



На правах рукописи

Швец Вячеслав Александрович

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОСФЕР

Специальность 25 00 28 - «Океанология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Владивосток — 2008

22 СЕН 2008

Работа выполнена в Тихоокеанском океанологическом институте
им В И Ильичева Дальневосточного отделения Российской Академии наук

Научный руководитель чл -корр РАН, доктор физ -мат наук
Долгих Г И

Официальные оппоненты доктор технических наук
Моргунов Ю Н
доктор физ -мат наук
Короченцев В И

Ведущая организация Институт автоматки и процессов
управления ДВО РАН

Защита состоится 26 09 2008 в 16-00 на заседании диссертационного совета
Д 005 017 02 в Тихокеанском океанологическом институте им В И Ильичева РАН
по адресу 690041, г Владивосток, ул Балгийская, 43

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ТОИ ДВО РАН

Автореферат разослан 20 августа 2008 г

Ученый секретарь диссертационного совета
Кандидат географических наук



Храпченков Ф Ф

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Исследования, направленные на изучение процессов геосфер на стадии их зарождения и развития, имеют большое значение. Это, в первую очередь, касается землетрясений, цунами, тайфунов, циклонов и других явлений и процессов линейной и нелинейной природы широкого диапазона частот. Геодинамические процессы, играющие существенную роль в формировании вышеуказанных явлений, относятся к сверхнизкочастотному диапазону и имеют, в основном, небольшие амплитудные изменения на значительных временных интервалах. Для решения задачи по изучению природы возникновения и развития различных процессов и явлений необходимо проводить исследования одновременно в широком диапазоне частот на уровне фоновых колебаний в течение долгого времени. Например, для землетрясений процесс накопления геопотенциальной энергии и линейного изменения деформации земной коры может составлять 70-100 лет, прежде чем перейти в нелинейную фазу, при этом скорость изменения линейной деформации земной коры может составить до 0,3 нм в год. Возникает, таким образом, потребность в аппаратуре, которая позволила бы проводить измерения без перерывов длительное время (год, два и более) в общем случае в любой местности, при этом точность измерения смещений должна быть лучше фонового уровня (0,1 нм), т.е. порядка 0,05 нм.

Актуальность данной работы определяется необходимостью создания широкополосной аппаратуры, способной проводить измерения основных параметров геосфер на уровне фоновых колебаний в широком частотном и динамическом диапазонах. Такие измерения могут быть выполнены с использованием лазерных деформографов различных вариантов, лазерных нанобарографов и лазерных измерителей вариаций давления гидросферы. Применение установок, способных проводить измерения на уровне фоновых колебаний в широком частотном и динамическом диапазонах, имеет большую

актуальность при изучении динамических процессов геосфер, особенно процессов катастрофического характера, при изучении процессов линейной и нелинейной природы в сверхнизкочастотном и низкочастотном диапазонах

Цель работы состоит в разработке и создании современных регистрирующих систем для приборов, работающих на основе лазерно-интерференционных методов, таких, как лазерный деформограф, лазерный нанобарограф, лазерный измеритель вариаций давления гидросферы

В соответствии с этим были поставлены следующие задачи

1 Разработать и создать цифровую систему регистрации для приборов, работающих на основе лазерно-интерференционных методов, которая при функциональной идентичности ранее созданным аналоговым системам обладает повышенной надежностью, низким энергопотреблением и гибкостью настройки

2 Разработать и создать электронные блоки и узлы, которые служат для адаптации созданной цифровой системы к работе в составе каждого из приборов лазерного деформографа, лазерного нанобарографа, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы

3 Провести мониторинговые измерения вариаций микродеформаций земной коры, микроколебаний атмосферного и гидросферного давлений с целью проверки работоспособности созданной регистрирующей системы

4 Изучить природу инфразвуковых вариаций микродеформаций земной коры и микроколебаний гидросферного давления с помощью берегового лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы

5 Изучить природу деформационных аномалий, возникающих перед и во время цунамигенных и нецунамигенных землетрясений их связь с низкочастотными и высокочастотными процессами земной коры

Научная новизна

1 Разработана и создана цифровая система регистрации лазерного деформографа, лазерного нанобарографа, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, обладающая малыми по сравнению с функционально

идентичной аналоговой системой массой и габаритами, энергопотреблением, а также простотой настройки, точность измерения составляет для нанобарографа 0,50 мПа, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы - 0,45 мПа, лазерного деформографа – 0,3 нм (частотный диапазон от условно 0 до 1000 Гц)

2 Разработан дополняющий систему регистрации программно-аппаратный комплекс, позволяющий системе осуществлять регистрацию при ухудшении условий работы прибора

3 Установлены общие закономерности в записях берегового лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы в инфразвуковом диапазоне, обусловленные сгонно-нагонными явлениями, приливами, инфрагравитационными и гравитационными волнами

4 При обработке записей 52,5-метрового лазерного деформографа, обнаружены деформационные аномалии, связанные с цунамигенными землетрясениями По полученным экспериментальным данным берегового лазерного деформографа оценены его возможности по идентификации таких землетрясений

5 Установлено, что скачки деформации, регистрируемые лазерным деформографом, и связанные с процессами, протекающими в очаге землетрясения, при миграции в земной коре на неоднородностях среды генерирует геоакустический шум

Основные положения, выносимые на защиту

1 Технические решения по созданию цифровой системы регистрации лазерного деформографа, нанобарографа, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, применение которой в составе данных приборов позволяет исследовать процессы и явления литосферы, атмосферы и гидросферы частотного диапазона от условно 0 Гц до 1000 Гц на уровне фоновых колебаний

2 Технические решения по разработке и созданию программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего устойчивую к помехам работу системы регистрации, использование которой в лазерных интерферометрах

позволяет проводить измерения в практически любых средах и при любых погодных условиях

3 Экспериментальные результаты по деформационным предвестникам цунамигенных и нецунамигенных землетрясений, полученных на береговом лазерном деформографе, по регистрации колебаний и волн гидросферы звукового и инфразвукового диапазонов лазерным измерителем вариаций давления гидросферы

Обоснованность экспериментальных результатов, приведенных в диссертации, подтверждена путем многократного и тщательного проведения экспериментов при исследовании колебаний и волн широкого диапазона частот лазерно-интерференционными методами и сравнения полученных результатов с литературными данными и модельно-теоретическими оценками

Практическая значимость результатов

Тема диссертационной работы соответствует одному из направлений работ в Тихоокеанском океанологическом институте им В И Ильичева ДВО РАН по развитию методов и средств дистанционного исследования атмосферы, океана, литосферы и их взаимодействия, а научные результаты, изложенные в ней, получены при выполнении программ, проводимых ТОИ ДВО РАН ФЦП «Мировой Океан», грантов РФФИ (03-05-65216 «Изучение законов генерации, динамики и трансформации инфразвуковых колебаний и волн в области переходных зон», № 06-05-64448-а «Энергообмен геосфер зон перехода», № 06-05-96040-р_восток_a «Комплексное изучение взаимодействия волновых полей геосфер на уровне фоновых колебаний», № 06-05-96916-р_офи «Разработка и создание макета автономного лазерно-интерференционного векторно-фазового приемника силового типа», № 05-05-79165К «Организация и проведение экспедиции в пассивно-активном режиме на м Шульца и на прилегающем шельфе по изучению взаимодействия геосфер»), грантов ДВО, ФЦНТП «Разработка технологии раннего обнаружения предвестников опасных геодинамических процессов в береговой зоне России и способов защиты ее прибрежных территорий» (№ 2005-РП-13 4/001 III очередь)

Личный вклад

1 Все расчеты и схемы по цифровой системе регистрации для лазерного деформографа, нанобарографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы сделаны самостоятельно

2 Работы по адаптации цифровых систем регистрации для работы с конкретным измерительным прибором, а также все экспериментальные и отладочные работы выполнялись в равной доле с соавторами

3 Работа по обработке и интерпретации данных, представленных в диссертации, выполнена совместно с Г И Долгих

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы Работа содержит 133 страницы текста, 3 таблицы и 40 рисунков

Нумерация пунктов, формул и рисунков внутри глав сквозная При этом используется двухуровневая система нумерации То есть ссылка «рисунок 2.4» означает, что это четвертый рисунок во второй главе Список литературы составлен в порядке упоминания ссылок в тексте диссертации

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 39 работ Из них 11 – в центральных научных журналах, 3 – патенты на полезную модель, 16 – в сборниках материалов международных конференций и российских симпозиумов, 5 – в тезисах докладов на международных конференциях и российских симпозиумах, 4 – свидетельства о регистрации программного обеспечения

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы тема диссертации, ее цели и задачи, обоснованы актуальность, научная новизна, достоверность выводов и практическая значимость

В первой главе «Интерферометры как инструмент для измерения микродеформаций» говорится о применении интерферометрии в различных

областях науки и техники, и, в частности, использовании интерферометров-деформографов в качестве инструмента для исследования литосферных процессов. Так, в разделе 1.1 рассмотрены общие вопросы техники и методов измерения разности хода в интерференционном эксперименте. Указаны причины, по которым интерферометры Майкельсона и Фабри-Перо послужили основой для создания лазерных деформографов, задачей которых является измерение микродеформаций земной коры по одной или нескольким координатам. Лазерные деформографы пришли на смену механическим деформографическим установкам в 1960-х годах. Во многом недостатки механических деформографов решены в новом поколении приборов – лазерных деформографах. Принцип действия данных устройств состоит в том, что при изменении базы деформографа, изменяется оптический путь лазерного луча. Изменение оптического пути влечет за собой изменение фазы волны лазерного излучения вследствие дополнительного фазового набегса. Это изменение фазы и является измеряемой величиной. Преимуществом лазерных деформографов перед механическими аналогами является, в первую очередь, исключение механического чувствительного элемента как такового. Влияние вариаций метеорологических параметров на показания прибора сводится, в основном, к их воздействию на изменение оптического пути лазерного луча. Оно может быть сведено к минимуму при использовании герметизированных или вакуумированных лучеводов. Кроме того, использование дифференциальных свойств среды и специфических конструктивных особенностей установок позволило еще выше поднять точность измерения микродеформаций земной коры при некотором даже снижении требований к стабильности метеорологических параметров (давление, температура, влажность) и относительно невысокой стабильности частоты лазера.

В разделе 1.2 приведены примеры различных интерферометров-деформографов, отмечены особенности их конструкции, а также регистрирующих систем. Разработка таких систем представляет собой достаточно сложную инженерную задачу. Существуют регистрирующие

системы лазерных интерферометров–деформографов, которые представляют собой аналоговые системы для измерительных установок гомодинного типа. В этом случае используется одна оптическая частота стабилизированного лазера. Примерами таких инструментов могут служить классические схемы интерферометров Майкельсона и Фабри-Перо. Гетеродинные интерферометры в своей работе используют две оптические частоты, например, в опорном и в измерительном каналах, а регистрация перемещений интерферограммы осуществляется на промежуточной (разностной) радиочастоте. В качестве источника света применяют два отдельных лазера либо один двухчастотный лазер, или же одночастотный лазер, часть излучения которого сдвигается по частоте радиооптическим модулятором. Аналоговые системы регистрации гомодинных интерферометров обладают высоким разрешением до $10^3 - 10^5$ периода интерферограммы. Но эти системы чувствительны к воздействиям таких внешних мешающих факторов, как флуктуации пучка, нестабильность оптических элементов интерферометра и др. Цифровые системы регистрации в силу ряда причин обладают более широким частотным диапазоном и повышенной помехоустойчивостью.

Раздел 1.3 посвящен описанию систем экстремального регулирования как основы для построения аналоговых и цифровых регистрирующих систем. Необходимость подробного рассмотрения таких систем обусловлена следующим. На полигоне «мыс Шульца» ТОИ ДВО РАН используются установки на основе интерферометра Майкельсона неравноплечего типа. Особенности их конструкции потребовали создания аналоговых систем регистрации на основе систем экстремального регулирования с синхронным детектированием. Однако, аналоговые системы, помимо своего морального устаревания, имеют ряд существенных недостатков. Высокое энергопотребление и массо-габаритные показатели делают невозможным применение подобных систем в составе, например, такого прибора, как лазерный измеритель вариаций давления гидросферы. Для устранения указанных недостатков принято решение создать цифровую систему регистрации, которая заменит существующую аналоговую в таких приборах, как нанобарограф, лазерный деформограф.

горизонтального и вертикального типа, лазерный измеритель вариаций давления гидросферы

Во второй главе «разработка и создание цифровой системы регистрации на основе систем экстремального регулирования» приведено описание аналоговой системы регистрации для приборов, работающих на основе лазерно-интерференционных методов, опико-механического устройства таких приборов, а также приведено описание цифровой системы регистрации

Раздел 2.1 «Оптикомеханическое устройство и принцип работы лазерного деформографа, нанобарографа и измерителя вариаций давления гидросферы» содержит общее описание вышеуказанных приборов

Вертикальный и горизонтальные лазерные деформографы собраны по схеме модифицированного неравноплечего интерферометра Майкельсона с системой электронной регистрации изменения разности длин плеч интерферометра (рисунок 1) с использованием в качестве источника света частотно-стабилизированного лазера ЛГН-303, долговременная стабильность которого составляет 10^9

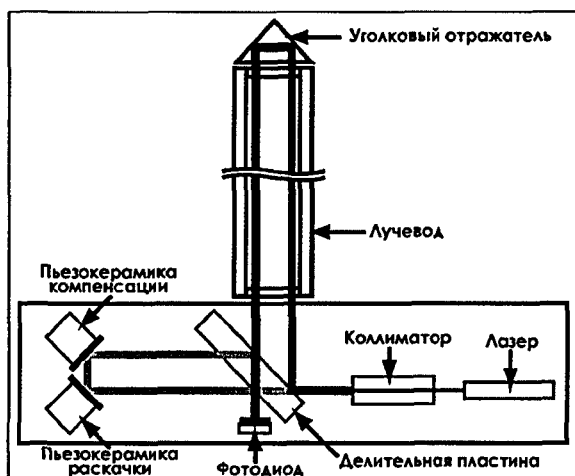


Рисунок 1 – Оптическая схема лазерного деформографа неравноплечего типа

Применяемые методы интерферометрии позволяют измерять смещение между устоями деформографов с точностью 10^{-11} – 10^{-12} м. При этом установки, использующие в своем принципе действия лазерно-интерференционные методы измерений имеют широкий рабочий частотный диапазон – условно от 0 до 1000 Гц.

Интенсивность света, падающего на фотодиод, описывается следующим выражением

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos\left\{\frac{4\pi(L_2 - L_1)}{\lambda}\right\}, \quad (1)$$

где I_1 и I_2 – интенсивности интерферирующих лучей, L_1 и L_2 – оптическая длина опорного и измерительного лучей интерферометра, соответственно, λ – длина волны лазера.

Далее приводится описание нанобарографа, созданного на основе модифицированного интерферометра Майкельсона равноплечего типа с длиной измерительного плеча 20 см (рисунок 2).

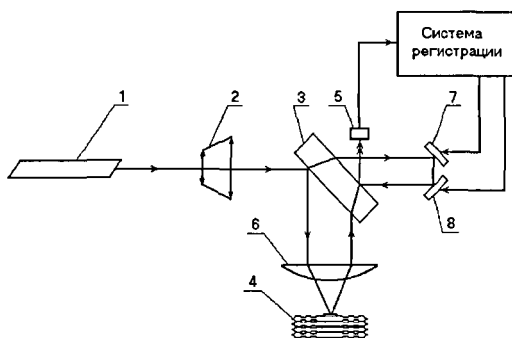


Рисунок 2 – Схема размещения оптических элементов лазерного нанобарографа. 1 - частотно-стабилизированный He-Ne-лазер ЛГН-303, 2 - коллиматор, 3 - делительная пластина ПИ-100, 4 - блок анероидных коробок с наклонным зеркалом, 5 - фотоприемник, 6 - линза, 7 - зеркало компенсации, 8 - зеркало раскачки.

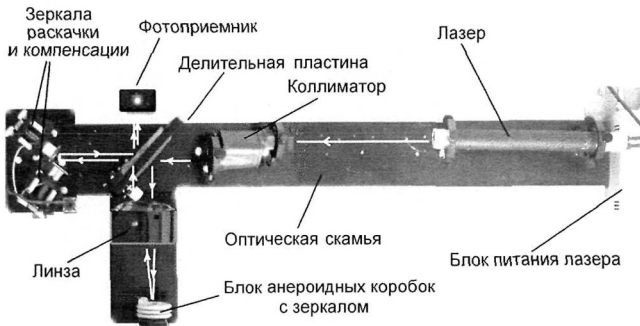


Рисунок 3 – Размещение элементов нанобарографа на оптической скамье

Рассмотрен принцип действия и устройство оптической схемы. Указаны характеристики прибора. Точность измерения вариаций атмосферного давления с учетом температурной погрешности составляет 0,5 мПа.

Рассмотрены факторы, влияющие на оптическую разность хода лучей. Измеряемое смещение Δl блока анероидных коробок описывается выражением:

$$\Delta l = \frac{\Delta i}{i_0} \frac{\lambda}{2\pi} \pm \sqrt{\left(l \frac{\Delta \lambda}{\lambda} \right)^2 + \left(\frac{\Delta i_1}{i_0} \frac{\lambda}{2\pi} \right)^2 + \left(\frac{\Delta i_2}{i_0} \right)^2}, \quad (2)$$

где: $\frac{\Delta i}{i_0} \frac{\lambda}{2\pi}$ - изменение оптической разности хода, связанной с

вариациями атмосферного давления, воздействием сейсмоакустического шума, температуры и влажности на интерференционный узел; $l \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$ - шумы,

обусловленные нестабильностью частоты лазерного излучения; $\frac{\Delta i_1}{i_0} \frac{\lambda}{2\pi}$ - шумы

фотоэлектронной аппаратуры; $\frac{\Delta i_2}{i_0} \frac{\lambda}{2\pi}$ - шумы, вызванные нестабильностью

мощности лазерного излучения. Проанализирован вклад каждого слагаемого в измеряемую величину Δl .

Также в разделе приведено описание лазерного измерителя вариаций давления гидросферы. Этот прибор предназначен для измерения вариаций давления толщи морской воды в месте его постановки, где глубина может составлять до 500 м. Точность измерения вариаций давления гидросферы 0,45 мПа при использовании мембраны со следующими параметрами: радиус мембраны $R=5$ см, толщина мембраны $h=0,5$ мм, модуль Юнга для нержавеющей стали $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Н/м², коэффициент Пуассона для нержавеющей стали $\sigma=0,25$.

Оптическая схема лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, изображена на рисунке 4.

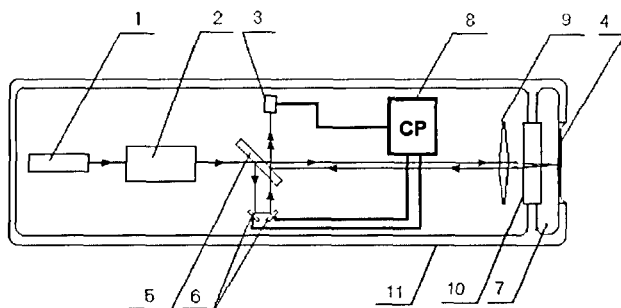


Рисунок 4 – Оптическая схема лазерного измерителя вариаций давления гидросферы. 1 - лазер, 2 - оптический затвор и коллиматор, 3 – фотодиод, 4 – мембрана с наклеенным зеркалом, 5 - полупрозрачная плоско-параллельная пластина ПИ-100, 6 - плоскопараллельные юстировочные зеркала на пьезокерамических цилиндрах, 7 – компенсационная камера, 8 – система регистрации, 9 – линза, 10 – плоско-параллельная пластина, 11 – герметичный корпус прибора.

Давление, которое регистрирует данная установка можно рассчитать по формуле для круговой мембраны, закрепленной на концах

$$P = \frac{\Delta l \cdot 16 \cdot h^3 \cdot E}{3 \cdot (1 - \sigma^2) \cdot R^4} \quad (3)$$

где Δl – смещение мембраны, h – толщина мембраны, E – модуль Юнга, σ – коэффициент Пуассона, R – диаметр мембраны

Раздел 2.2 содержит подробное описание аналоговой системы регистрации для вышеперечисленных приборов. Данная система построена на основе систем экстремального регулирования со вспомогательной модуляцией (рисунок 5)

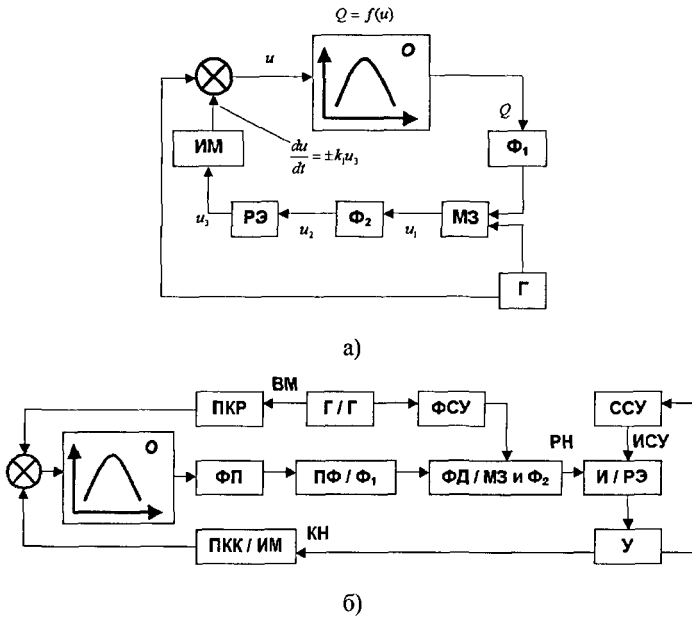


Рисунок 5 – Структурные схемы СЭР со вспомогательной модуляцией (синхронным детектированием (а) и системы регистрации лазерного деформографа (б))

На рисунке 5 обозначены Γ – генератор опорного напряжения, Φ_1 и Φ_2 – фильтры, РЭ – релейный элемент, МЗ – множительное звено, ИМ – исполнительный механизм, О – объект регулирования. ФСУ – фазосдвигающее устройство, ССУ – система сброса допустимого уровня напряжения, ПКР – пьезокерамика раскачивающего (опорного) сигнала, ФП – фотоприемник, ПФ

– полосовой фильтр, ФД – фазовый детектор, И – интегрирующее звено, У – усилитель, ПКК – пьезокерамика компенсации, О – объект регулирования, ВМ – вспомогательная модуляция, РН – рабочее (фактически регистрируемое напряжение), ИСУ – импульс сброса уровня, КН – компенсирующее напряжение

Подробно рассматривается работа фазового детектора аналоговой системы регистрации и системы генерации сбросов, отвечающей за обеспечение корректного вида выходного сигнала системы регистрации. Предположим, что производится оцифровка выходного напряжения интегратора с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) в течение n отсчетов с дискретностью Δt . Выражение для восстановления значения напряжения на n -ом отсчете следующее:

$$u(n) = u_{сб} \sum_{n=1}^k s_n + u_{тек}, \quad (4)$$

где $u_{тек}$ – текущее напряжение на выходе интегратора на n -ом отсчете, k – общее число положительных и отрицательных сбросов, произошедшее на текущий момент времени, s_n – знак n -го сброса на n -ом отсчете, причем если сброса не было, s_n равно нулю, в случае положительного сброса равно $+1$, отрицательного -1 . Пример восстановления приведен на рисунке 6.

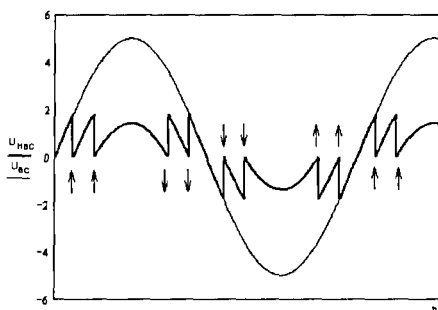


Рисунок 6 – Восстановление значения выходного напряжения регистрирующей системы

К основным недостаткам аналоговой системы регистрации относятся следующие 1) аналоговая система регистрации является морально устаревшей, 2) низкая надежность и ремонтпригодность, 3) большаемасса и габариты, 4) относительно большое энергопотребление, 5) сложность перенастройки системы регистрации в изменившихся условиях измерения, 6) необходимость использования дополнительного оборудования (и/или кабельных линий) для передачи импульсов сбросов уровня напряжения к записывающей аппаратуре, 7) сложность диагностирования, 8) ухудшение качества работы при ухудшении интерференции

Описание цифровой системы регистрации, разработка которой велась с целью устранения имеющихся недостатков, приводится в разделе 2.3 Основными особенностями цифровой системы регистрации (ЦСР) по сравнению с аналоговой являются следующие 1)система осуществляет регулирование, действуя как СЭР с релейным элементом и синхронным детектированием (периодический несинусоидальный пробный сигнал), 2) выходной сигнал СР может быть сформирован как в цифровом, так и в аналоговом виде, обеспечивая совместимость с уже имеющимся программным обеспечением, 3)выходной сигнал резонансного усилителя преобразуется следующим образом напряжение, меньшее либо равное 0 В, приводится к уровню 0 В, выше – к 5 В

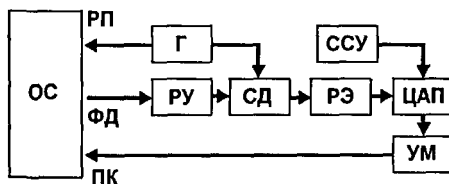


Рисунок 7 – Структура цифровой системы регистрации Г-генератор, РУ – резонансный усилитель, ФД – фазовый детектор, РЭ – релейный элемент, ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь, УМ - усилитель мощности, ССУ – система сброса уровней, ОС – оптическая система

Для обеспечения быстрой замены вышедших из строя узлов и уменьшения времени ремонта СР разбита на блоки. Первый блок – контроллерная плата, имеющая в своем составе два микроконтроллера, которые отвечают за обеспечение функций Г, ФД, РЭ, ССУ, управление ЦАП, а также вспомогательных (связь, внутрисистемное программирование, диагностика, настройка, индикация). Второй блок – плата, на которой размещены усилители раскочки и мощности. Третий блок – резонансный усилитель. Блок питания обеспечивает подачу необходимых для работы блоков СР напряжений. Контроллерная плата осуществляет функции синхронного детектирования, вспомогательной модуляции, интегрирования, управления цифроаналоговым преобразователем, формирования цифрового и (или) аналогового выходного сигнала СР для передачи его на линию связи и усилительную плату, генерации сброса уровня выходного сигнала в ноль при достижении верхней или нижней границы динамического диапазона, обеспечения связи между контроллерами и внешней принимающей и управляющей аппаратурой. Структурная схема контроллерной платы и ее связь с усилительной платой показана на рисунке 8.

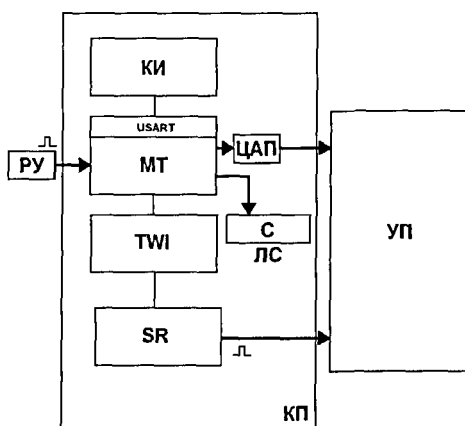


Рисунок 8 - Структурная схема контроллерной платы

Вышеперечисленные функции контроллерной платы возложены на два микроконтроллера ATmega16 фирмы Atmel, имеющие 16 кБ программной flash-памяти, 1024 байт памяти SRAM, 512 байт энергонезависимой памяти EEPROM. Программирование контроллеров может быть осуществлено с помощью специальных универсальных программаторов, либо с помощью адаптеров, подключаемых к портам персонального компьютера для обеспечения внутрисистемного программирования (ISP).

Раздел 2.4 посвящен сравнению аналоговых и цифровых систем, **раздел 2.5** описывает способы улучшения качества работы ЦСР.

В заключении главы делается заключение, что, несмотря на упрощение конструкции, за счет изменения алгоритма работы (при общем неизменном принципе) удастся достичь лучших показателей качества работы при ухудшении качества интерференционной картины. Кроме того, в цифровой СР удастся значительно снизить габариты и энергопотребление, без чего создание такого прибора, как лазерный измеритель вариации давления гидросферы, оказалось бы затруднительным.

В третьей главе «Применение цифровых систем регистрации» говорится о результатах измерений, выполненных деформографами различных видов и лазерным измерителем вариаций давления гидросферы.

В разделе 3.1 приведены сведения об использовании цифровых систем регистрации при проведении экспериментальных работ в ТОИ ДВО РАН по исследованию волновых полей геосфер. **В разделе 3.2** описаны результаты разнесенных измерений лазерных деформографов на базе Урал-Дальний Восток. Установленный на Урале в рудника СКРУ-2 ОАО «Сильвинит» на глубине 343 м, деформограф удален от регистрирующей аппаратуры более чем на 2 км, таким образом, только наличие цифровой системы регистрации позволяет передавать данные от ЦСР по имеющимся линиям связи. С помощью установленного в СКРУ-2 деформографа была получена запись землетрясения в Пакистане, произошедшего в 2005 году (рисунок 9).

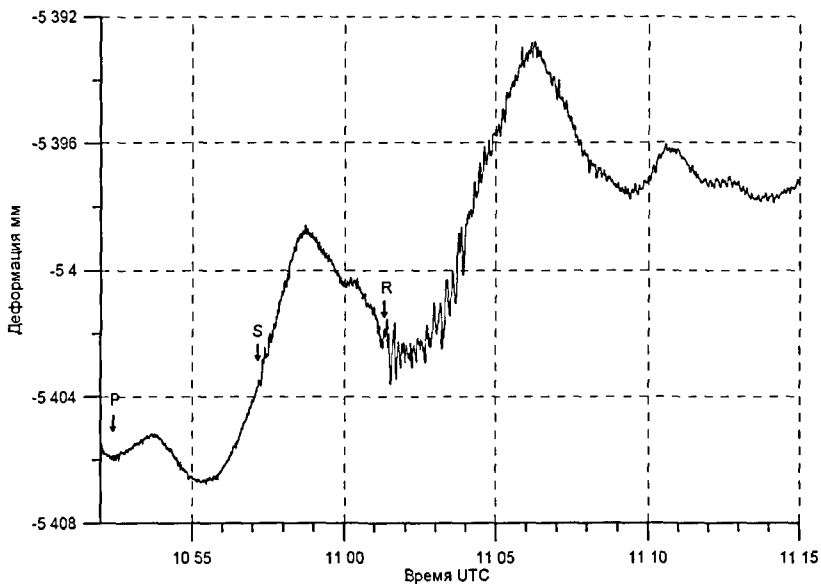


Рисунок 9 – запись деформации, вызванной прохождением продольной (P), поперечной (S) и поверхностной (R) воли (показаны стрелками) от сильного землетрясения, произошедшего в Пакистане 8 октября 2005 г (М 6.3)

Система цифровой регистрации лазерного деформографа, установленного в горной выработке СКРУ-2, Соликамск, была изготовлена в лаборатории физики геосфер осенью 2004 г

В разделе 3.3 говорится об обнаружении с помощью 52.5-метрового горизонтального лазерного деформографа неравноплечего типа, установленного в Приморском крае России, деформационной аномалии величиной около 59.3 мкм, вызванная цунамигенным землетрясением 26 декабря 2004. По величине деформационной аномалии, дошедшей от эпицентра землетрясения до места расположения установки через 19 мин 54 с, можно было бы предсказать появление волны цунами большой мощности



Рисунок 10 - Система цифровой регистрации лазерного деформографа, установленного в горной выработке СКРУ-2, Соликамск

На рисунке 11 приведена запись лазерного деформографа, содержащая колебания и деформационную аномалию, которые вызваны цунамигенным землетрясением, происшедшим 8 октября 2005 года в 00 58 53 в месте с координатами 3,30° N, 95,87° E. Согласно записи лазерного деформографа произошло землетрясение, а затем возникла деформационная аномалия. На базе 52,5-метрового лазерного деформографа деформационная аномалия имеет величину около 59,3 мкм, что составляет деформацию порядка $1,1 \cdot 10^{-6}$ – это значительно больше амплитуды полусуточного или суточного прилива, наблюдаемого в месте расположения лазерного деформографа.

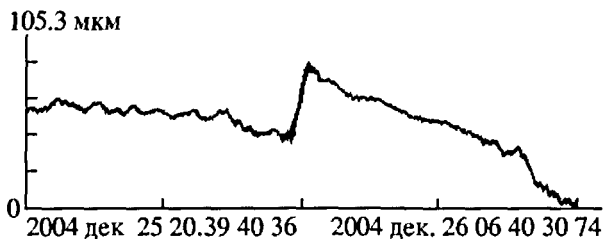


Рисунок 11 - Запись 52 5-метрового лазерного деформографа 2004 г

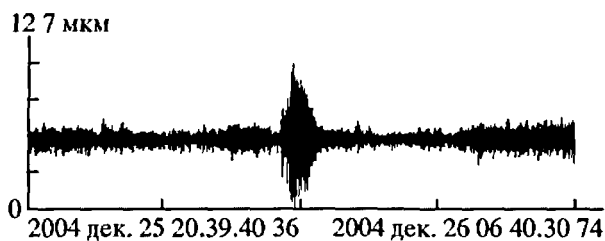


Рисунок 12 - Отфильтрованная запись 52 5-метрового лазерного деформографа 2004 г

На рисунке 12 приведена отфильтрованная полосовым фильтром с граничными частотами 1-0,01 Гц запись лазерного деформографа с цунамигенным землетрясением, а на рисунке 13 - запись широкополосного сейсмографа, содержащая это же землетрясение. Подобными сейсмографами снабжены практически все сейсмостанции Японии. Рисунок 14 – отфильтрованная запись лазерного деформографа тем же фильтром сахалинского нецунамигенного землетрясения. При сравнении всех графиков можно утверждать, что сейсмографами, даже широкополосными, отличить цунамигенное землетрясение от нецунамигенного практически невозможно.

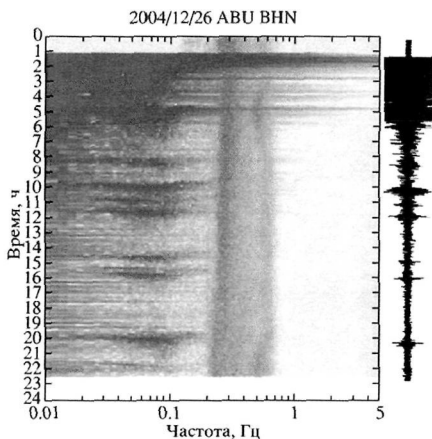


Рисунок 13 – Запись широкополосного сейсмографа 2004 г

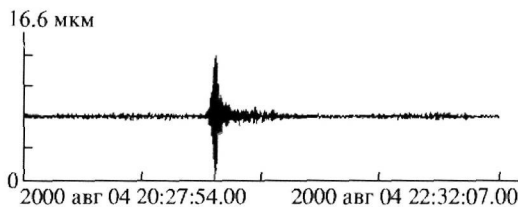


Рисунок 14 – Отфильтрованная запись 52.5-метрового лазерного деформографа 2000 г

Учитывая, что ближайшего побережья волна цунами достигла через два часа после землетрясения, то из вышесказанного следует, что только по записи одного деформографа можно было бы предсказать появление волны цунами и спасти людей при организации соответствующей службы оповещения.

В разделе 3.4 сравниваются синхронные записи лазерного деформографа и приемной системы ИКИР ДВО РАН в пункте наблюдений на р. Карымшина, состоящая из четырех совмещенных пьезокерамических направленных гидрофонов, ориентированных по сторонам света (кроме запада) и вертикально вниз. Пример записи, сделанной во время прихода

сейсмического сигнала, приведен на рисунке 15.

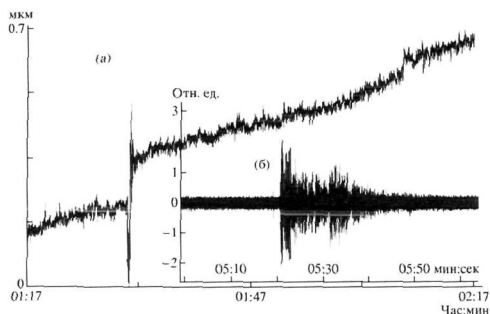


Рисунок 15 – Примеры деформационного сдвига (а) и акустической эмиссии (б) во время прихода сейсмического сигнала.

Из анализа полученных результатов можно сделать вывод, что при подготовке удаленных землетрясений в приповерхностных осадочных породах области наблюдений под воздействием деформаций, приходящих из эпицентра, возникает напряженное состояние среды, в которой из-за потери сцепления пород появляются проскальзывания. В результате этого за счет трения индуцируется геоакустическая эмиссия повышенной интенсивности, способная служить чувствительным индикатором активизации деформационных процессов, предшествующих землетрясениям в течение нескольких предыдущих суток. Особую роль при этом играет высокочастотный диапазон, который наиболее эффективно реагирует на повышение скорости роста деформаций. Сделан вывод, что деформационно-акустическую активность, которая возникает накануне землетрясений, можно рассматривать как комплексный предвестник сейсмического события.

В разделе 3.5 приведен анализ синхронных записей лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы. Общий характер записи лазерного деформографа совпадает с записью лазерного измерителя вариаций давления гидросферы, за исключением отдельных мелких деталей. В сверхнизкочастотной области спектра эти общие

закономерности вызваны сгонно-нагонными явлениями и приливами. И это закономерно, так как лазерный измеритель вариаций давления гидросферы регистрирует только сигналы, распространяющиеся в гидросфере, а лазерный деформограф регистрирует суммарные сигналы, распространяющиеся как в земной коре, так и в гидросфере и в атмосфере.

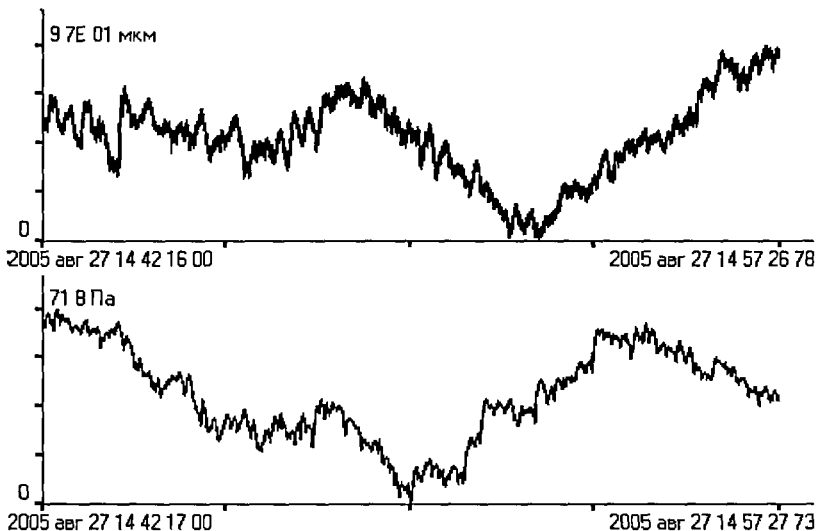


Рисунок 16 – Синхронные участки записей 52,5-метрового лазерного деформографа горизонтального типа (верхний график) и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы (нижний график)

При спектральной обработке синхронных записей лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы выделены мощные спектральные составляющие на частотах, соответствующих периодам в 22 с и 5,6 с. Данные колебания вызваны инфрагравитационными и гравитационными поверхностными морскими волнами.

На рисунке 17 приведена запись вариаций уровня микроколебаний давления гидросферы, зарегистрированная лазерным измерителем вариаций

давления гидросферы В результате спектральной обработки этой записи выделены мощные спектральные составляющие в инфразвуковой области, связанные с поверхностным волнением (периоды около 5 с) и собственными колебаниями водной массы залива (периоды около 17 мин)

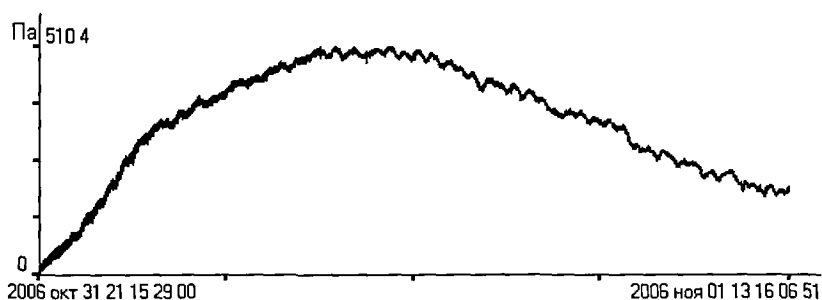


Рисунок 17 – Запись лазерного измерителя вариаций давления гидросферы
Давление приведено в относительных единицах

Заключение

Результаты проведенной в рамках диссертации работы сводятся к следующему

Проведен анализ аналоговой системы регистрации для лазерного деформографа, нанобарографа, выявлены основные ее недостатки низкая надежность, высокое энергопотребление, большие габаритные размеры, неустойчивость работы при ухудшении условий проведения измерений

На основе аналоговой системы, которая является системой экстремального регулирования со вспомогательной модуляцией, разработана и создана цифровая система, в которой аналоговые блоки (блок вспомогательной модуляции, интегратор, система сброса уровней, релейный элемент, множительное звено, фазовый детектор) заменены программными модулями. Такая система отличается простотой настройки, более устойчивой работой, а изменение алгоритма ее работы сводится к перепрограммированию контроллера

Предложены технические решения по улучшению качества работы цифровой системы (более сложный алгоритм работы фазового детектора, блок контроля интерференции) Созданы программно-аппаратные комплексы, задачей которых является адаптация базовой модели системы регистрации для каждого из приборов лазерного деформографа, нанобарографа, лазерного измерителя вариаций давления гидросферы

Создание цифровой системы регистрации на основе систем экстремального регулирования позволило заменить морально устаревшие аналоговые системы и в частотном диапазоне от 0 до 1000 Гц обеспечить точность измерения вариаций давления атмосферы нанобарографом до 0,5 Па, вариаций давления гидросферы лазерным измерителем вариаций давления гидросферы до 0,45 мПа, смещения участка земной коры до 0,3 нм

Проведенные мониторинговые измерения вариаций микродеформаций земной коры, микроколебаний атмосферного и гидросферного давлений позволили оценить взаимодействие геосфер в инфразвуковом и звуковом диапазонах

При обработке данных 52,5-метрового лазерного деформографа, содержащих записи сигналов цунамигенных и нецунамигенных землетрясений, разработан деформационный метод определений степени цунамигенности подводных землетрясений

Показано существование общих закономерностей в записях берегового лазерного деформографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы в инфразвуковом диапазоне, обусловленные сгонно-нагонными явлениями, приливами, инфрагравитационными и гравитационными волнами

При анализе данных, полученных в результате проведения экспериментальных работ в Камчатском регионе, установлено, что геоакустическая эмиссия, связанная с землетрясением, имеет региональный характер и вызывается пришедшим из очага землетрясений деформационными аномалиями, регистрируемыми лазерным деформографом

Список публикаций по теме диссертации

- 1 Долгих Г И, Валентин Д И, Долгих С Г, Ковалев С Н, Корень И А, Мукомел Д В, Швец В А, Яковенко С В Сейсмоакустико-гидрофизический комплекс // Второй всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток 2001 С 77-79
- 2 Долгих Г И, Швец В А, Яковенко С В Особенности создания лазерного измерителя вариаций давления гидросферы // Второй всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток 2001 С 82-83
- 3 Batushina I V, Valentin D I, Dolgikh S G, Kovalev S N, Koren LA, Holodkevich E D, Shvets V A, Yakovenko S V Atmospheric and hydrospheric laser interferometers // J Proceeding SPIE 2002 №752 P 325-329
- 4 Батюшина И В, Валентин Д И, Долгих С Г, Ковалев С Н, Корень И А, Холодкевич Е Д, Швец В А, Яковенко С В Атмосферный и гидросферный лазерные интерферометры // Тезисы докладов конференции Лазеры Измерения Информация 2002 С 22-23
- 5 Долгих Г И, Долгих С Г, Ковалев С Н, Корень И А, Овчаренко В В, Швец В А, Яковенко С В Лазерный нанобарограф // Третий Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток Издательство ДВГУ С 44-48
- 6 Алексеев А В, Валентин Д И, Долгих Г И, Долгих С Г, Ковалев С Н, Корень И А, Овчаренко В В, Холодкевич Е Д, Швец В А, Яковенко С В Регистрация инфрагравитационных волн на границе гидросфера-литосфера береговым лазерным деформографом // Доклады Академии Наук 2003 Т 389, №2 С 244-246
- 7 Долгих Г И, Долгих С Г, Ковалев С Н, Корень И А, Новикова О В, Овчаренко В В, Окунцева О П, Швец В А, Чупин В А, Яковенко С В Лазерный нанобарограф и его применение при изучении баро-деформационного взаимодействия // Физика Земли 2004 №8 С 82-90

- 8 Долгих Г И , Ковалев С Н , Плотников А А , Швец В А , Яковенко С В Цифровая система регистрации лазерных установок // Тезисы докладов международной конференции «Лазеры Измерения Информация» Санкт-Петербург 2004 С 21
- 9 Shvets V A , Dolgikh G I , Kovalev S N , Yakovenko S V Design features and prospect of use of laser device for measuring of variations of hydrosphere pressure for research in an infrasonic range // Bridges of science between North America and the Russian Far East Past, present and future An International conference of the Arctic and North Pacific Proceedings Vladivostok Dalnauka 2004 P 47
- 10 Долгих Г И , Ковалев С Н , Швец В А , Яковенко С В Оптический измеритель давления // Патент на полезную модель №45528 Заявка №2004131782 Приоритет полезной модели 03 ноября 2004 г Зарегистрировано 10 мая 2005
- 11 Долгих Г И , Ковалев С Н , Швец В А , Яковенко С В Погружной прецизионный измеритель давления // IV Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток 2005 С 38-41
- 12 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Швец В А , Чупин В А , Яковенко С В Лазерный измеритель вариаций давления гидросферы // Приборы и техника эксперимента 2005 №6 С 137-138
- 13 Долгих Г И , Ковалев С Н , Швец В А , Яковенко С В Цифровая система регистрации для измерительных приборов, работающих с использованием лазерно-интерференционных методов принцип работы и особенности конструкции // IV Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток 5-9 сентября 2005 С 66-68
- 14 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Овчаренко В В , Швец В А , Яковенко С В Применение лазерно-интерференционного комплекса в океанологических исследованиях // Материалы международной научно-

технической конференции «Технические проблемы освоения Мирового Океана» Владивосток 2005 С 143-148

- 15 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Корень И А , Овчаренко В В , Швец В А , Яковенко С В Оценка соотношения энергии ветровых волн и микродеформаций земной коры в неволновой зоне на основе экспериментальных данных сейсмоакустико-гидрофизического комплекса МЭС // IV Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Владивосток 2005 Материалы докладов С 220-225
- 16 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Овчаренко В В , Швец В А , Чупин В А , Яковенко С В Экспериментальные и модельно-теоретические оценки влияния вариаций давления атмосферы на уровень микродеформаций земной коры // IV Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток 2005 г С 93-98
- 17 Долгих Г И , Купцов А В , Ларионов И А , Овчаренко В В , Марापалец Ю В , Швец В А , Шевцов Б М , Широков О Н , Чупин В А , Яковенко С В Деформационные процессы земной коры переходных зон Камчатского и Приморского регионов // IV Всероссийский симпозиум «Сейсмоакустика переходных зон» Материалы докладов Владивосток 2005 С 15-18
- 18 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Овчаренко В В , Швец В А , Чупин В А , Яковенко С В Модельно-теоретические и экспериментальные оценки влияния вариаций давления атмосферы на уровень микродеформаций земной коры // Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. 2005 Т 1 С 275-279
- 19 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Швец В А , Чупин В А , Яковенко С В возможности применения береговых лазерных деформографов в томографических исследованиях дна шельфа // Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. 2005 Т 2 С 275-277
- 20 Долгих Г И , Долгих С Г , Ковалев С Н , Овчаренко В В , Швец В А , Чупин В А , Яковенко С В Разделение сейсмоакустических сигналов на

- региональные и планетарные с помощью пространственно разнесенных лазерных деформографов // Сборник трудов XVI сессии Российского акустического общества. 2005 Т 1 С 273-275
- 21 Долгих ГИ, Долгих СГ, Ковалев СН, Овчаренко ВВ, Плотников АА, Чупин ВА, Швец ВА, Яковенко СВ Регистрация колебаний, возбуждаемых в воде искусственным источником, береговым лазерным деформографом // Сборник трудов XVIII сессии Российского акустического общества. 2006 Том 2 С 288-290
- 22 Долгих ГИ, Долгих СГ, Ковалев СН, Овчаренко ВВ, Плотников АА, Чупин ВА, Швец ВА, Яковенко СВ Лазерно-интерференционный метрологический комплекс // Сборник трудов XVII сессии Российского акустического общества 2006 Том 2 С 38-42
- 23 Dolgikh Grigory I, Dubrov Mstislav N, Dolgikh Stanislav G, Kovalev Sergey N, Ovcharenko Vladimir V, Savvin Egor A, Chupin Vladimir A, Shvets Vyacheslav A, Yakovenko Sergei V Application of laser strainmeters to the study of earthquake physics // Acta Geophysica. 2006 V 54 no 2 PP 187-197
- 24 Долгих ГИ, Будрин СС, Долгих СГ, Ковалев СН, Плотников АА, Чупин ВА, Швец ВА, Яковенко СВ Лазерно-интерференционный сверхнизкочастотный гидрофон // Тезисы докладов конференции «Лазеры Измерения Информация» С-Петербург 2006 С 41-42
- 25 Долгих ГИ, Долгих СГ, Ковалев СН, Корень ИА, Овчаренко ВВ, Чупин ВА, Швец ВА, Яковенко СВ Регистрация цунамигенного землетрясения 2004 года // Вестник ДВО РАН 2006 С 115-119
- 26 Долгих ГИ, Долгих СГ, Ковалев СН, Корень ИА, Овчаренко ВВ, Чупин ВА, Швец ВА, Яковенко СВ Регистрация деформационной аномалии цунамигенного землетрясения лазерным деформографом // Доклады Академии Наук 2007 Т 412 №1 С 104-106
- 27 Долгих ГИ, Купцов АВ, Ларионов ИА, Марापудец ЮВ, Швец ВА, Шевцов БМ, Широков ОН, Чупин ВА, Яковенко СВ Деформационные и акустические предвестники землетрясений // Доклады Академии Наук Москва. 2007 Том 413 №1 С 96-100

- 28 Долгих ГИ, Плотников АА, Швец ВА, Лазерный гидрофон // Приборы и техника эксперимента. 2007 №1 С 159-160
- 29 Долгих ГИ, Долгих СГ, Ковалев СН, Овчаренко ВВ, Чупин ВА, Швец В А, Яковенко СВ Деформационный метод определения цунамигенности землетрясений // Доклады Академии Наук Москва 2007 Т 417 №1 С 1-4
- 30 Швец В А Улучшение качества работы регистрирующих систем лезерного деформографа, нанобарографа и лазерного измерителя вариаций давления гидросферы // Пятый Всероссийский симпозиум «Физика геосфер» С 105-107
- 31 Швец В А, Ковалев СН, Долгих ГИ Программное обеспечение цифровой 12-битной системы регистрации лазерного деформографа // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007613514 от 20 июня 2007 г
- 32 Швец В А, Яковенко СВ, Долгих ГИ Программное обеспечение цифровой 10-битной системы регистрации лазерного деформографа // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007613516 от 20 июня 2007 г
- 33 Швец В А, Ковалев СН, Яковенко СВ Программа сбора данных о метеоусловиях, внешних событиях и аварийных ситуациях в районе действия лазерно-интерференционного комплекса // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007613515 от 20 июня 2007
- 34 Ковалев СН, Швец В А, Яковенко СВ Программа накопления информации // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2007614100 от 1 октября 2007
- 35 Швец В А Регистрирующие системы для приборов, работающих на основе лазерно-интерференционных методов особенности конструкции и применение // Тезисы докладов конференции молодых ученых ТОЙ ДВО РАН им В И Ильичева «Океанологические исследования» Владивосток 2007 С 34
- 36 Dolgikh Grigory I, Dolgikh Stanislav G, Kovalev Sergei N, Ovcharenko Vladimir V, Chupin Vladimir A, Shvets Vvacheslav A, and Yakovenko Sergei V

Experimental estimate of a relation between sea wave energies and the Earth's crust microdeformations // Acta Geophysica, V 55 No 4 PP 607-618

- 37 Долгих Г И, Швец В А, Ковалев С Н, Яковенко С В Система регистрации для оптического лазерного интерферометра // Заявка на получение патента на полезную модель №2007130405 от 08 08 2007, решение о выдаче патента от 27 И 2007
- 38 Долгих Г И, Долгих С Г, Швец В А, Ковалев С Н, Яковенко С В Система для краткосрочного прогноза опасных гидро- и геодинамических процессов // Заявка на получение патента на полезную модель №2007141095 от 06 11 2007, решение о выдаче патента от 23 11 2007
- 39 Долгих Г И, Будрин С С, Долгих С Г, Ковалев С Н, Овчаренко В В, Плотников А А, Чупин В А, Швец В А, Яковенко С В Технология пеленгации и идентификации опасных гидродинамических процессов Земли на стадии их зарождения и развития // Подводные исследования и робототехника 2007 № 1(3) С 46-53

Швец Вячеслав Александрович

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЕОСФЕР

АВТОРЕФЕРАТ

Отпечатано в ОНТИ ТОИ ДВО РАН
690041, Владивосток, ул Балтийская, 43

Подписано к печати 15 08 2008

Заказ 81

Формат 60x84/16

Тираж 100 экз