



Расчет коэффициента преобразования натуральных данных лазерного измерителя вариаций давления гидросферы

М. П. Иванов, С. Г. Долгих

Тихоокеанский океанологический институт им.

В. И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

В работе представлена методика определения коэффициента преобразования натуральных данных лазерно-интерференционных приборов, созданных на основе равноплечих и неравноплечих интерферометров Майкельсона, в значения вариаций давления гидросферы при регистрации морского волнения. На основе сопоставления экспериментальных данных, полученных в бухтах Приморского края в разных диапазонах периодов волн и на разных глубинах, показано, что наблюдается сильная зависимость коэффициента пересчета размерностей от глубины погружения.

Ключевые слова: лазерно-интерференционные приборы, лазерный измеритель вариаций давления гидросферы, измеритель скорости звука с датчиком давления и температуры, морское волнение

Статья получена: 30.05.2023

Статья принята: 15.07.2023

ВВЕДЕНИЕ

Ранее, в начале 2000-х годов, сотрудниками лаборатории «Физики геосфер» ТОИ ДВО РАН были разработаны гидрофизические лазерно-интерференционные приемные системы для регистрации вариаций давления гидросферы. Это уникальные лазерно-интерференционные приборы, созданные на основе равноплечих и неравноплечих интерферометров Майкельсона [1]. С расширением перечня решаемых задач конструкции

Calculation of the Field Data Conversion Coefficient of a Laser Meter for Hydrosphere Pressure Variations

M. P. Ivanov, S. G. Dolgikh

V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern

Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

The paper presents a determination method for the field data conversion coefficient of the laser-interferential instruments developed on the basis of equal-arm and unequal-arm Michelson interferometers, into the values of hydrospheric pressure variations during the sea wave registration. Based on a comparison of experimental data obtained in the bays of the Primorsky Territory in various wave period ranges and at different depths, it is shown that there is a strong dependence of the dimension conversion coefficient on the depth of immersion.

Key words: laser meter for hydrosphere pressure variations, sound velocimeter with pressure and temperature sensor, sea disturbance

Article received: 30.05.2023

Article accepted: 15.07.2023

INTRODUCTION

Earlier, in the early 2000s, the staff of the laboratory for geosphere physics, V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, developed the hydrophysical laser-interferential receiving systems for recording pressure variations in the hydrosphere. These are the unique laser-interferential devices based on the equal-arm and unequal-arm Michelson interferometers [1]. With the expansion of the list of tasks to be solved, the design of devices has undergone many changes, some modifications have appeared: a laser meter for hydrosphere pressure variations [2], laser hydrophones [3, 4], and an autonomous laser meter for pressure fluctuations [5].



приборов претерпели множество изменений, появились модификации: лазерный измеритель вариаций давления гидросферы [2], лазерные гидрофоны [3, 4], автономный лазерный измеритель колебаний давления [5].

В качестве источников света во всех перечисленных модификациях приборов регистрации давления гидросферы используются два типа лазеров: частотно-стабилизированный гелий-неоновый лазер и полупроводниковый лазер. Применение полупроводникового лазера позволило значительно сократить массогабаритные характеристики приборов. Все лазерно-интерференционные приемные системы были апробированы в различных акваториях: на МЭС ТОИ ДВО РАН «м. Шульца» на юге Приморского края, на «м. Свободный» (о. Сахалин) и в акваториях других бухт. Широкий диапазон частот, от 0 (условно) до 1000 Гц, и высокая точность, около 1 мПа, позволяют регистрировать вариации давления гидросферы прямыми методами, что значительно повышает ценность полученных натуральных данных.

Использование гидрофизических лазерно-интерференционных приемных систем дало возможность изучить периоды собственных колебаний бухт залива Посыета Японского моря [6], взаимодействие низкочастотных гидроакустических волн с ветровыми морскими волнами [7], динамику ветровых волн при движении по шельфу убывающей глубины [8], особенности возникновения морских инфрагравитационных волн [9], взаимодействие морских внутренних волн и атмосферных депрессий [10] и некоторые другие природные явления. При решении этих научных задач основное внимание уделялось значениям периодов морского волнения и приращению амплитуд. Для расчета высоты морского волнения применялись теоретические расчеты и лабораторные стенды.

Чувствительным элементом лазерно-интерференционных приемных систем является круглая мембрана, жестко закрепленная по периметру. В зависимости от изменения давления на дне изменяется величина прогиба центра мембраны, что определяется лазерно-интерференционным методом. Для определения вариаций давления необходимо пересчитать значения перемещений, определяемых лазерно-интерференционными приборами в единицах измерения длин и регистрируемых в единицах напряжения на пьезотолкателях мембраны в вольтах, в паскалях, единицы измерения давления. Параметр, связывающий размерности, называется коэффициентом

Two types of lasers are used as the light sources in all indicated modifications of hydrosphere pressure recording devices: a frequency-stabilized helium-neon laser and a diode laser. Application of a diode laser made it possible to significantly reduce the weight and dimensions of the devices. All laser-interferential receiving systems were tested in various water areas: at the marine experimental station, V. I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences "cape Schultz" in the south of the Primorsky Territory, at "cape Svobodnyi" (Sakhalin Island) and in the waters of other bays. A wide frequency range (from 0 (conditionally) to 1,000 Hz) and high accuracy (about 1 mPa) make it possible to record the hydrospheric pressure variations by direct methods that significantly increases the values of field data obtained.

Application of the hydrophysical laser-interferential receiving systems made it possible to study the own oscillation period of the bays in the Posyet Bay of the Sea of Japan [6], interaction of the low-frequency hydroacoustic waves with wind-induced sea waves [7], the dynamics of wind-induced waves when moving along the shelf of decreasing depth [8], features of the occurrence of sea infragravitational waves [9], interaction of the sea internal waves and atmospheric depressions [10] and some other natural phenomena. When solving such scientific problems, primary attention was paid to the sea disturbance period values increase in the amplitudes. To obtain the height of sea waves, the theoretical calculations and laboratory benches were used.

The sensitive element of laser-interferential receiving systems is a round membrane rigidly fixed around the perimeter. Depending on the pressure changes at the bottom, the membrane center deflection is changed that is determined by the laser interference method. To determine the pressure variations, it is necessary to recalculate the displacement values determined by the laser-interferential devices in the length units and recorded in volts, voltage units, by the membrane piezo-pushers into pascals, the pressure units. The parameter linking the dimensions is called the conversion factor, and it is calculated experimentally for each device. The conversion factor determination procedure is rather conventional; for this purpose, the laser meter for hydrosphere pressure variations (LMHPV) are immersed in a basin where the water is initially rising, while increasing the pressure, and then lowering, while reducing the pressure.

Over the past years, new issues have appeared, the solution of which has required another sensitivity level of the tools used. To expand the application

пересчета, и он вычисляется для каждого прибора экспериментально. Процедура определения коэффициента пересчета стандартная, для этого лазерные измерители вариаций давления гидросферы (ЛИВДГ) погружаются в бассейне, вода в котором сначала прибывает, увеличивая давление, а затем уходит, снижая давление.

За прошедшие годы появились новые задачи, решение которых требовало иного уровня чувствительности используемых приборов. Для расширения границ применения лазерно-интерференционных приборов в области регистраций давления гидросферы необходимо рассчитать коэффициент преобразования натуральных данных ЛИВДГ. Для этого, а также для определения зависимости коэффициента пересчета натуральных данных от условий измерений были проведены серии экспериментов в различных бухтах Приморского края. Схема эксперимента предполагала установку ЛИВДГ совместно с измерителем скорости звука Mini SVP фирмы Valeport с датчиком давления и температуры (ЗОНД) [11], причем измерения проводили на различных глубинах. Результаты, полученные с обоих приборов, сопоставляли и группировали по волнам, имеющим разные периоды. Для каждой группы волн был рассчитан коэффициент преобразования натуральных данных ЛИВДГ в зависимости от глубины погружения.

ЭКСПЕРИМЕНТ

В качестве приемных измерительных систем в экспериментальных исследованиях использовали лазерный измеритель вариаций давления гидросферы и измеритель скорости звука Mini SVP фирмы Valeport (рис. 1). Для синхронизации ЗОНД (2) был закреплен на измерительный модуль лазерно-интерференционного прибора (1) и установлен на дно. Перед установкой приборы были синхронизированы с помощью часов точного времени. Оптическая схема ЛИВДГ создана на основе модернизированного неравноплечего интерферометра Майкельсона с использованием в качестве источника света частотно-стабилизированного гелий-неонового лазера фирмы Melles Griot, обеспечивающего стабильность частоты излучения 10^{-9} . Как и во всех лазерно-интерференционных приборах в данной установке цифровой системой регистрации (5) измеряется разность между эталонным плечом интерферометра и измерительным. Излучение в эталонном плече интерферометра проходит оптический путь от делительной пластины до зеркал, закрепленных на пьезокерамических основаниях (4). И обратно. Излучение в измерительном

boundaries of the laser-interferential devices in the field of hydrospheric pressure recording, it is necessary to calculate the field data conversion coefficient of the LMHPV. For this purpose, as well as for determination of the dependence of field data conversion factor on the measurement conditions, a series of experiments and tests were performed in various bays of the Primorsky Territory. The experimental design assumed the LMHPV installation together with a Valeport Mini SVP sound velocimeter with a pressure and temperature sensor (Mini SVP) [11]. The measurements were performed at different depths. The results obtained from both devices were compared and grouped by the waves with various periods. For each group of waves, the field data conversion coefficient of the LMHPV was calculated depending on the depth of immersion.

EXPERIMENT

The laser meter for hydrosphere pressure variations and a Mini SVP sound velocimeter by Valeport were used as the receiving measurement systems in the experimental studies (Fig. 1). For synchronization, the Mini SVP (2) was attached to the measuring module of the laser-interferential device (1) and installed on the bottom. Prior to installation, the devices were synchronized using an exact time clock. The LMHPV optical circuit was based on a modernized unequal-arm Michelson interferometer using a Melles Griot

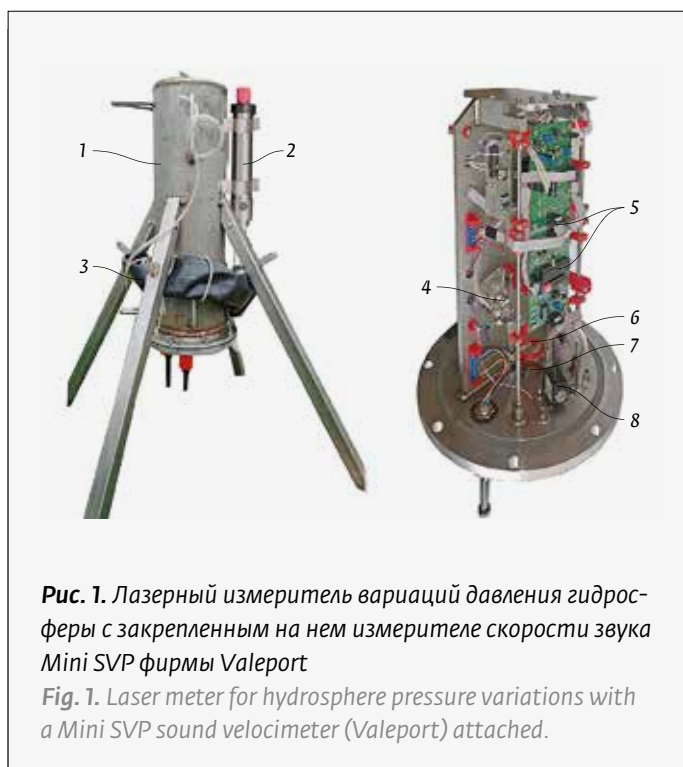


Рис. 1. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы с закрепленным на нем измерителе скорости звука Mini SVP фирмы Valeport

Fig. 1. Laser meter for hydrosphere pressure variations with a Mini SVP sound velocimeter (Valeport) attached.

плече интерферометра проходит оптический путь от делительной пластины до системы «кошкин глаз», состоящей из линзы (б) и зеркала, жестко закрепленного в центре гибкой мембраны (7). Возвращаясь на делительную пластину оба луча смешиваются и падают на фотоприемник, образуя интерференционную картину.

Чувствительным элементом ЛИВДГ является круглая мембрана, закрепленная по краю. Она устанавливается в нейтральное положение в момент постановки прибора на дно. Это достигается благодаря системе компенсации, включающей компенсационную камеру, клапан (8) и емкость с воздухом (1). В момент погружения прибора клапан открывается и под действием давления воды воздух из емкости начинает поступать в компенсационную камеру, выравнивая давление в камере с давлением, действующим на мембрану с другой стороны. После достижения рабочей глубины клапан закрывается, и прибор начинает регистрировать вариации давления гидросферы на мембрану. Под действием давления воды мембрана прогибается, меняя оптическую длину измерительного плеча. Система регистрации, установленная в измерительном модуле, компенсирует изменение длины измерительного плеча, меняя длину эталонного плеча. Для этого служит пьезокерамический цилиндр, на который подается напряжение. Изменение напряжения фиксируется цифровой системой регистрации и передается на пишущий компьютер, установленный в модуле автономизации. Экспериментальные данные поступают с системы регистрации через автоматический цифровой преобразователь и формируются в виде файлов данных длительностью 1 час с частотой дискретизации 800 Гц.

Результаты совместных измерений лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и закрепленного на нем измерителя скорости звука Mini SVP фирмы Valeport плучены в трех бухтах Приморского края на разных глубинах. В бухте Алексеева (о. Попова) приборы были установлены 24.06.2021 г. на глубине 8 м (рис. 2а). В бухте Улисс (г. Владивосток) эксперимент проводился в период с 06.07.2021 г. по 13.07.2021 г., глубина в месте установки составила 7 м (рис. 2 б). В бухте Витязь залива Посьет приборы находились на глубине 5 м в период с 30.06.2022 г. по 01.07.2022 г. (рис. 2 с).

Установленный на измерительном модуле ЗОНД имеет меньшую автономность, при частоте записи 8 Гц она составляет чуть более суток. Данные вариаций давления гидросферы записывались в непрерывном режиме на внутренний накопитель прибора с частотой 8 Гц. Для сопоставления эксперимен-

frequency-stabilized helium-neon laser as a light source that ensured the radiation frequency stability of 10^{-9} . As in all laser-interferential devices, the



Рис. 2. Места установки лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и измерителя скорости звука Mini SVP фирмы Valeport: а) – бухта Алексеева (о. Попова); б) – бухта Улисс (г. Владивосток); с) – бухта Витязь (залив Посьет)

Fig. 2. Installation points of the laser meter for hydrosphere pressure variations and the Mini SVP sound velocimeter by Valeport: a) Alekseev Bay (Popov Island); b) Uliiss Bay (Vladivostok); c) Vityaz Bay (Posyet Bay)

тальных данных будем использовать только данные датчика давления.

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Перед сопоставлением экспериментальных данных приведем записи вариаций давления гидросферы к одному виду. Для этого данные ЛИВГД отфильтруем низкочастотным фильтром с окном Хэмминга длиной 3000 до частоты 8 Гц и затем продецимируем в 100 раз. Полученные часовые файлы объединим в непрерывный ряд данных. В результате получаем экспериментальные данные ЛИВГД и ЗОНД одинаковой длительностью с частотой дискретизации 8 Гц. При анализе спектров экспериментальных данных были выделены гармоники с периодами от нескольких секунд до нескольких минут. Периоды от 4 до 6 с соответствуют поверхностному ветровому волнению в месте установки прибора, а периоды от 8 до 20 с соответствуют волнам зыби. Так же на запи-

digital registration system (5) in this setup measured the difference between the interferometer reference arm and the active arm. The radiation in the interferometer reference arm passes along the optical path from the dividing plate to the mirrors installed on the piezoceramic bases (4) and back. The radiation in the interferometer active arm passes along the optical path from the dividing plate to the “cat’s eye” system, consisting of a lens (6) and a mirror rigidly fixed in the center of the flexible membrane (7). After returning to the dividing plate, both beams are combined and become incident to the photodetector while generating an interference pattern.

The LMHPV detecting element is a round membrane fixed along the edge. It is set to the neutral position when the device is placed on the bottom. Such position is ensured due to the compensation system consisting of a balance chamber, a valve (8) and an air tank (1). During the device immersion, the valve is opened and, under the influence of water pressure, air

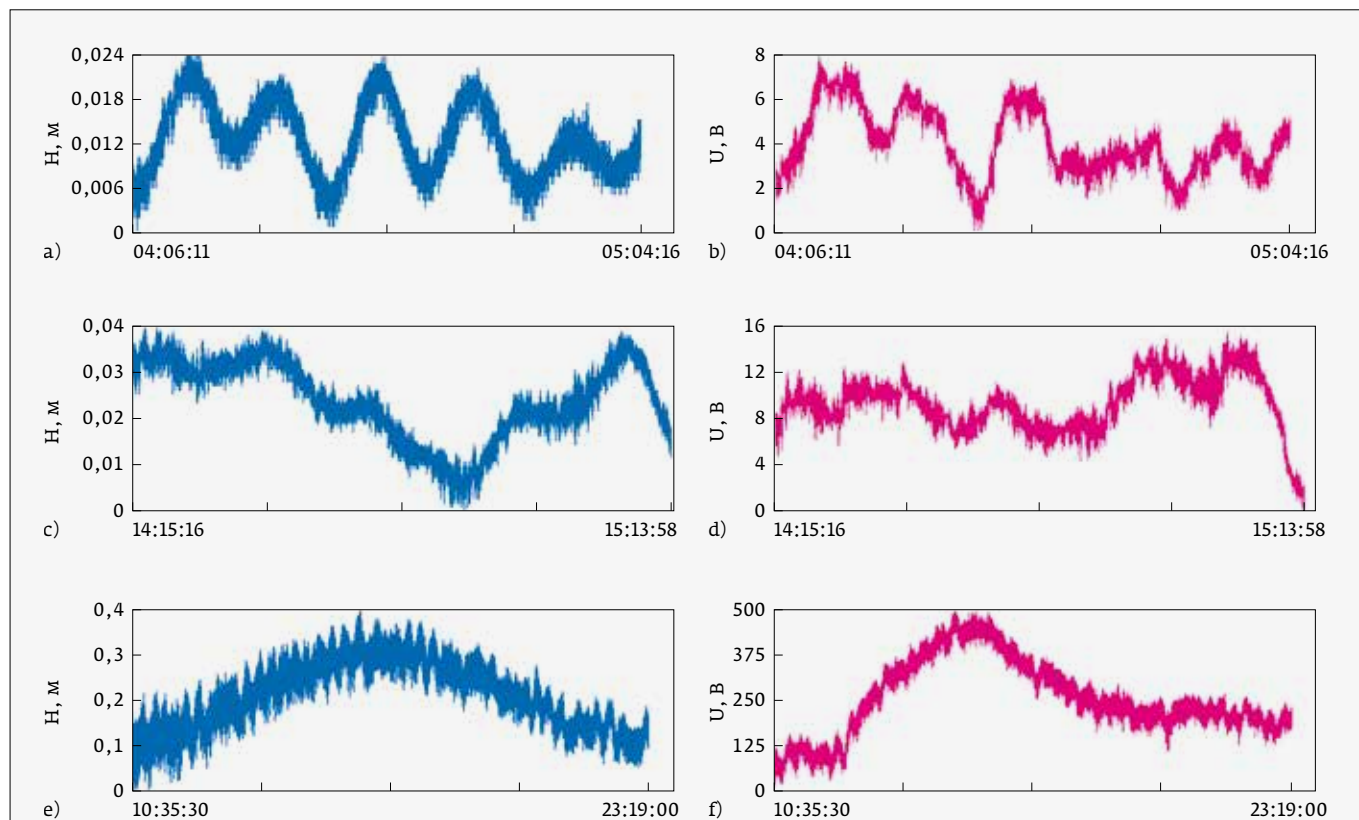


Рис. 3. Записи вариаций давления гидросферы, полученные с помощью лазерного измерителя вариаций давления гидросферы (красный цвет линий) и измерителя скорости звука Mini SVP (синий цвет линий): а) и б) – данные, полученные в бухте Алексеева; с) и д) – данные полученные в бухте Улисс; е) и ф) – данные, полученные в бухте Витязь

Fig. 3. Records of hydrospheric pressure variations obtained using a laser meter for hydrosphere pressure variations (red lines) and a Mini SVP sound velocimeter (blue lines): a) and b) represent data obtained in the Alekseev Bay; c) and d) show data obtained in the Uliss Bay; e) and f) show data obtained in the Vityaz Bay

сях приборов выделяются колебания с периодами, соответствующими собственным колебаниям бухт, в которых они были установлены. Выберем синхронные участки записей приборов с максимальных корреляций для различных периодов морского волнения для каждой из бухт (рис. 3).

На рис. 3 представлены полученные экспериментальные данные вариаций давления гидросферы двумя приборами для каждой из бухт. Сигналы: рис. 3а и рис. 3б соответствуют данным полученным ЗОНД и ЛИВГД в бухте Алексеева (о. Попова), сигналы рис. 3с и рис. 3д получены при постановке приборов в бухте Улисс (г. Владивосток), сигналы рис. 3е и рис. 3д получены при проведении эксперимента в бухте Витязь (залив Посыет). Синий цвет соответствует экспериментальным данным датчика давления измерителя скорости звука Mini SVP, а красный цвет – данным лазерного измерителя вариаций давления гидросферы.

При анализе спектров записей приборов для расчета коэффициента преобразования морское волнение было разделено по группам. На рис. 4 представлены спектры записей приборов морского волнения с периодами от 5,5 до 30 с (левый) и от 100 до 350 с (правый). Разделим по группам волны следующим образом: первая группа с периодами волнения в диапазоне от 5 до 10 с, вторая группа с периодами от 10 до 30 с и третья группа с периодами морского волнения от 100 до 400 с. Вариации морского волнения с данными периодами были зарегистрированы в каждом эксперименте. К четвертой группе отнесем собственные колебания бухт, где были установлены приборы. Данные колебания для различных мест установки приборов варьировались от 600 до 1100 с.

Выберем несколько цугов волн для каждой группы на записях лазерно-интерференционного прибора и датчика давления измерителя скорости звука с максимальной корреляцией. На рис. 5 представлены синхронные участки записей приборов при их установке в бухте Алексеева (о. Попова). На верхней записи рисунка выделено ветровое волнение с периодом около 6 с, а на нижней записи выделены собственные колебания бухты с периодами около 600 с [12].

Для морского волнения с периодом колебаний от 5 до 10 с было выбрано 20 таких участков для каждой из трех бухт, где были установлены приборы. В результате сопоставления экспериментальных данных двух приборов для данного диапазона периодов при погружении прибора на 5 метров средний коэффициент составил около 10 Па/В, при погружении приборов на глубину 7 метров он соста-

from the tank begins to flow into the balance chamber, while equalizing the pressure in the chamber with the pressure acting on the membrane from the other side. After reaching the working depth, the valve is closed, and the device begins to register the hydrosphere pressure variation on the membrane. Under the water pressure, the membrane is bent while changing the optical length of the active arm. The registration system installed in the measuring module compensates for any length changes of the active arm by changing the length of the reference arm. For this purpose, a piezoceramic cylinder is used, to which voltage is

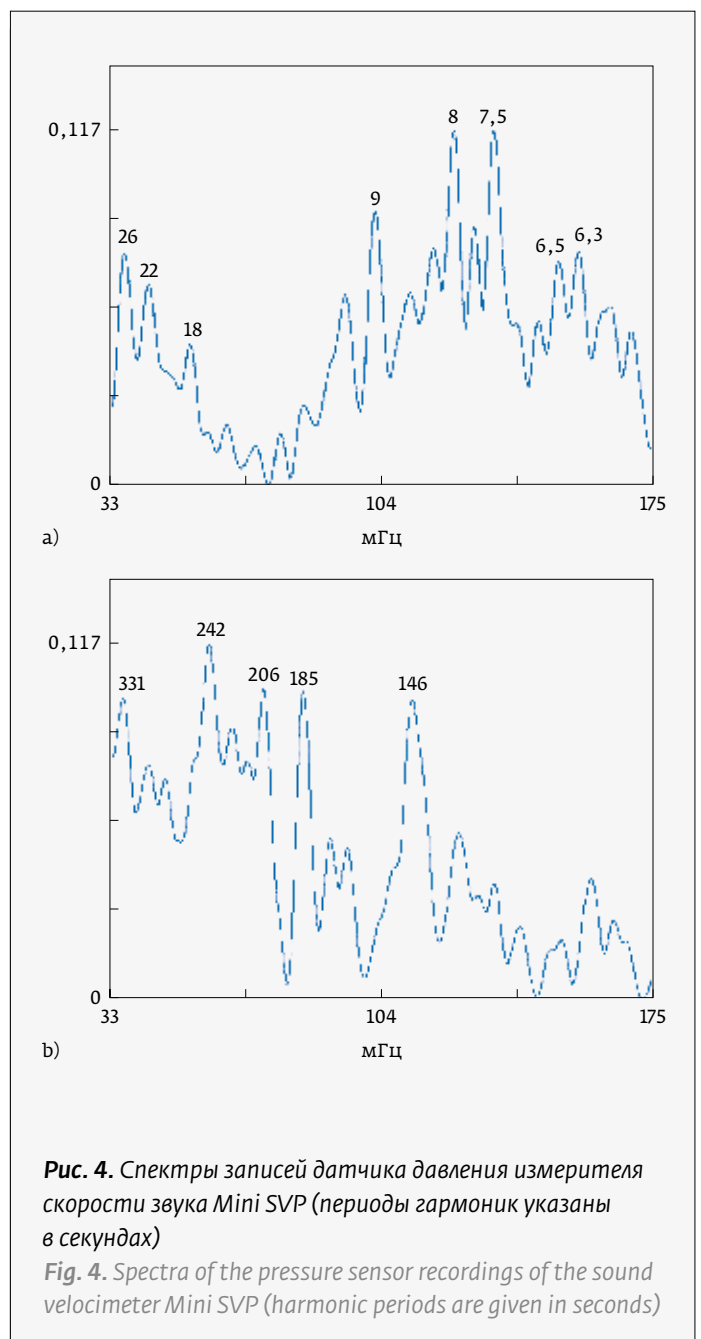


Рис. 4. Спектры записей датчика давления измерителя скорости звука Mini SVP (периоды гармоник указаны в секундах)

Fig. 4. Spectra of the pressure sensor recordings of the sound velocimeter Mini SVP (harmonic periods are given in seconds)

вил 26 Па/В, а при установке приборов на глубину 8 метров значение среднего коэффициента составило приблизительно 39 Па/В. По полученным данным была построена зависимость коэффициента преобразования от глубины погружения для морского волнения с периодами от 5 до 10 с (рис. 6а).

Проанализируем вариации давления с периодами от 10 до 30 с. Для данного диапазона периодов было также выбрано 20 участков для каждой из бухт. При сопоставлении экспериментальных данных ЛИВГД и ЗОНД в бухте Витязь (залив Посыет) среднее значение коэффициента составило 11,6 Па/В. При установке приборов в бухте Улисс (г. Владивосток) средний коэффициент равен 29 Па/В, а при сопоставлении данных вариаций давления в бухте Алексеева (о. Попов) он составил 39 Па/В. В результате по полученным экспериментальным данным вариаций давления гидросферы с периодами от 10 до 30 с была построена зависимость данного коэффициента от глубины погружения (рис. 6б).

Рассмотрим морское волнение с периодами от 180 до 360 с. Для этого морского волнения для

applied. The change in the voltage values is recorded by a digital registration system and transmitted to a recording computer installed in the autonomization module. The experimental data are received from the registration system through an automatic digital converter and are generated in the form of data files with a duration of 1 hour and a sampling frequency of 800 Hz.

The joint measurement results of a laser meter for hydrosphere pressure variations and a Valeport Mini SVP sound velocimeter attached to it were obtained in three bays of the Primorsky Territory at various depths. In the Alekseev Bay (Popov Island), the instruments were installed on June 24, 2021 at a depth of 8 m (Fig. 2a). In the Uliss Bay (Vladivostok), the experiment was performed during the period from July 06, 2021 to July 13, 2021. The depth at the installation site was 7 m (Fig. 2b). In the Vityaz Bay of the Posyet Bay, the instruments were located at a depth of 5 m during the period from June 30, 2022 to July 1, 2022 (Fig. 2c).

The Mini SVP installed on the measuring module has a lower autonomy; at a recording frequency of 8 Hz, it is a little more than one day. The data of pressure variations in the hydrosphere were recorded in a continuous form on the internal bulk storage of the device at a frequency of 8 Hz. To compare the experimental data, the pressure sensor data only will be used.

PROCESSING AND ANALYSIS OF THE OBTAINED EXPERIMENTAL DATA

Prior to comparing the experimental data, the records of hydrospheric pressure variations will be reduced to the unified form. For this purpose, the LMHPV data will be filtered by a low-pass filter with a Hamming window with the length of 3000 to a frequency of 8 Hz and then prodecimated by a factor of 100. The resulting one-hour files will be combined into a continuous data series. As a result, we obtain the LMHPV and Mini SVP experimental data of the same duration with a sampling rate of 8 Hz. When analyzing the experimental data spectra, the harmonics with periods from several seconds to several minutes were identified. The periods with the duration from 4 to 6 s correspond to the surface wind-induced waves at the instrument installation site, and the periods with the duration from 8 to 20 s correspond to the swell waves. Moreover, the device records demonstrate oscillations with the periods relevant to the natural disturbances of the bays where they have been installed. The synchronous sections of instrument records with the maximum correlations for various periods of sea

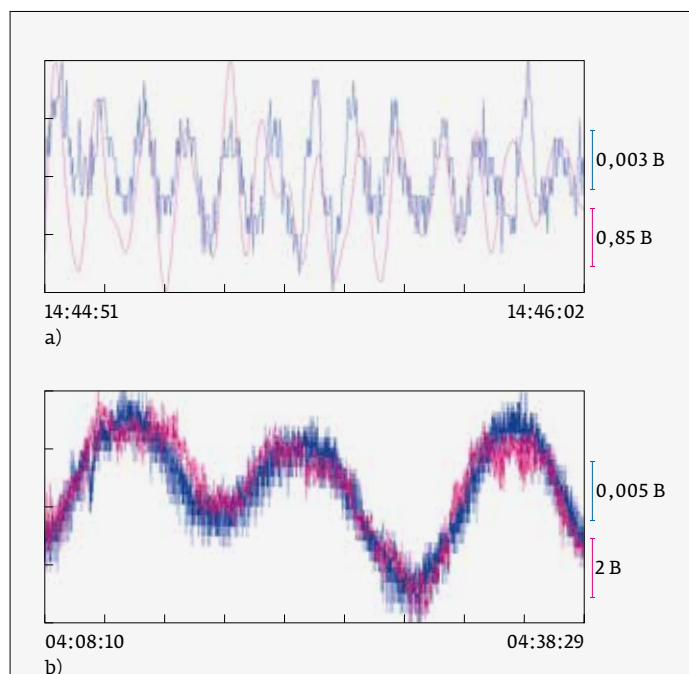
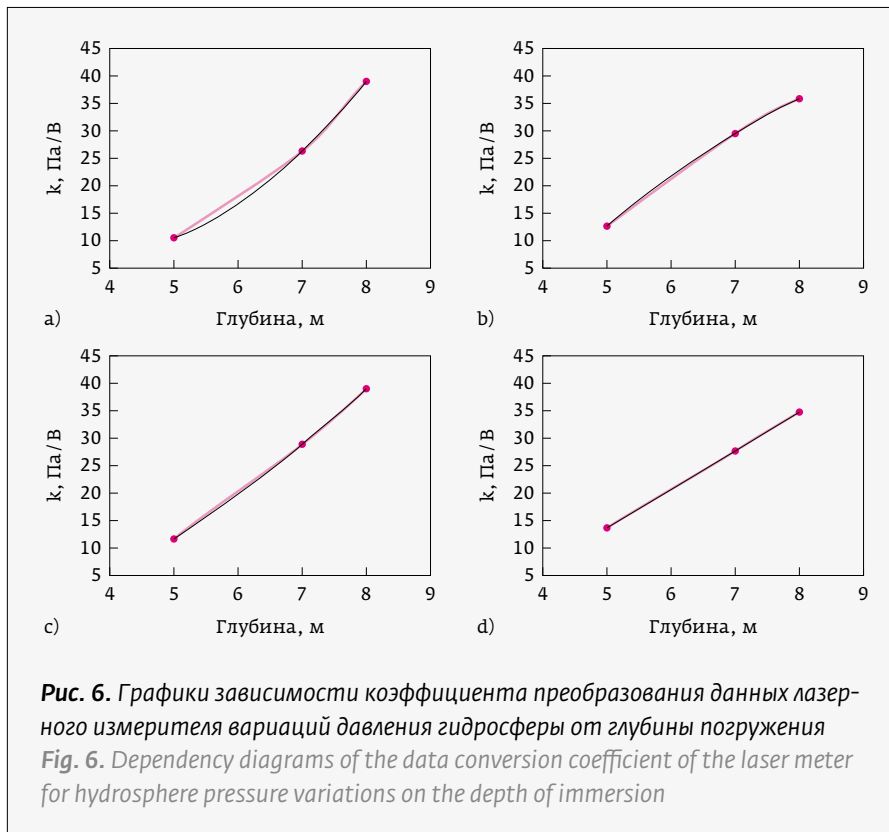


Рис. 5. Записи лазерного измерителя вариаций давления гидросферы (красный) и датчика давления измерителя скорости звука Mini SVP (синий): а) ветровое волнение; б) собственные колебания бухты Алексеева

Fig. 5. Recordings of the laser meter for hydrosphere pressure variations (red) and the pressure sensor of the Mini SVP sound velocimeter (blue): а) wind-induced waves; б) natural oscillations of the Alekseev Bay



каждой из трех бухт были выбраны синхронные участки записей приборов с максимальной корреляцией. При сопоставлении значений амплитуд колебаний давления среднее значение коэффициента преобразования для глубины 5 м составило 12,5 Па/В. При постановке приборов на глубине 7 м среднее значение коэффициента составило 29 Па/В. При погружении приборов на глубину 8 м это значение оказалось равным 36 Па/В. По полученным расчетным данным была построена зависимость коэффициента преобразования от глубины погружения для морского волнения с периодами от 180 до 360 с (рис. 6с).

При анализе экспериментальных данных приборов при регистрации собственных колебаний бухт с периодами от 600 до 1200 с было выбрано около 10 синхронных участков для каждой из бухт. Для данного диапазона периодов при установке измерителей в бухте Витязь (залив Посыет) среднее значение коэффициента составило 11,5 Па/В. Для глубины 7 м среднее значение коэффициента равно 28 Па/В, а при анализе экспериментальных данных, полученных в бухте Алексева (о. Попова), коэффициент составил 38 Па/В. В результате анализа экспериментальных данных вариаций давления гидросферы при регистрации собственных колебаний бухт была построена зависимость сред-

disturbances for each of the bays will be selected (Fig. 3).

Figure 3 presents the obtained experimental data on hydrospheric pressure variations by two instruments for each of the bays: the signals in Fig. 3a and Fig. 3b correspond to the data obtained by the Mini SVP and LMHPV in the Alekseev Bay (Popov Island), the signals in Fig. 3c and Fig. 3d were obtained during the installation of devices in the Uliss Bay (Vladivostok), the signals in Fig. 3e and Fig. 3d were obtained during the experiment in the Vityaz Bay (Posyet Bay). The blue color corresponds to the experimental data of the pressure sensor of the Mini SVP sound velocimeter, and the red color corresponds to the data of the laser meter for hydrosphere pressure variations.

When analyzing the spectra of instrument records for calculating the conversion coefficient, the sea disturbances were divided into the groups. Figure 4 shows the spectra of records of sea wave instruments with the periods from 5.5 to 30 s (left) and from 100 to 350 s (right). We divide the waves into the groups as follows: the first group with waves in the range from 5 to 10 s, the second group with the periods from 10 to 30 s and the third group with the periods of sea disturbances from 100 to 400 s. Variations in the sea disturbances with these periods were recorded in each experiment. The fourth group includes the natural disturbances of the bays where the devices have been installed. These fluctuations for various device installation points ranged from 600 to 1100 s.

We select several trains of waves for each group on the records of the laser-interferential device and the pressure sensor of the sound velocimeter with the maximum correlation. Figure 5 shows the synchronous segments of instrument records when they were installed in the Alekseev Bay (Popov Island). On the top record, the wind-induced waves with a period of about 6 s are emphasized, and on the bottom record, the natural disturbances of the bay with the periods of about 600 s are indicated [12].

For the sea disturbances with an oscillation period of 5 to 10 s, twenty such areas were selected for each of the three bays where the instruments were installed.



него значения коэффициента преобразования от глубины погружения приборов (рис. 6d).

В результате проведенных вычислений была выявлена зависимость коэффициента преобразования данных лазерного измерителя вариаций давления гидросферы от глубины погружения. Для всех исследуемых диапазонов периодов морского волнения рассчитанные коэффициенты преобразования для каждого места постановки приборов проявили примерно одинаковые значения. Наблюдается сильная зависимость коэффициента пересчета размерностей от глубины погружения. В результате среднее значение коэффициента преобразования для бухты Витязь при постановке приборов на глубине 5 м составило 11,6 Па/В, для бухты Улисс при глубине 7 м среднее значение коэффициента преобразования составило 28,1 Па/В, а для бухты Алексеева при постановке приборов на глубине 8 м составило 38 Па/В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа экспериментальных данных лазерного измерителя вариаций давления гидросферы и датчика давления измерителя скорости звука Mini SVP фирмы Valeport был вычислен коэффициент преобразования данных лазерно-интерференционного прибора в зависимости от глубины погружения. Исследования проводились в трех бухтах Приморского края на разных глубинах. В бухте Витязь (залив Посыет) на глубине 5 м, в бухте Улисс (г. Владивосток) на глубине 7 м и на глубине 8 м в бухте Алексеева (о. Попова). Для каждой из бухт были выбраны синхронные участки записей приборов с максимальной корреляцией для разных диапазонов периодов морского волнения. Всего было выбрано четыре диапазона периодов от ветрового волнения до собственных колебаний бухт, где были установлены приборы. Из полученных данных был определен коэффициент пересчета данных с ЛИВДГ из размерности напряжения, выраженную в вольтах, в размерность давления, выраженную в паскалях. Так, при глубине 5 м он составил примерно 11,6 Па/В, при глубине 7 м средний коэффициент преобразования был равен 28,1 Па/В, а при постановке приборов на глубину 8 м его значение составило 38 Па/В.

Рассчитанный коэффициент преобразования позволит расширить границы применения лазерных измерителей вариаций давления гидросферы различных модификаций. Для более точного определения коэффициента преобразования экспериментальных данных лазерно-интерференционного прибора в дальнейшем необходимо провести иссле-

As a result of comparing the experimental data of two devices for a given range of periods, when the device was immersed to 5 meters, the average coefficient was about 10 Pa / V, when the devices were immersed to a depth of 7 meters, it was 26 Pa/V, and when the devices were installed to a depth of 8 meters, the average coefficient value was approximately 39 Pa/V. Based on the data obtained, the dependence of the conversion coefficient on the depth of immersion for the sea disturbances with the periods from 5 to 10 s was plotted (Fig. 6a).

Let us analyze the pressure variations with the periods from 10 to 30 s. For this range of periods, twenty sites were selected for each of the bays. When comparing the experimental data of LMHPV and Mini SVP in the Vityaz Bay (Posyet Bay), the average coefficient value was 11.6 Pa/V. When installing the devices in the Uliss Bay (Vladivostok), the average coefficient was 29 Pa/V, and when comparing the data of pressure variations in the Alekseev Bay (Popov Island), it was 39 Pa/V. As a result, according to the experimental data obtained related to the hydrosphere pressure variations with the periods from 10 to 30 s, the dependence of this coefficient on the immersion depth was indicated (Fig. 6b).

We will consider the sea disturbances with the periods from 180 to 360 s. For such sea disturbances, the synchronous sections of instrument records with the maximum correlation were selected for each of the three bays. When comparing the amplitude values of pressure fluctuations, the average conversion coefficient value for a depth of 5 m was 12.5 Pa/V. When setting up the instruments at a depth of 7 m, the average coefficient value was 29 Pa/V. When the instruments were immersed to a depth of 8 m, this value turned out to be 36 Pa/V. According to the obtained calculated data, the dependence of the conversion coefficient on the depth of immersion for the sea disturbances with the periods from 180 to 360 s was plotted (Fig. 6c).

When analyzing the experimental data of devices during registration of natural oscillations in the bays with the periods from 600 to 1200 s, about 10 synchronous sites were selected for each of the bays. For this range of periods, when the meters were installed in the Vityaz Bay (Posyet Bay), the average coefficient value was 11.5 Pa/V. For a depth of 7 m, the average coefficient value was 28 Pa/V, and when analyzing the experimental data obtained in the Alekseev Bay (Popov Island), the coefficient was equal to 38 Pa/V. As a result of the experimental data analysis on the hydrosphere pressure variations during the registration of natural oscillations in the bays, the dependence of the average



дования на больших глубинах. Такие исследование планируется провести в бухте Витязь (залив Посыет) на глубинах от 10 до 20 м летом-осенью 2023 года.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке РФФ проект № 22-27-00678 «Микродеформации земной коры, вызванные морскими инфрагравитационными волнами по данным лазерно-интерференционных приборов».

REFERENCES

1. **Dolgikh G. I., Budrin S. S., Dolgikh S. G., Plotnikov A. A., CHupin V. A., SHvets V. A., IAKovenko S. V.** Hydrophysical Laser Interference Receiving Systems: Features And Application. *Photonics Russia*. 2019;13 (7): 658–668. DOI: 10.22184/1993-7296. FRos.2019.13.7.658.668.
Долгих Г. И., Будрин С. С., Долгих С. Г., Плотников А. А., Чупин В. А., Шве́ц В. А., Яковенко С. В. Гидрофизические лазерно-интерференционные приемные системы: конструктивные особенности и области применения. *Фотоника*. 2019;13 (7): 658–668. DOI: 10.22184/1993-7296. FRos.2019.13.7.658.668.
2. **Dolgikh G. I., Dolgikh S. G., Kovalev S. N., SHvets V. A., CHupin V. A., IAKovenko S. V.** Lazernyi izmeritel variatsii davleniia gidrosfery. *Pribory i tekhnika eksperimenta*. 2005; 6: 137–138.
Долгих Г. И., Долгих С. Г., Ковалев С. Н., Шве́ц В. А., Чупин В. А., Яковенко С. В. Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы. *Приборы и техника эксперимента*. 2005; 6: 137–138.
3. **Dolgikh G. I., Plotnikov A. A., SHvets V. A.** Lazernyi gidrofon. *Pribory i tekhnika eksperimenta*. 2007; 1:159–160.
Долгих Г. И., Плотников А. А., Шве́ц В. А. Лазерный гидрофон. *Приборы и техника эксперимента*. 2007; 1:159–160.
4. **Dolgikh G. I., Dolgikh S. G., Plotnikov A. A., CHupin V. A., IAKovenko S. V.** Lazernyi gidrofon na osnove zelenogo lazera LCM-S-11. *Pribory i tekhnika eksperimenta*. 2013; 5: 140–141. DOI: 10.7868/S0032816213040216.
Долгих Г. И., Долгих С. Г., Плотников А. А., Чупин В. А., Яковенко С. В. Лазерный гидрофон на основе зеленого лазера LCM-S-11. *Приборы и техника эксперимента*. 2013; 5: 140–141. DOI: 10.7868/S0032816213040216.
5. **Dolgikh G. I., Budrin S. S., SHvets V. A., IAKovenko S. V.** Autonomous laser Pressure fluctuation meter. *Photonics Russia*. 2019;13(4):372–381. DOI: 10.22184/1993-7296. FRos.2019.13.4.372.380.
Долгих Г. И., Будрин С. С., Шве́ц В. А., Яковенко С. В. Автономный лазерный измеритель колебаний. *Фотоника*. 2019;13(4):372–381. DOI: 10.22184/1993-7296. FRos.2019.13.4.372.380.
6. **Dolgikh G. I., Dolgikh S. G., Smirnov S. V., CHupin V. A., SHvets V. A., IAKovenko S. V.** Infrazvukovye kolebaniia japonskogo moria. *Doklady Akademii nauk*. 2011;441(1):98–102.
Долгих Г. И., Долгих С. Г., Смирнов С. В., Чупин В. А., Шве́ц В. А., Яковенко С. В. Инфразвуковые колебания японского моря. *Доклады Академии наук*. 2011;441(1):98–102.
7. **Dolgikh G. I., Plotnikov A. A., Dolgikh S. G., CHupin V. A., IAKovenko S. V.** Vzaimodeistvie nizkочастotnykh gidroakusticheskikh voln s vetrovymi morskimi volnami. *Doklady Akademii nauk*. 2010;430(2):257–260.
Долгих Г. И., Плотников А. А., Долгих С. Г., Чупин В. А., Яковенко С. В. Взаимодействие низкочастотных гидроакустических волн с ветровыми морскими волнами. *Доклады Академии наук*. 2010;430(2):257–260.
8. **Dolgikh G. I., Budrin S. S., Dolgikh S. G., Ovcharenko V. V., Plotnikov A. A., CHupin V. A., SHvets V. A., IAKovenko S. V.** Dinamika vetrovykh voln pri dvizhenii po shelfu ubyvaiushchei glubiny. *Doklady akademii nauk*. 2012;447(4):445–449.
Долгих Г. И., Будрин С. С., Долгих С. Г., Овчаренко В. В., Плотников А. А., Чупин В. А., Шве́ц В. А., Яковенко С. В. Динамика ветровых волн при движении по шельфу убывающей глубины. *Доклады академии наук*. 2012;447(4):445–449.
9. **Dolgikh G. I., Plotnikov A. A.** Osobennosti vozniknoveniia morskikh infragravitatsionnykh voln. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2018;8:33–38.
Долгих Г. И., Плотников А. А. Особенности возникновения морских инфрагравитационных волн. *Метеорология и гидрология*. 2018;8:33–38.
10. **Dolgikh G. I., Budrin S. S., Dolgikh S. G., Ovcharenko V. V., CHupin V. A., SHvets V. A., IAKovenko S. V.** Morskije vnutrennie volny i atmosferyne depressii. *Doklady Akademii nauk*. 2015;462(5):601–604. DOI: 10.7868/S0869565215170181.
Долгих Г. И., Будрин С. С., Долгих С. Г., Овчаренко В. В., Чупин В. А., Шве́ц В. А.,

conversion coefficient value on the immersion depth of the devices was noted (Fig. 6d).

As a result of calculations, the dependence of the data conversion coefficient of the laser meter for hydrosphere pressure variations on the depth of immersion was found. For all ranges of sea disturbance periods under study, the calculated conversion coefficients for each device installation site demonstrated approximately equal values. There is a strong dependence of the dimension conversion coefficient on the depth of immersion. As a result, the average value of the conversion coefficient for the Vityaz Bay when the devices were installed at a depth of 5 m was 11.6 Pa/V, for the Uliss Bay at a depth of 7 m the average conversion coefficient value was 28.1 Pa/V, and for the Alekseev Bay when the instruments were installed at a depth of 8 m it was equal to 38 Pa/V.

CONCLUSION

As a result of the experimental data analysis of the laser meter for hydrosphere pressure variations and the pressure sensor of the Valeport Mini SVP sound velocimeter, the data conversion coefficient of the laser-interferential device was calculated depending on the immersion depth. The studies were performed in three bays of the Primorsky Territory at various depths, namely in the Vityaz Bay (Posyet Bay) at a depth of 5 m, in the Uliss Bay (Vladivostok) at a depth of 7 m and in the Alekseev Bay (Popov Island) at a depth of 8 m. For each of the bays, the synchronous sections of device records with the maximum correlation for various ranges of sea disturbances were selected. In total, four ranges of periods were selected from the wind-induced waves to the natural oscillations of the bays where the instruments were installed. Based on the data obtained, the LMHPV data conversion coefficient from the dimension of voltage, expressed in volts, to the dimension of pressure, expressed in pascals, was determined. Thus, at a depth of 5 m, it was approximately 11.6 Pa/V, at a depth of 7 m, the average conversion coefficient was 28.1 Pa/V, and when the instruments were located at a depth of 8 m, its value was 38 Pa/V.

The calculated conversion coefficient will expand the scope of application of laser meter for hydrosphere pressure variations with various modifications. For a more precise determination of the conversion coefficient of experimental data from the laser-interferential device, it is necessary to perform further studies at great depths. Such research is scheduled to be carried out in the Vityaz Bay (Posyet Bay) at the depths of 10 to 20 m in summer-autumn 2023.



Яковенко С. В. Морские внутренние волны и атмосферные депрессии. *Доклады Академии наук*. 2015;462(5):601–604. DOI: 10.7868/S0869565215170181.

11. *MiniSERIES Operating Manual miniCTD miniSVP miniTIDE 0660880d* 2019. Valeport Ltd.
 12. Smirnov S. V. О расчёте seishevyykh kolebaniy srednei chasti zaliva Petra Velikogo. *Sib zhurn vychisl matematiki*. 2014;17(2):203–216. DOI: 10.1134/S1995423914020104.
- Смирнов С. В. О расчёте сейшевых колебаний средней части залива Петра Великого *Сиб. журн. вычисл. Математики*. 2014;17(2):203–216. DOI: 10.1134/S1995423914020104.

АВТОРЫ

Иванов М. П., Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичёва
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия.
ORCID: 0000-0003-3178-2634

Долгих С. Г., д. т. н., Тихоокеанский океанологический институт им. В. И. Ильичёва
Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток, Россия.
ORCID: 0000-0001-9828-5929

ACKNOWLEDGEMENT

The research was performed with the partial financial support of the Russian Science Foundation, project No. 22–27–00678 “Micro-deformations of the earth’s crust caused by marine infragravity waves according to laser interference devices”.

ABOUT AUTHORS

Ivanov M. P., V. I. Il’ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia.

ORCID: 0000-0003-3178-2634

Dolgikh S. G., Doctor of Technical Sciences, V. I. Il’ichev Pacific Oceanological Institute Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia.

ORCID: 0000-0001-9828-5929

Синтез квантовых точек: Нобелевская премия по химии



Нобелевская премия по химии 2023 года присуждена «за открытие и синтез квантовых точек» группе ученых: Мунги Дж. Бавенди (Массачусетский технологический институт, Луису Брусу (Колумбийский университет) и Алексею Екимову (компании Nanocrystals Technology Inc., США).

Квантовые точки были впервые синтезированы в 1981 году А.И. Екимовым и А.А. Онущенко в стеклянной матрице [Екимов А.И., Онущенко А.А. Квантовый размерный эффект в трехмерных микрокристаллах полупроводников. *Письма в ЖЭТФ*. 1981;34:363–6], а затем в 1983 году Луисом Брюсом в коллоидном растворе [Rossetti R., Nakahara S., Brus L. E. Quantum size effects in the redox potentials, resonance Raman spectra, and electronic spectra of CdS crystallites in aqueous solution. *The Journal of Chemical Physics*. 1983;79(2):1086–8. DOI: 10.1063/1.445834].

Теория квантовых точек была создана Александром Эфросом в 1982 году [Эфрос А.Л., Эфрос А.Л. Межзонное поглощение

света в полупроводниковом шаре. *ФТП*. 1982;16(7):1209–14.]. А.И. Екимов, А.Л. Эфрос и Л. Брюс за открытие квантовых точек были награждены Премией Р.В. Вуда (2006). Сам термин «квантовая точка» был предложен Марком Ридом.

Работы А.И. Екимова, А.Л. Эфроса и Л. Брюса стали отправной точкой для исследований нового класса физических объектов с размером в единицы нм. Вскоре на основе исследований наноразмерных кристаллов полупроводников был сделан вывод о модификации электронных уровней вещества при переходе от объемного материала к наномасштабам. Это явление получило название квантово-размерного эффекта. Об уникальных фото-физических свойствах квантовых точек и широком круге их приложений (источники света, биомаркеры, лазеры, нелинейные преобразователи света, фото-вольтаические элементы и т.п.) подробно читайте в обзоре, опубликованном в журнале ФОТОНИКА [А.И. Аржанов, А.О. Савостьянов, К.А. Магарян, К.Р. Каримуллин, А.В. Наумов. Фотоника полупроводниковых квантовых точек: фундаментальные аспекты. 2021;№ 8:622–641. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2021.15.8.622.641. Фотоника полупроводниковых квантовых точек: прикладные аспекты. 2022;№ 1:–112. DOI: 10.22184/1993-7296.FRos.2022.16.2.96.112].

С. Н. Соколов, www.photonics.su

Первый международный форум-выставка новых материалов и технологий AMTEXPO



AMTEXPO
ADVANCED MATERIALS AND TECHNOLOGIES EXPO

15–17 ноября 2023 года в кластере «Ломоносов», г. Москва, пройдет Международный форум-выставка новых материалов и технологий AMTEXPO (advanced materials and technologies). Организатором мероприятия выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Форум и выставка будут посвящены определению вектора развития наиболее высокотехнологичных отраслей промышленности, в которых применение новых материалов и технологий (композитные материалы, аддитивные технологии, наноматериалы, редкие и редкоземельные металлы, цифровое материаловедение и т.д.) играет ключевую роль. Конкурентоспособность на мировом рынке инноваций, высокие темпы развития ключевых российских отраслей промышленности и технологический суверенитет могут быть обеспечены только за счет системного подхода, направленного на разработку, а также быстрое и эффективное внедрение современных материалов, технологий и технических решений в производство.

<https://amtxpo.ru/news>



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



А.Р. Маслов

Технологии производства микродеталей

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2023. – 236 с.
ISBN 978-5-94836-664-7

Цена 1188 руб.

В книге представлены основные элементы технологии микрообработки (Microproduction) деталей машиностроительного производства, медицинской техники и инструментария, радиотехники, электроники и оптических систем.

Дано описание основных видов оборудования с использованием многоцелевых станков с ЧПУ для обработки резанием заготовок микродеталей из основных применяемых конструкционных материалов. Даны сведения о получении микроизделий и малоразмерных деталей литьем и методами аддитивных технологий.

Приведены сведения об инструментарии и методах диагностирования состояния технологических процессов микрообработки. Дано представление о современных способах повышения надежности технологических систем путем нанесения износостойких и антифрикционных покрытий методами вакуумно-плазменных технологий.

Приведены сведения об инструментальных системах и средствах инструментального обеспечения, повышающих эффективность микрообработки. Дан обзор средств измерения микродеталей и способов исследования поверхностных структур в наноразмерном диапазоне.

Пособие предназначено для будущих инженеров, обучающихся по направлению подготовки 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и будущих магистров науки и технологий, обучающихся по направлению подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование».

Как заказать наши книги?

По почте: 125319, Москва, а/я 91
По факсу: (495) 956-33-46
E-mail: knigi@technosphaera.ru
sales@technosphaera.ru

ИНФОРМАЦИЯ О НОВИНКАХ
www.technosphaera.ru