v_s^{ab} = \frac{\sqrt{g \times D(t)}}{2} \sqrt{\left(\frac{a}{L(t)}\right)^2 + \left(\frac{b}{W(t)}\right)^2}, \quad L(t) = const, \quad W(t) = const \quad (2)$$

де v_s – частота сейшевих коливань; $a=1,2,\dots,a$; $b=1,2,\dots,b$ – кількість вузлів поздовжньої і поперечної сейшів; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння; t – час; $D, L, W, D(t), L(t), W(t)$ — глибина, довжина, ширина басейну і закони їх зміни.

Метою статті визначено розробку методів вимірювання глибини водойми за рахунок розв'язання зворотної задачі $D(v_s)$.

Безпосереднє вимірювання. Стоячі хвилі обумовлюють коливання всього об'єму водної маси, уподібнюючись поршню, який здійснює зворотно-поступальні рухи. Тому вимірювання подібних коливань, для фільтрації поверхневих вітрових хвиль, виконуються, як правило, на значних глибинах.

В 1908-1925 роках вимірювання частоти сейшів озера Байкал (Росія) проводились за допомогою мареографів, які фіксують зміни гідростатичного тиску під водою [6].

Вимірювання частоти сейшів озера Байкал в 2010-2011 роках проводилися за допомогою тензоперетворювача тиску води. Датчик тиску закріплено всередині підводної частини колодязя, який являє собою вертикально зафіксовану на пірсі пластикову трубу. Верхній її кінець, що знаходиться над поверхнею води, відкритий. Нижній кінець труби заглушений, в ньому зроблено кілька невеликих отворів для доступу води [7].

Ідея використання залежності частоти сейшів від змін рівня води для вимірювання глибини водойми захищена патентом України [8]. Метод включає вимірювання відомими способами частоти сейшевих коливань водойми і наступний розрахунок глибини за відомою залежністю $D(v_s)$.

Віддалене вимірювання. Стовп води створює пропорційне рівню напруження в земній корі:

$$\sigma = P / S \quad (3)$$

де $P = \rho g V$ – навантаження; $\rho \approx 10^3 \text{ кг/м}^3$ – густина води.

Циклічні зміни рівня при сейшевих коливаннях породжують вібрації дна. Вібрації, збуджені сейшами у декількох водоймах, і отримані єдиним засобом вимірювань із застосуванням дистанційного доступу, обумовлюють наступні, індивідуальні для водойм, властивості:

1) повний цикл генерування сейшів являє собою характерні для резонансних амплітудно-модульовані коливання. Цикл складається з послідовності етапів – пауза, збудження, затухання. На рис. 4 показані амплітудно-модульовані сейшеві коливання (суцільна лінія) на фоні стаціонарних гармонічних коливань (штрихова). Етап відсутності сейшів триває в період часу від t_0 до t_1 , збудження сейшів – від t_1 до t_2 , затухання – від t_2 до t_3 .

2) частоти коливань сейшів обумовлюються морфометричними характеристиками водойм. Ця властивість використана для визначення глибини води $v_s(D)$;

3) азимуту віддалених водойм визначаються місцеположенням засобу вимірювань збуджених сейшами вібрацій щодо водойм.

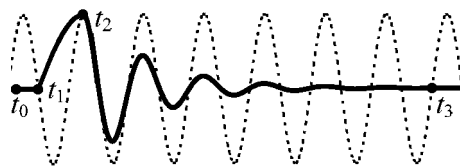


Рис. 4. Амплітудно-модульовані сейшеві коливання [3]

Перераховані властивості забезпечують можливість багатоканального моніторингу вібрацій сейшевого походження різних водойм за рахунок [9]:

- 1) часового розділення коливань, яке визначають їх амплітудно-модульовані цикли;
- 2) частотного розділення коливань, яке визначають морфометричні характеристики водойм;
- 3) просторового розділення коливань, яке визначають напрямки приходу сигналів.

Дальність дії методу залежить від затухання вібрацій, яке визначається, по-перше, геометричною розбіжністю та розсіюванням енергії, по-друге, поглинанням сейсмічної енергії в середовищі. Величину поглинання сейсмічної енергії можна оцінити по формулі [10]:

$$\alpha = E_0 \exp(-\beta t) \cos \omega_\mu t \quad (4)$$

де E_0 – енергія хвилі в джерелі; β – коефіцієнт згасання; t – час; $\omega_\mu = 2\pi\nu_\mu$, $\nu_\mu = \nu_S$ – циклічна і лінійна частоти вібрацій, відповідно.

Висновки. Представлено економічно ефективні, захищені патентами України технічні розробки способів вимірювання глибини водного басейну, які базуються на збудженні у водоймі власних коливань і вимірюванні їх частот:

1) спосіб безпосереднього вимірювання, який допускає використання одного-єдиного засобу вимірювань;

2) спосіб дистанційного вимірювання рівня, який розроблено на основі способу безпосереднього вимірювання, і який забезпечує можливість спостереження рівнів води у декількох водоймах одночасно.

Рекомендації, перспективи подальшого розвитку. Для організації і забезпечення захисту населення від наслідків надзвичайних ситуацій створена загальнодержавна система зв'язку, оповіщення та інформатизації МНС. Комплексною програмою її розвитку передбачається розроблення математичних моделей, методів, алгоритмів і програмних засобів оцінки ризиків виникнення, прогнозування розвитку надзвичайних ситуацій. При транскордонному моніторингу гідрологічних загроз доцільне впровадження пропонуваного дистанційного вимірювання рівня води у віддалених водоймах, інформація щодо яких може бути обмеженою.

Визначена закономірність модулювання частоти сейшів функцією глибини також може бути використаною в ряді інженерних задач. В таблиці 1 представлено деякі запропоновані приклади.

Таблиця 1

Приклади використання закономірності модулювання частоти сейшів функцією глибини

Технічне рішення	Приклад використання
Спосіб сейсмічної розвідки [11]	Для збільшення дальності дії використано довгоперіодний сейсмічний сигнал, обумовлений сейшевими коливаннями водної маси водойми, який характеризується меншим, ніж високочастотний сигнал, поглинанням сейсмічної енергії в середовищі
Спосіб управління режимом зміщень у фрагментах сейсмоактивних розривів депресійної зони водосховища [12]	Для збільшення висоти сейшевої хвилі під час роботи гідроелектростанцій в режимі генерування використано резонанс сейшів із сумірним по частоті припливом [13]
	Для збільшення амплітуди мікросейсмів, як функції від висоти сейшевої хвилі, під час розвантаження тектонічних напружень використано резонанс сейшів із сумірним по частоті припливом [3]

Література

1. Пат. 92416 Україна, МПК (2009) G 01 F 23/00, G 01 F 23/28, G01F 23/296. Спосіб контролю рівня води в водоймі / В. Г. Бурачек, Л. С. Мамонтова, С. І. Слабак – № а2009 06035; заявл. 11.06.2009; опубл. 25.10.2010. Бюл. №20.
2. Pat. 6,549,165 USA, Int.Cl. G 01 S 3/02, G 01 S 5/14. Ocean altimetry interferometric method and device using GNSS signals / M. M. Neira, P. C. Matellano, G. Ruffini; Assignee Agence Spatiale Europeene, France. – Appl. No. 09/766,455; Filed 19.01.2001; Date of Patent 15.04.2003.
3. Анахов П. В. Використання мікросейсмогенних явищ для розвантаження тектонічних напружень / П. В. Анахов // Геофизический журнал. – 2014. – Т. 36, №5. – С. 128-142.
4. Азерникова О. А. Поверхностные и внутренние сейши озера Севан / О. А. Азерникова // Известия АН Армянской ССР. Науки о Земле. – 1975. – №1. – С. 97-101.
5. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapoure: World Scientific Publ., 2009. – Pp. 193-236.
6. Соловьев В. Н. Сейши озера Байкала / В. Н. Соловьев, В. Б. Шостакович // Труды Иркутской магнитной и метеорологической обсерватории. – 1926. – Вып. 1. – С. 58-64.
7. Смирнов С. В. Сейшевые колебания Байкала / С. В. Смирнов, К. М. Кучер, Н. Г. Гранин, И. В. Стурова // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 50, №1. – С. 105-116. DOI: 10.7868/S0002351513050040.
8. Пат. 82977 Україна, МПК G01F 23/22. Спосіб моніторингу рівня води у водоймі / Анахов П. В. – №u201301484; заявл. 08.02.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №16.
9. Пат. 90436 Україна, МПК G01F 23/22. Спосіб моніторингу рівня води у водоймі / Анахова О. В. – №u201315408; заявл. 30.12.2013; опубл. 26.05.2014; Бюл. №10.
10. Шерифф Р. Сейсморазведка. В двух томах. Т. 1 / Р. Шерифф, Л. Гелдарт. – М.: Мир, 1987. – 448 с.
11. Пат. 87564 Україна, МПК G01V 1/00. Спосіб мікросейсмічного розвідування / Анахов П. В. – №u201310919; заявл. 12.09.2013; опубл. 10.02.2014; Бюл. №3.
12. Пат. 83039 Україна, МПК G01V 1/02. Спосіб управління режимом зміщень у фрагментах

сейсмоактивних розривів депресійної зони водосховища / Анахов П. В. – Нау201302278; заявл. 25.02.2013; опубл. 27.08.2013; Бюл. №16.

13. Анахов П. В. Підвищення виробітку потужності гідроелектростанцій за рахунок енергії сейшів / П. В. Анахов // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2014. – №3(37). – С. 51-55.

References

1. Pat. 92416 Ukrajina, MPK (2009) G 01 F 23/00, G 01 F 23/28, G01F 23/296. Sposib kontrolju rivnja vody v vodojmi / V. G. Burachek, L. S. Mamontova, S. I. Slabak – № a2009 06035; zajavl. 11.06.2009; opubl. 25.10.2010. Bjul. №20.
2. Pat. 6,549,165 USA, Int.Cl. G 01 S 3/02, G 01 S 5/14. Ocean altimetry interferometric method and device using GNSS signals / M. Neira, P. C. Matellano, G. Ruffini; Assignee Agence Spatiale Europeene, France. – Appl. No. 09/766,455; Filed 19.01.2001; Date of Patent 15.04.2003.
3. Anahov P. V. Vykoristannja mikrosejsmoghennyh javyshh dlja rozvantazhenja tektonichnih napruzhen' / P. V. Anahov // Geofizicheskij zhurnal. – 2014. – T. 36, №5. – S. 128-142.
4. Azernikova O. A. Poverhnostnye i vnutrennie sejsmi ozera Sevan / O. A. Azernikova // Izvestija AN Armjanskoj SSR. Nauki o Zemle. – 1975. – №1. – S. 97-101.
5. Rabinovich A. B. Seiches and Harbor Oscillations / Handbook of Coastal and Ocean Engineering (ed. by Y. C. Kim). – Singapoure: World Scientific Publ., 2009. – Pp. 193-236.
6. Solov'ev V. N. Sejsmi ozera Bajkala / V. N. Solov'ev, V. B. Shostakovich // Trudy Irkutskoj magnitnoj i meteorologicheskoy observatorii. – 1926. – Vyp. 1. – S. 58-64.
7. Smirnov S. V. Sejshevyje kolebanija Bajkala / S. V. Smirnov, K. M. Kucher, N. G. Granin, I. V. Sturova // Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana. – 2014. – T. 50, №1. – S. 105-116. DOI: 10.7868/S0002351513050040.
8. Pat. 82977 Ukrajina, MPK G01F 23/22. Sposib monitoryngu rivnja vody u vodojmi / Anahov P. V. – Нау201301484; zajavl. 08.02.2013; opubl. 27.08.2013; Bjul. №16.
9. Pat. 90436 Ukrajina, MPK G01F 23/22. Sposib monitoryngu rivnja vody u vodojmi / Anahova O. V. – Нау201315408; zajavl. 30.12.2013; opubl. 26.05.2014; Bjul. №10.
10. Sheriff R. Sejsmorazvedka. V dvuh tomah. T. 1 / R. Sheriff, L. Geldart. – M.: Mir, 1987. – 448 s.
11. Pat. 87564 Ukrajina, MPK G01V 1/00. Sposib mikrosejsmichnogo rozviduvannja / Anahov P. V. – Нау201310919; zajavl. 12.09.2013; opubl. 10.02.2014; Bjul. №3.
12. Pat. 83039 Ukrajina, MPK G01V 1/02. Sposib upravlinnja rjezhymom zmishhjen' u fragmjentah sjejsmoaktyvnyh rozryviv djeprjesijnoji zony vodoshovyshha / Anahov P. V. – Нау201302278; zajavl. 25.02.2013; opubl. 27.08.2013; Bjul. №16.
13. Anahov P. V. Pidvyshhennja vyrobittu potuzhnosti gidrojlektrostancij za rahunok jenjergiji sjejsiv / P. V. Anahov // Jenjergetyka: jekonomika, tjehnologiji, jekologija. – 2014. – №3(37). – S. 51-55.

Рецензія/Peer review : 12.1.2015 р.

Надрукована/Printed :23.1.2015 р.

Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.317.365

Е.Г. ЛЕВЧЕНКО

Национальный авиационный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННЫХ РЕЗОНАТОРОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ВОЛН ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Предложен новый подход к созданию измерителей длин волн лазерного излучения, основанный на использовании связи длины световой волны с акустической частотой в дисперсионном резонаторе, содержащем акустооптический дефлектор, управляющий углом падения света на дифракционную решетку. Приведены схемы акустического взаимодействия для встроенного и автономного волномеров. Проанализированы возможности таких устройств, намечены пути улучшения их показателей.

Ключевые слова: лазерный волномер, акустооптическое взаимодействие, позиционно-чувствительный датчик.

E.G. LEVCHENKO

National aviation university

USING OF DISPERSIVE RESONATORS FOR LASER RADIATION WAVELENGTH MEASURING

The new approach to creating of laser radiating wavelength measurer is offered. It is based on using of light wavelength with acoustic frequency in dispersive resonator which contained acousto-optic deflector that operate the angle of the direction of light on diffraction grating. The schemes of acoustic interaction for inside and autonomous wavelength measurers are adduced. The possibilities of this devices are analyzed and the pathways to improving the indicators are marked.

Keywords: laser wavelength measurer, acousto-optic interaction, position sensitive data unit.

Введение

Создание лазеров с дисперсионными резонаторами и расширение набора активных сред позволило осуществить непрерывную перестройку длины волны излучения во всем оптическом диапазоне. Внедрение этих приборов повышает требования к созданию новых типов измерителей длин волн лазерного излучения, обладающих высокой точностью в широком спектральном диапазоне и способных работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах. Традиционные измерители, использующиеся в оптической спектроскопии, построены по принципу сравнения длины волны излучения с эталоном длины путем подсчета числа полос, на которое смещается интерференционная картина при перемещении одного из