

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР –  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК В Г.БИШКЕКЕ**



**ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Материалы докладов  
6-ой международной конференции молодых ученых и студентов**

**26-27 марта 2014 года  
г. Бишкек**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР –  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК В Г.БИШКЕКЕ**

**ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Материалы докладов  
6-ой международной конференции молодых ученых и студентов**

**26-27 марта 2014 года  
г. Бишкек**

**УДК 001**  
**ББК 30.6**  
**C56**

Ответственные редакторы: Герман К.А., Мухамадеева В.А.

**C56 Современные техника и технологии в научных исследованиях.-** Бишкек, 2014. – 236 с.

**ISBN 978-9967-12-387-8**

В сборник включены материалы 6-ой международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», которая была проведена ФГБУН Научной станцией РАН и Международным научно-исследовательским центром - геодинамическим полигоном в г. Бишкеке. В сборнике представлены работы молодых ученых и студентов из Кыргызстана, Казахстана, России и других стран, охватывающие исследования в области мониторинга геосреды, физики и механики горных пород, оценки сейсмического и геологического риска, и других научных направлений.

Издание рассчитано на студентов, аспирантов и специалистов по механике, геофизике и геологии.

Утверждено к печати  
Ученым советом ФГБУН  
Научной станции РАН в г.  
Бишкеке

**УДК 001**  
**ББК 30.6**

**C 1401030000-14**  
**ISBN 978-9967-12-387-8**

©ФГБУН Научная станция РАН в  
г. Бишкеке

©Международный научно-  
исследовательский центр -  
геодинамический полигон в  
г.Бишкеке

© Коллектив авторов, 2014

## **РАДИОЗАТМЕННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ НАНОСПУТНИКОВ**

Инчин П.А., Шпади М.Ю.

тел.: +7 (727) 396-70-40; e-mail: [paul.inchin@yahoo.com](mailto:paul.inchin@yahoo.com)

ДТОО «Институт космической техники и технологий» АО «НЦКИТ»,

г. Алматы, Республика Казахстан

В настоящее время актуально развитие и применение различных спутниковых методов мониторинга околоземного пространства и поверхности Земли. Широкое распространение получил радиозатменный метод мониторинга атмосферы и ионосферы по схеме: низкоорбитальный спутник – спутник глобальной системы навигации (далее ГСН) [1]. По характеристикам сигналов ГСН-спутников можно произвести тематическую обработку данных с целью расчета таких параметров среды, как электронная концентрация, температура, давление, распределение влажности, оценить неоднородности атмосферы и ионосферы. Глобальное распределение и количество наблюдений данного метода значительно превосходят аналогичные эксперименты, проводимые с помощью наземных средств.

Одной из первых удачных научных спутниковых миссий по радиозондированию околоземного пространства можно считать немецкий исследовательский спутник CHAMP [2]. Развитию и внедрению в практику результатов нового метода глобального мониторинга атмосферы и ионосферы способствовала реализация тайваньского проекта COSMIC/FORMOSAT [3]. На сегодняшний день завершено несколько удачных миссий радиозатменных наблюдений с помощью наноспутников [4-7] и интерес к ним продолжает расти [8-10].

Одним из экспериментов, планируемых к проведению на борту первого казахстанского научно-технологического космического аппарата (НТКА), является мониторинг состояния ионосферы Земли по данным сигналов системы глобального позиционирования GPS. Восстановление полного электронного содержания (ПЭС) может служить источником информации как о текущем состоянии околоземного пространства, так и использоваться для совершенствования радиотехнических средств, где необходимо учитывать влияние ионосферы на канал. Для проведения эксперимента радиозатменного мониторинга, на борту космического аппарата планируется установить двухчастотный навигационный приемник (НП) GPS-сигналов и активную антенну (рис. 1б). В эксперименте предполагается использовать коммерческий НП серии NovAtel OEM615 (рис. 1а). Технические характеристики, малые размеры НП, низкое энергопотребление, а также достаточно высокая точность измерений позволяют устанавливать его на спутниках типа Cubesat [11].

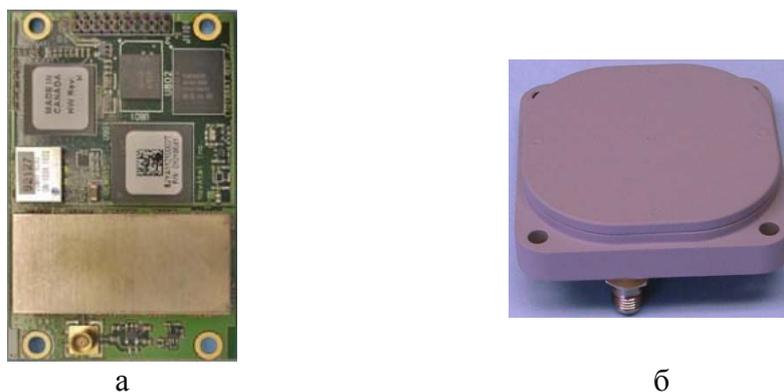


Рис. 1. Навигационный приемник OEM4-G2L (а) и активная антенна ANTCOM 1.9G1215A A-XSO-2 (б).

***Методика проведения радиозатменных наблюдений околоземного пространства по данным сигналов спутников глобальных систем навигации***

Суть метода заключается в приеме сигналов спутников систем глобального позиционирования (на данный момент полностью развернуты GPS, GLONASS, к 2020 году планируется завершить развертывание систем Galileo, Beidou) низкоорбитальным спутником, после чего полученные данные о характеристиках сигналов могут служить основой для расчета параметров состояния околоземного пространства. В общем случае, 4 спутника ГСН должны просматриваться выше слоя ионосферы, чтобы избежать влияния ионосферы и атмосферы на точность позиционирования. Положение спутника ГСН для последующего расчета параметров состояния околоземного пространства должно удовлетворять условиям радиозатменного мониторинга (рис. 2). Если рассматривать ионосферу как сферично-симметричную среду, ее состояние в течение наблюдения считать неизменным, а рефракцию луча малой, можно рассчитать интегральную электронную концентрацию ПЭС и привязать к точке Т перигея луча между GPS-спутником и низкоорбитальным спутником относительно центра Земли [12].

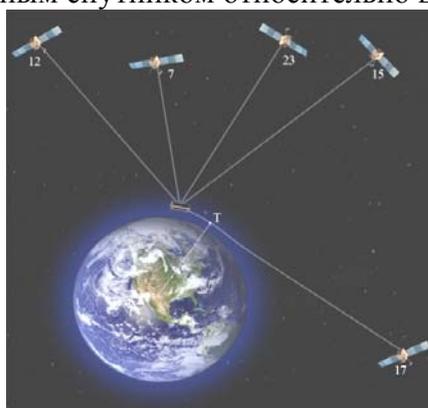


Рис. 2. Схема расположения спутников в эксперименте. ГСН-спутники 12, 7, 23,15 используются для позиционирования КА, спутник 17 используется для радиозатменных наблюдений.

Радиозатменный мониторинг с помощью низкоорбитального спутника можно проводить в различных режимах.

Первый- это режим мониторинга, когда аппаратурой эксперимента принимаются сигналы всех видимых спутников ГСН для последующей наземной тематической обработки. Этот режим избыточен по объему регистрируемой информации, а также требует значительных энергетических ресурсов ввиду постоянной работы аппаратуры.

Следующий режим предполагает расчет параметров состояния околоземного пространства непосредственно на борту спутника. Этот режим значительно сокращает объем информации для передачи на землю, однако недостатком является то, что дополнительные расчеты увеличивают функциональную нагрузку на систему сбора и обработки информации на борту спутника, что приводит к усложнению эксперимента. Сбои или отказ системы может стать причиной досрочного завершения эксперимента, а перепрограммирование логики работы аппаратуры может оказаться невозможным.

Третий режим радиозатменного мониторинга (избирательный) предполагает предварительный расчет и выбор из множества видимых ГСН-спутников только тех, которые отвечают условиям проведения радиозатменных наблюдений и задачам эксперимента, среди которых исследуемый регион, на который приходится радиопросвечивание, высота исследуемого слоя и т.д. Избирательный режим существенно сокращает объемы данных информации, однако требует более сложного алгоритма управления аппаратурой эксперимента и предварительного наземного планирования.

Ввиду крайне ограниченных ресурсов наноспутников, избирательный режим радиозатменного мониторинга наиболее удовлетворяет миссии НТКА.

### ***Программное обеспечение для планирования радиозатменного эксперимента мониторинга состояния околоземного пространства***

Для планирования эксперимента радиозатменного мониторинга состояния околоземного пространства в избирательном режиме разработано необходимое программное обеспечение (ПО). Программа позволяет, на основе данных об орбитах низкоорбитального и навигационных спутников, рассчитать координаты точки перигея луча Т для каждого спутника ГСН, продолжительность и время проведения радиозатменных измерений. Кроме этого, ПО позволяет учитывать ряд дополнительных параметров, необходимых для более детального планирования эксперимента, такие как освещенность низкоорбитального спутника Солнцем, частоты сигналов с учетом доплеровского сдвига, нахождение подспутниковой точки перигея луча в заданном районе и точки Т в высотном интервале, ориентация низкоорбитального спутника и положение антенны.

Входными параметрами для расчетов являются временной интервал и шаг по времени, наборы элементов орбит в двухстрочном формате данных TLE, границы региона и высоты точки Т, угол обзора антенны низкоорбитального спутника, а также его ориентация в пространстве. Входные данные задаются в соответствующих окнах панели главного меню (рис. 3).

Результатом расчета является файл взаимного положения научного спутника и группировки GPS-спутников, а именно – прямая видимость 2-х спутников, освещенность Солнцем, азимут и угол места GPS-спутника относительно низкоорбитального спутника, а также географические координаты точки Т. Для каждого ГСН-спутника и каждого временного интервала

формируется таблица результатов и таблица временных интервалов возможных радиозатменных наблюдений (рис. 3).

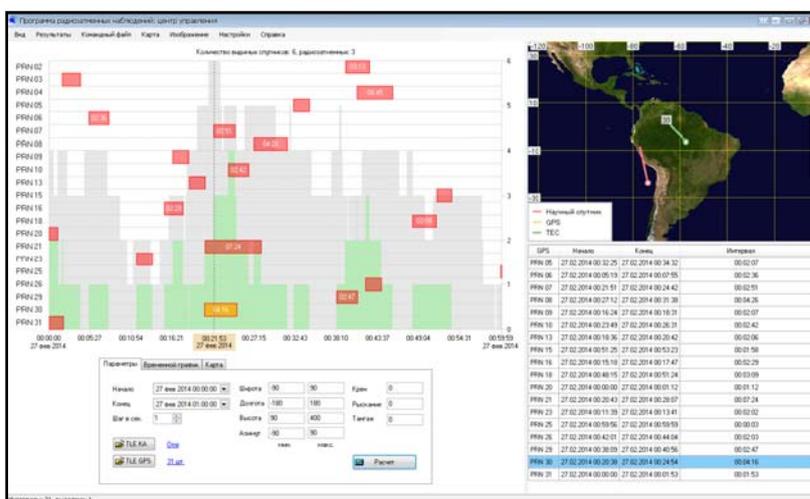


Рис. 3. Интерфейс панели главного меню программы расчета избирательных радиозатменных наблюдений.

На основании рассчитанных данных в главном окне строится временная диаграмма, где для каждого ГСН-спутника полосы соответствуют временным интервалам радиозатменных наблюдений. По оси абсцисс отложен заданный временной интервал, по оси ординат – идентификационные номера спутников ГСН (согласно обозначению спутников в данной системе ГСН). Внутри каждого интервала на графике выдается его длительность в минутах и секундах. Диаграмма позволяет оценить возможность проведения радиозатменных наблюдений, а также выбрать необходимые интервалы для формирования программы эксперимента.

Предусмотрена возможность отображения трасс движения ГСН-спутников, низкоорбитального спутника и точки расчета ПЭС в географических координатах на физической карте, а также в полярной системе координат, связанной с низкоорбитальным спутником.

После оценки и выбора необходимых интервалов возможных радиозатменных наблюдений, имеется возможность сформировать командный файл, который в последующем передается на борт спутника, где на его основе формируется программа управления аппаратурой эксперимента. Командный файл содержит информацию о времени включения и выключения аппаратуры, интервале времени регистрации данных сигналов необходимых ГСН-спутников, частоты принимаемых сигналов для более быстрого нахождения навигационным приемником спутников ГСН, а также координаты и время низкоорбитального спутника для warm старта НП.

### **Заключение**

В статье изложен подход к проведению радиозатменных наблюдений на наноспутниках с ограниченными энергетическими ресурсами и слабым каналом связи. Дано описание программы, которая проводит расчеты, необходимые для планирования избирательных радиозатменных наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев О.И., Павельев А.Г., Матюгов С.С. Спутниковый мониторинг Земли. Радиозатменный мониторинг атмосферы и ионосферы. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 2010. 208 с.
2. <http://www.op.gfz-potsdam.de/champ/>
3. <http://www.orbital.com/SatellitesSpace/ScienceTechnology/FORMOSAT-3/>
4. Karan Sarda, Cordell Grant etc. Canadian Advance Nanospace Experiment 2: On-Orbit Experiences with a three-kilogram satellite. 22<sup>nd</sup> Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. P. 4
5. Rebecca Bishop, David Hinkley - First Results from the GPS Compact Total Electron Content Sensor (CTECS) on the PSSCT-2 Nanosat. PSL/SSAL 31 October 2012.
6. [http://space.skyrocket.de/doc\\_sdat/sense.htm](http://space.skyrocket.de/doc_sdat/sense.htm)
7. [http://www.klofas.com/papers/klofas\\_upcoming\\_cubesat\\_launches.pdf](http://www.klofas.com/papers/klofas_upcoming_cubesat_launches.pdf)
8. Mannucci A.J., Dickson J. GNSS Geospace Constellation (GGC): A Cubesat Space Weather Mission Concept.
9. Shuanggen Jin, G.P. Feng, S. Gleason, “Remote sensing using GNSS signals: Current status and future directions”, Advances in Space Research 47 (2011) pp1645–1653.
10. Cahoy K., Beerler I., Marinan A. etc – iROCC: Interplanetary Radio Occultation CubeSat Constellation. iCubesat, K. Cahoy, MIT.
11. E. Kahr, O. Montenbruck. GPS Tracking on a nanosatellite – the CANX-2 Flight Experience. GNC 2011. 8<sup>th</sup> International ESA Conference on Guidance, Navigation and Control Systems. 5-10 June 2011.
12. Павельев А.Г., Матюгов С.С., Яковлев О.И. Спутниковый глобальный мониторинг атмосферы и ионосферы / Радиотехника и электроника. 2008. Т. 53. № 9. С. 1081-1083.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ИЗЛУЧЕНИЕМ НАГРЕВНОГО СТЕНДА HAARP

Лозбин А.Ю., Инчин П.А, Шпади М.Ю.  
тел.: +7 727 3967040; e-mail: [Lozbin@mail.ru](mailto:Lozbin@mail.ru)  
ДТОО «Институт космической техники и технологии»,  
г. Алматы, Республика Казахстан

### Введение

В последнее время большой интерес у ученых представляет изучение вопросов воздействия электромагнитных сигналов, генерируемых мощными наземными передатчиками на ионосферную плазму. Особый интерес вызывает генерация низкочастотных микропульсаций в ионосфере при воздействии на нее мощной модулированной волной коротковолнового диапазона. Самым мощным нагревным экспериментом в настоящее время является передатчик HAARP (High

Frequency Active Auroral Research Program), который находится на Аляске близ Гакконы.

**Исходные данные.** К 2007 году все работы по вводу в эксплуатацию нагревного стенда HAARP были завершены и начались эксперименты по облучению ионосферы на частотах от 2.8 до 10 МГц и мощностью до 3.6 МВт (проектная мощность). Эти эксперименты проводились 3 года, и это время совпало со временем активного существования французского малого космического аппарата DEMETER, научная аппаратура которого позволила исследовать результаты воздействия нагревного стенда на ионосферу.

Французский микроспутник «DEMETER» был запущен 29 июня 2004 года с космодрома «Байконур» на ССО высотой 720 км и наклоном 98,3°. Миссия «DEMETER» (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) посвящена исследованиям возмущений в ионосфере Земли, являющихся следствием сейсмической и вулканической активности [1]. За весь период активного существования с 2004 по 2011 год доступны ионосферные измерения параметров электромагнитного поля, плазмы и энергетических электронов.

Рассмотрим наиболее яркий пример воздействия радиоизлучения большой мощности на частоте 2.75 МГц и изменения в ионосферной плазме, к которым приводит такая активность. По данным приборов, установленных на борту КА «DEMETER», одно из наиболее мощных воздействий на ионосферу наблюдалось на восходящем полувитке № 30816 от 5 апреля 2010 года.

**Инструменты и методы обработки данных.** В рамках создания казахстанской космической системы научного назначения [2] проводилось изучение технического и методического обеспечения французского проекта «DEMETER». Для эффективного использования научных данных с этого спутника в Институте космической техники и технологии (Алматы, Казахстан) было разработано собственное программное обеспечение DIAS для выявления, анализа и идентификации ионосферных аномалий по спутниковым спектрометрическим и волновым данным с приборов, установленных на космических аппаратах научного назначения [3]. Основная задача программы состоит в обеспечении исследователя удобным инструментом для выявления и идентификации источников электромагнитного излучения и других эффектов по спутниковым данным.

Для работы с горизонтальными электромагнитными структурами, такими как возмущение от радиопередатчиков, в программу DIAS был заложен алгоритм определения параметра сигнал/шум, аналогичный предложенному Молчановым О.А. и др. [4].

### **Результаты.**

*Возмущения электромагнитного поля.* На рисунках 1а и 1б представлена напряженность электрического поля в высокочастотном диапазоне и ультранизкочастотном диапазоне (рис. 1в) над зоной HAARP для полувитка № 30816 от 5 апреля 2010 г. и его картографическая привязка.

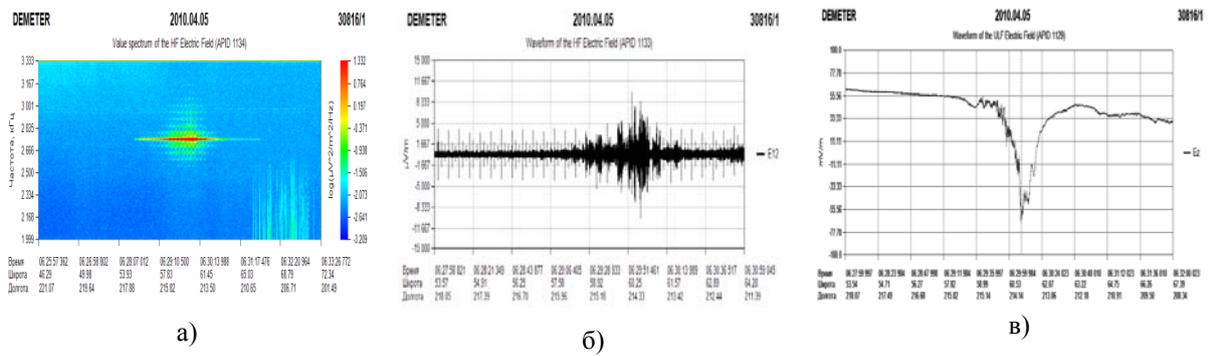


Рис. 1. Напряженность электрического поля над НААРП: а, б) в высокочастотном диапазоне (0-3.3МГц); в) в низкочастотном диапазоне (частота измерений 40 Гц) по направлению в наدير.

На рис. 2 показаны низкочастотные гармоники, возникающие над зоной излучения НААРП в электрической (а) и магнитной (б) составляющей.

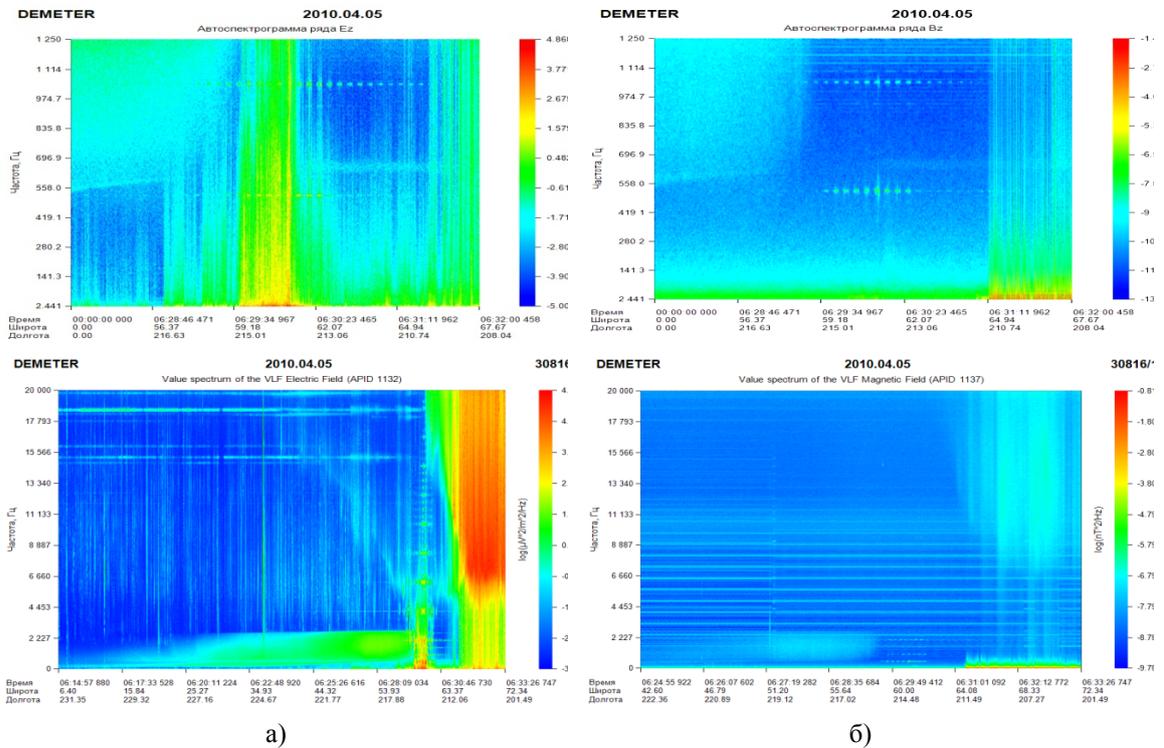


Рис. 2. Спектрограммы электрического (а) и магнитного поля (б) в КНЧ (0-1250 Гц) и ОНЧ диапазонах (0 – 40 000 Гц) с пульсациями передатчика НААРП (горизонтальные пунктирные линии).

Отчетливо видно появление искусственного низкочастотного излучения. Наблюдаются пульсации на 2-х частотах: первая гармоника- на частоте 520 Гц и вторая - на 1040 Гц. Периодичность пульсаций составляет 3 секунды. Следующие гармоники также наблюдаются на более высоких частотах с шагом 520 Гц: 1560 Гц, 2080 Гц, 2600 Гц, 3120 Гц, 3640 Гц, 4160 Гц и 6240 Гц. Такое излучение на частоте модуляции возникает, когда в процессе распространения модулированных КВ- или ОНЧ-волн через ионосферу происходит детектирование, обусловленное

нелинейностью ионосферной плазмы. В 1974 году Гетманцев Г.Г. предположил, что механизм явления, вероятнее всего, связан с возбуждением ионосферных токов, вследствие чего эффект наиболее значителен в полярных широтах. То есть, под действием модулированного излучения нагревного стенда возникает модуляция ионосферной проводимости в облучаемой области авроральной токовой струи на частотах модуляции и как следствие этого возникает нелинейный переменный ток, который является причиной искусственного низкочастотного излучения («Эффект Гетманцева») [5].

*Ионная и электронная плазма.* На рисунке 3а приведены результаты измерений параметров плазмы с плазменного анализатора IAP, установленного на борту КА «DEMETER». Этот прибор предоставляет следующие типы данных: концентрация ионов кислорода (O<sup>+</sup>), водорода (H<sup>+</sup>) и гелия (He<sup>+</sup>) (1/см<sup>3</sup>), температура ионов (К) и их скорость относительно оси Oz в спутниковой системе координат (м/с). Временное разрешение измерений составляет 2.317 с, что соответствует одному измерению на 17.5 км. А на рисунке 3б представлены показания Ленгмюровского зонда ISL: концентрация (см<sup>-3</sup>) и температура электронов (К), а также концентрация ионов (см<sup>-3</sup>). Измерения этих параметров проводились с частотой 1 Гц, т.е., с учетом скорости движения спутника это соответствует одной точке на 7,6 км.

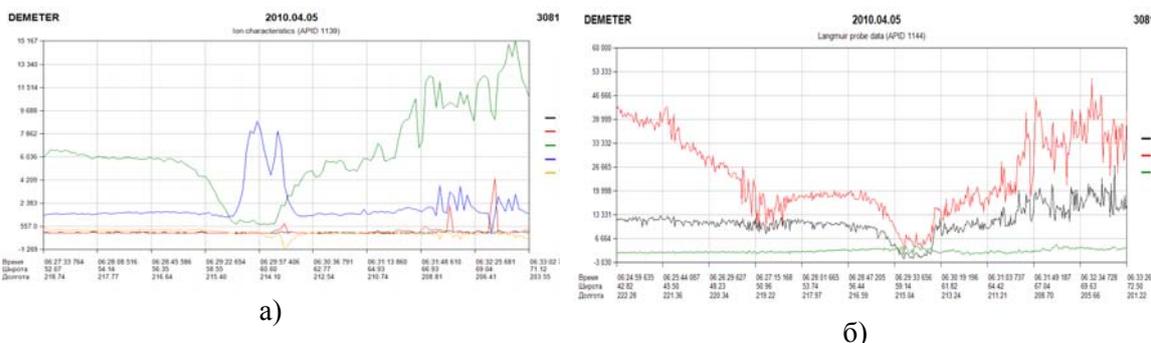


Рис. 3. Параметры плазмы: а) измеренные прибором IAP; б) измеренные прибором

*Энергетические частицы.* На рисунке 4 представлен динамический спектр

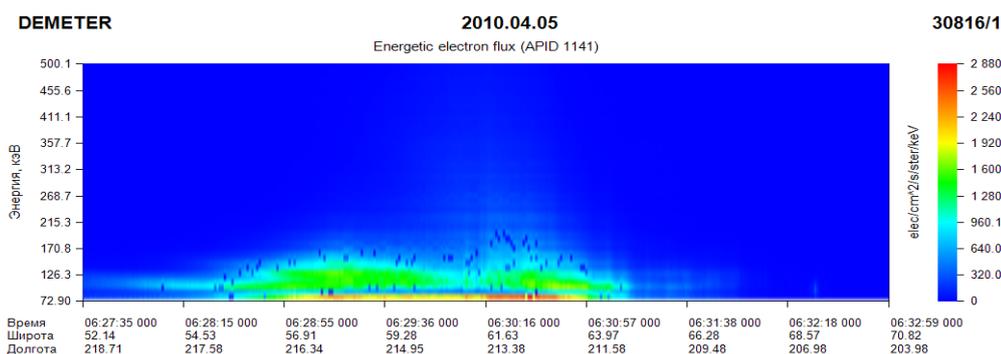


Рис. 4. Динамический спектр энергетических электронов над передатчиком HAARP. потоков высыпаящихся электронов с энергиями более 70 кэВ над зоной передатчика.

### Заключение

На основании всех вышеприведенных результатов можно сформировать таблицу 1 всех наблюдаемых над передатчиком HAARP возмущений.

Из таблицы 1 видно, что в результате инъекции мощного излучения нагревного стенда HAARP в ионосферную плазму наблюдаются возмущения электромагнитного поля на спутниковой высоте 670 км через магнитную силовую трубку, опирающуюся на зону географического расположения передатчика. Принимая во внимание высокую чувствительность электрических датчиков прибора ICE, установленного на борту DEMETER, показания этого прибора являются наиболее информативными. В декамегаметровом диапазоне наблюдается снижение напряженности электрического поля, в других же диапазонах, вплоть до 3.3 МГц, отмечается повышение уровня в десятки и сотни раз. Зоны возмущения в различных диапазонах разные и составляют от 450 до 1300 км.

Таблица 1. Сводная таблица наблюдаемых аномалий над передатчиком HAARP

	Тип измерений	Сила возмущения в максимуме	Повышение /Снижение	Размер аномалии на спутниковой высоте, км	Длительность аномалии, с
ЭМП	ВЧ (0-3.3МГц)	x16	↑	1300	180
	УНЧ (40 Гц)	x300	↓	570	75
	КНЧ (2500 Гц)	x200	↑	1100	150
	ОНЧ (40 кГц)	x100	↑	450	60
Ионная и электронная плазма	концентрация O <sup>+</sup>	x10	↓	700	90
	концентрация H <sup>+</sup>	нет	нет	нет	нет
	концентрация He <sup>+</sup>	x8	↑	76	10
	температура ионов	x6	↑	350	45
	скорость ионов	x6	↓	350	45
	концентрация электронов	x12	↓	450	60
	концентрация ионов	x4	↓	700	90
	температура электронов	x2	↑	1300	180
$E_e$	поток энергетич. электронов	-	↑	1300	180

По плазменным параметрам наблюдается повышение температуры электронов и ионов в 2-6 раз и их концентрации в 4-12 раз.

Также важным результатом с точки зрения интерпретации наблюдаемых явлений является зарегистрированное увеличение интенсивности потоков энергетических частиц в возмущенной излучением стенда силовой трубке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. T.Cussac etc. The Demeter microsatellite and ground segment. J.Planetary and Space Science, 2006, V.54, p.413-427
2. Молдабеков М.М., Инчин А.С., Шпади Ю.Р., Лозбин А.Ю. Проект создания казахстанской космической системы научного назначения / Вестник ФГУП НПО им. С.А.Лавочкина. № 2. 2010. Москва. С. 11-16.
3. Лозбин А.Ю., Инчин А.С., Шпади М.Ю. Система комплексного анализа спутниковых и наземных данных над сейсмоопасными регионами Земли / Труды XII международной молодежной научно-практической конференции «Человек и космос». 7-9 апреля, 2010 г. Днепропетровск. Украина. С. 514.
4. O. Molchanov, A. Rozhnoi, M. Solovieva, O. Akentieva, J. J. Berthelier, M. Parrot, F. Lefeuvre, P. F. Biagi, L. Castellana and M. Hayakawa. Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite.- J. Nat. Hazards and Earth Syst. Sci., 2006, V.6, p.745–753.

5. Гетманцев Г.Г., Зуйков Н.А., Котик Д.С. и др. Обнаружение комбинационных частот при воздействии мощного коротковолнового излучения с ионосферной плазмой. Письма в ЖЭТФ. 1974. Т. 20. С. 229-232.

## **ОЦЕНКА СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ АСТАНА И АЛМАТЫ ПО ДАННЫМ РАДАРНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЁМКИ**

Иванчукова А.В., Джунисбекова В.Е.  
тел.: +7 701-592-70-39; e-mail: [alyna.space@gmail.com](mailto:alyna.space@gmail.com)  
ДТОО Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан.

В естественных условиях понижение поверхности земли происходит медленно вследствие уплотнения пород под действием давления вышележащих отложений. Значительно более интенсивным по амплитуде и времени формирования является оседание поверхности под воздействием антропогенных факторов [1].

Наблюдениями установлено, что скорость и амплитуда оседания может достигать значительных величин. Так, в Осаке на некоторых участках скорость оседания достигала 2,2 см/год, в Мехико — 24 см/год, в Лос-Анджелесе — 75 см/год, в Таллинне — 30 см/год, в Риге — 3 см/год, в Санкт-Петербурге — 1,5 мм/год, в Москве — 3 мм/год [2].

Методы обработки данных РСА-интерферометрии позволяют обнаружить и контролировать низкоамплитудные движения земной поверхности, имеющие естественную или техногенную природу. Для мониторинга этих процессов во многих городах мира успешно применяется метод PSI – Persistent Scatterers Interferometry (интерферометрия постоянных отражателей) [3]. Результаты применения PS- технологии позволяют выполнять геодинимическое районирование урбанизированных территорий, а также выявлять объекты, подверженные деформированию – отдельные здания и сооружения и протяженные линейные объекты (например, метрополитен). Использование данных высокого пространственного разрешения COSMO-SkyMed (3 м) на территорию города Астана позволило выявить вертикальные смещения отдельных зданий и сооружений, с плотностью отражателей в среднем 4 000 PS на кв. км – технология PSP-IfSAR (e-Geos), а также провести анализ распределения площадных движений земной поверхности.

Мониторинг смещений городских территорий был выполнен по данным на два крупнейших города страны: столицу Астану и город Алматы.

Город Астана, получив статус столицы, начал интенсивно застраиваться, реализуя при этом проекты сложных архитектурных сооружений с участием зарубежных специалистов. Город расположен в долинах двух рек (Ишима и Нуры), расширение городской территории потребовало под строительство участки овражной сети, заболоченных и часто подтопляемых территорий, ранее засыпанные участки речной системы (старицы, меандры). Активно застраивался левый берег реки Ишим, строительство проводилось непосредственно на речных террасах, сложенных рыхлыми отложениями. За счёт сооружения нового административно-делового центра территория города расширилась до более 700

км<sup>2</sup>, а численность населения возросла в 2.5 раза, достигнув к 2013 году 800 тыс. человек.

Анализ результатов смещений на локальных объектах города Астаны показал следующее:

1) имеют место монотонные оседания отдельных сооружений и зданий, амплитуда некоторых просадок достигает -35 мм за 2 года;

2) на графиках по отдельным высотным объектам обнаружены сезонные колебания (рис. 1), что может быть связано с влиянием резко-континентальных климатических условий и/или графики осложняются влиянием термической дилатансии несущих конструкций [4].

Для анализа площадного распределения смещений земной поверхности результаты обработки PSP-iFSAR были проинтерполированы методами геостатистического анализа в растровую поверхность (рис. 2). При анализе целостной картины смещений выделились области оседаний вдоль русел рек, в промышленной северо-восточной части города (ТЭЦ, железная дорога, складские помещения).

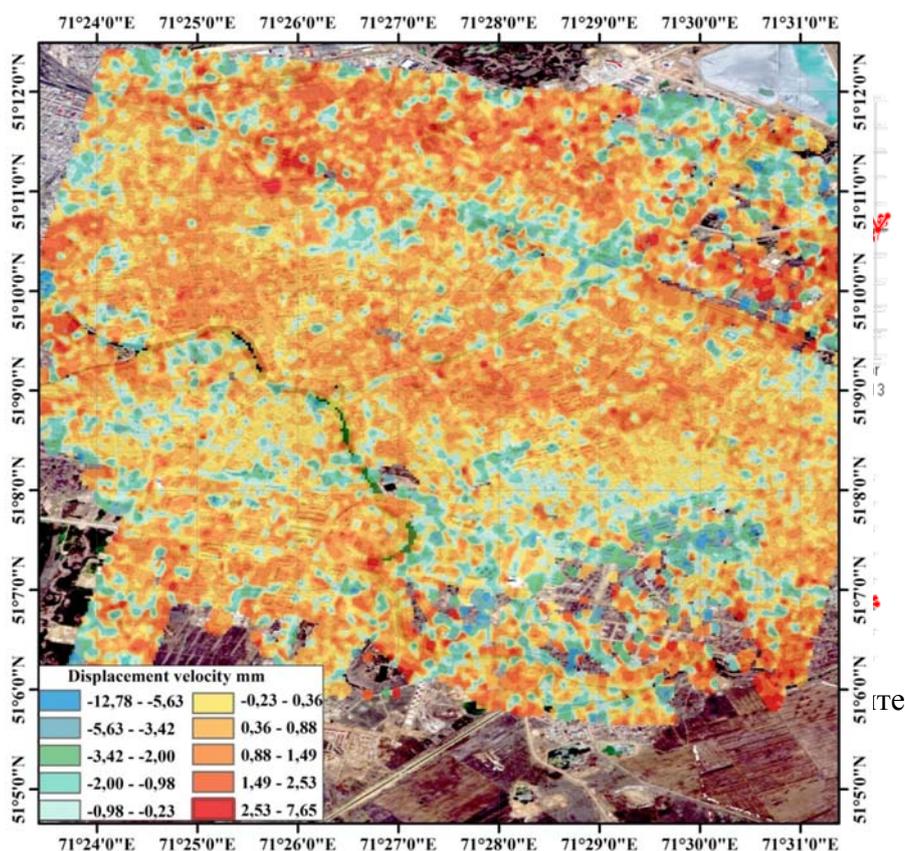


Рис. 2. Карта распределения площадных смещений земной поверхности города Астана.



Рис. 3. Снимки территории города Астана Landsat 7 за 2001 год (верхний) и Landsat 8 за 2013 год.

При сопоставлении развития площадных деформаций с архивными оптическим снимком Landsat за 2001 год было выявлено, что отдельные участки оседаний точно повторяют контуры ранее засыпанных речных меандр и ареалов заболоченных территорий.

В целом тенденция оседаний монотонна, и максимальные значения в отдельных случаях достигают  $-35$  мм в год. Но при анализе локальных объектов были обнаружены отдельные многоэтажные здания, подверженные монотонному оседающему тренду, динамику движений которых необходимо продолжать наблюдать. В 2014 году мониторинг объектов и инфраструктуры города будет продолжен по актуальной съемке со спутника COSMO-SkyMed, который продолжает съемку территории города с периодичностью в 8 дней. Архив насчитывает более 150 снимков, собранных с 2011 года.

В 2002 году Европейским Космическим Агентством (ESA) был запущен спутник ENVISAT, который до 2012 года вел повторную съемку значительных территорий, что позволяло выстраивать интерферометрические многопроходные

серии снимков для мониторинга смещений земной поверхности. На территорию города Алматы в архиве агентства было найдено около 90 снимков с двух треков, наиболее подходящих для интерферометрической обработки. В рамках новой политики Агентства, которая позволяет получать снимки бесплатно под предложение об исследованиях на различных территориях мира, архивные снимки для Алматы были получены по проекту C1.P15390 «Spatio-temporal analysis of surface displacements in urban areas with high seismic risk by SAR interferometry data».

Предварительные результаты обработки данных алгоритмом Persistent Scatterers, реализованном в программном комплексе ENVI SARscape, показали распределение большинства оседающих отражателей в предгорных районах (рис. 4).

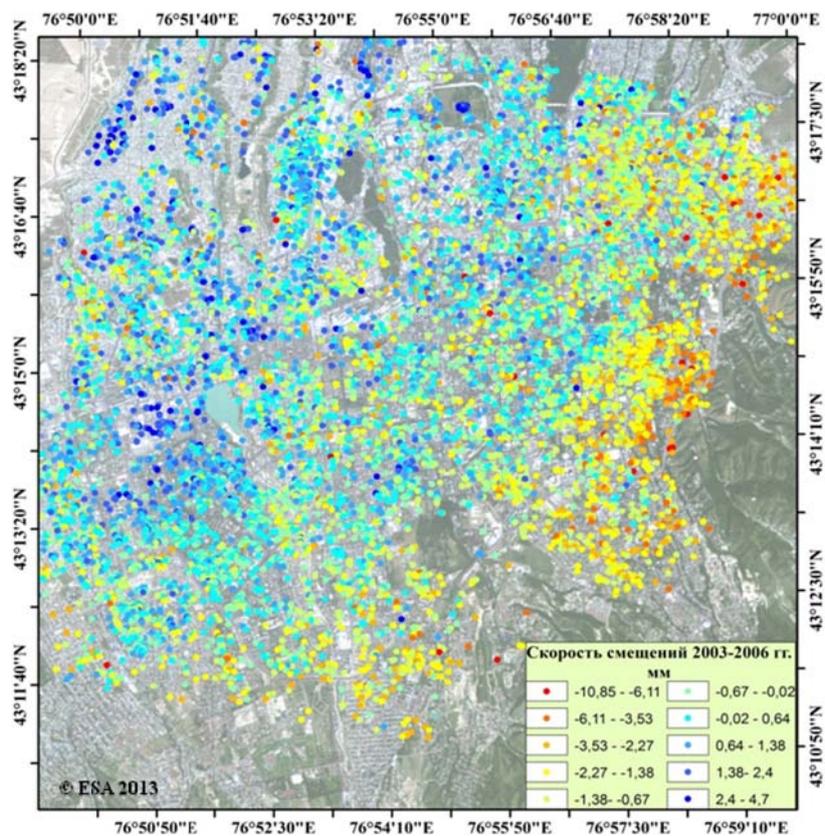


Рис. 4. Карта распределения смещений земной поверхности города Алматы за 2003-2006 гг. по данным спутника ENVISAT ASAR.

Стоит отметить, что на территорию города Алматы в августе 2013 года начала вести съемку итальянская группировка спутников VHR (very high resolution) двойного назначения COSMO-SkyMed.

В заключение отметим, что технология радарной интерферометрии хорошо зарекомендовала себя как один из наиболее действенных и выгодных инструментов при ведении дистанционного мониторинга современных геодинамических процессов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Osipov V.: Megalopolises are under threat of natural disasters. Bulletin of Russian Academy of Sciences, V. 66, pp. 771-782, 1996.
2. Minayev V., Faddeyev A., Danilov R.: Slow disasters as the causes of hazards, Journal Problems of risk management in the technosphere, V.2, pp. 36-50, 2010.
3. Ferretti A, Prati C, Rocca F: Permanent scatterers in SAR Interferometry, IEEE Transactions Geoscience Remote Sensing, V.39, pp. 8-20, 2001.
4. Crossetto M., Monserrat O., Iglesias R., Crippa B.: Persistent Scatterers Interferometry: potential, limits and initial C- and X-band comparison, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, V.76, pp. 1061-1069, 2010.

### **ВАРИАЦИИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 18 МАРТА 2011 ГОДА**

Тойшиев Н.С., Нурақынов С.М.

тел.: +727 380 31 74; факс +727 380 30 53; e-mail: [totti\\_tn11@mail.ru](mailto:totti_tn11@mail.ru);  
[admion1@mail.ru](mailto:admion1@mail.ru)

ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий», г. Алматы, Республика Казахстан

Возможности современных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) оказались гораздо шире рамок собственно навигационных задач, для решения которых эти системы предназначены. Воплотив в себе новейшие достижения на стыке многих наук и технологий, GPS и ГЛОНАСС, в свою очередь, стали мощным фактором мирового научно-технического прогресса [1, 2].

В работе изучен отклик ионосферы на сейсмическое событие на примере землетрясения с магнитудой 4.8 (энергетический класс – 11.1), произошедшего 18 марта 2011 г. в 09 часов 36 минут по времени Гринвича (15 часов 36 минут по времени Астаны). Его эпицентр находился в 135 км к юго-западу от Алматы, в 34 км. от Бишкека. Координаты эпицентра- 43.05°N; 74.90°E, глубина- 2 км. Землетрясение ощущалось на территории города Алматы с интенсивностью 3 балла [3].

Для выявления эффектов землетрясений в вариациях ионосферных параметров в Алматинском сейсмоопасном регионе можно использовать данные локальной сети непрерывных GPS-наблюдений, состоящей из 10 перманентных дифференциальных базовых станций, расположенных на Алматинском прогностическом полигоне Сейсмологической опытно-методической экспедиции ТОО «Институт сейсмологии» и ДТОО «Институт ионосферы» АО «НЦКИТ». Четырехсимвольный код приемной станции и географические координаты приемных станций приведены в таблице 1.

Таблица 1. Географические координаты приемных станций GPS-сигналов, расположенных в Алматинском сейсмоопасном регионе

Название станции	Четырехсимвольный код приемной станции	Географическая широта	Географическая долгота
Chushkaly	CHSH	43.057	78.408
Izvestkovyi	IZVS	43.529	78.373
Maytube	MATB	43.309	77.633
N-Kamenka	NKAM	43.179	77.017
Tan-Shan	TSHN	43.854	76.998
Turgen	TURG	43.042	76.944
Chilik	CHLK	43.229	76.796
Kastek	KAST	43.038	76.610
Saty	SATY	43.130	76.427
Kurty	KURY	43.893	76.338
Selezaschita	SELE	43.045	75.967

*Примечание:* Данные по станции Sele можно получить из архива UNAVKO GPS Archive

На рисунке 1 приведена карта с указанием эпицентра землетрясения и расположения приемных GPS-станций.

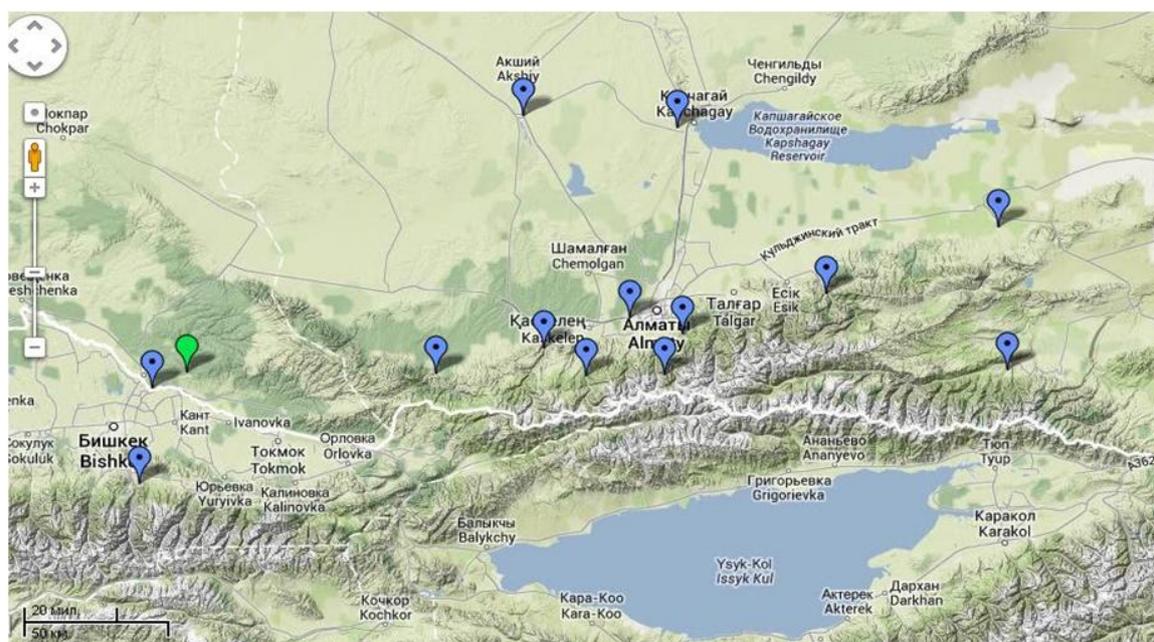


Рис. 1. Расположение приемных GPS-пунктов и очага землетрясения 18 марта 2011 года с магнитудой 4.8. Синие метки – приемные GPS-пункты, зеленая – эпицентр.

При выявлении сейсмоионосферных эффектов необходимо учитывать гелио-геомагнитную обстановку, поскольку возмущения в околоземном космическом пространстве, обусловленные солнечными источниками (солнечные вспышки, корональные выбросы масс, геомагнитные возмущения), вносят более

существенный вклад [1, 4]. За рассматриваемый период с 8 марта по 28 марта 2011 года, по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата», произошли четыре малые магнитные бури и 1 умеренная магнитная буря (таблица 2) [5].

Таблица 2. Геомагнитные возмущения в период с 10 марта по 20 марта 2011 г., зарегистрированные в обсерватории «Алма-Ата»

Начало бури (время местное)	Окончание бури (время местное)	Характер бури	Длительность	К-индекс магнитной активности
10.03 с 12 ч	11.03 до 09 ч	ММБ	21 ч	4
11.03 с 21 ч	12.03 до 09 ч	УМБ	12 ч	6
13.03 с 00 ч	13.03 до 06 ч	ММБ	6 ч	4
13.03 с 23 ч	14.03 до 03 ч	ММБ	4 ч	4
23.03 с 18 ч	24.03 до 06 ч	ММБ	12 ч	4

ММБ – малая магнитная буря;  
УМБ – умеренная магнитная буря.

Для анализа были выбраны данные GPS-измерений с ближайших станций CHUM, POL2, KAST, KURY и SELE.

В исследовании используются данные GPS-измерений с 30-секундным разрешением в стандартном файле RINEX. Первичная обработка данных проводилась по методическим указаниям «Подготовка данных глобальной навигационной спутниковой системы GPS для выявления сейсмоионосферных эффектов (методические указания)» [6], разработанным в 2012 г. в рамках республиканской бюджетной программы 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» [7].

Примеры подготовленных рабочих файлов приведены на рисунке 2. Файлы содержат данные с 30-секундным разрешением по полному электронному содержанию для всех рабочих 24 спутников навигационной системы GPS. Так, например, файл `kast10032011tec_eq.dat` содержит данные по полному электронному содержанию за 10 марта 2011 г. по лучевым траекториям: приемная станция Kastek (четырёхсимвольный код приемной станции – KAST) и спутник навигационной системы GPS с номерами PRN 1, PRN 2, PRN 3 и т.д. Для анализа выбирались следующие магнитоспокойные периоды: трое суток до, день события и трое суток после землетрясения. Фазовые измерения на двух частотах обеспечивают наименьшую ошибку регистрации вариаций ПЭС, так как при 30-секундных интервалах усреднения ошибка не превышает 0.001 TECU, абсолютное значение ПЭС при этом остается неизвестным (так называемая «неоднозначность фазовых измерений») [1, 8]. Такая точность достаточна для эффективной регистрации всех основных типов ионосферных возмущений как естественного (магнитные бури, солнечные вспышки, прохождения солнечного терминатора, метеорологические явления, землетрясения и т. д.), так и техногенного (запуски ракет, взрывы, нагрев ионосферы и т.д.) происхождения [1, 8].

Имя ▲	Размер	Тип	Изменен
chum10032011tec_eq.dat	29 КБ	Surfer Worksheet	24.05.2013 13:05
chum11032011tec_eq.dat	27 КБ	Surfer Worksheet	24.05.2013 13:24
chum12032011tec_eq.dat	25 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:06
chum13032011tec_eq.dat	26 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:16
chum14032011tec_eq.dat	27 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:23
chum15032011tec_eq.dat	27 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:30
chum16032011tec_eq.dat	21 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:38
chum17032011tec_eq.dat	26 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:43
chum18032011tec_eq.dat	25 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:50
chum19032011tec_eq.dat	26 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:57
chum20032011tec_eq.dat	26 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 15:05

Рис. 2. Примеры подготовленных рабочих файлов по полному электронному содержанию.

Имя ▲	Размер	Тип	Изменен
chum		Папка с файлами	07.06.2013 15:11
chum18032011tec_eq.dat	25 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 14:50
kast10032011tec_eq.dat	35 КБ	Surfer Worksheet	29.05.2013 17:00
kast18032011tec_eq.dat	14 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 16:30
kurt10032011tec_eq.dat	31 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 14:57
kurt18032011tec_eq.dat	14 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 16:31
pol210032011tec_eq.dat	28 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 15:10
pol218032011tec_eq.dat	14 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 16:31
sele180311tec_eq.dat	14 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 16:29
sele10032011tec_eq.dat	31 КБ	Surfer Worksheet	30.05.2013 15:26

С помощью программы TEQC (Translate/Edit/Quality Check), которая представляет собой набор инструментов для работы с данными приемников GPS, рассчитаны из разархивированных RINEX-файлов значения полного электронного содержания по конкретным лучевым траекториям: спутник системы GPS и приемная станция.

Для анализа были выбраны данные с ближайших станций CHUM, POL2, KAST, KURY и SELE. На рисунке 3 приведены вариации полного электронного содержания для лучевых траекторий спутник с индивидуальным номером (pseudorandom noise) PRN № 14 – приемная станция CHUM (рисунок 3а) и PRN № 14 – приемная станция KURY (рисунок 3б). Из рисунков видно, что эффект

землетрясения проявился в данных станции CHUM через 6 минут после толчка, а в данных станции KURY – через 24 минуты (станция CHUM расположена ближе к эпицентру, чем станция KURY, см. рисунок 1).

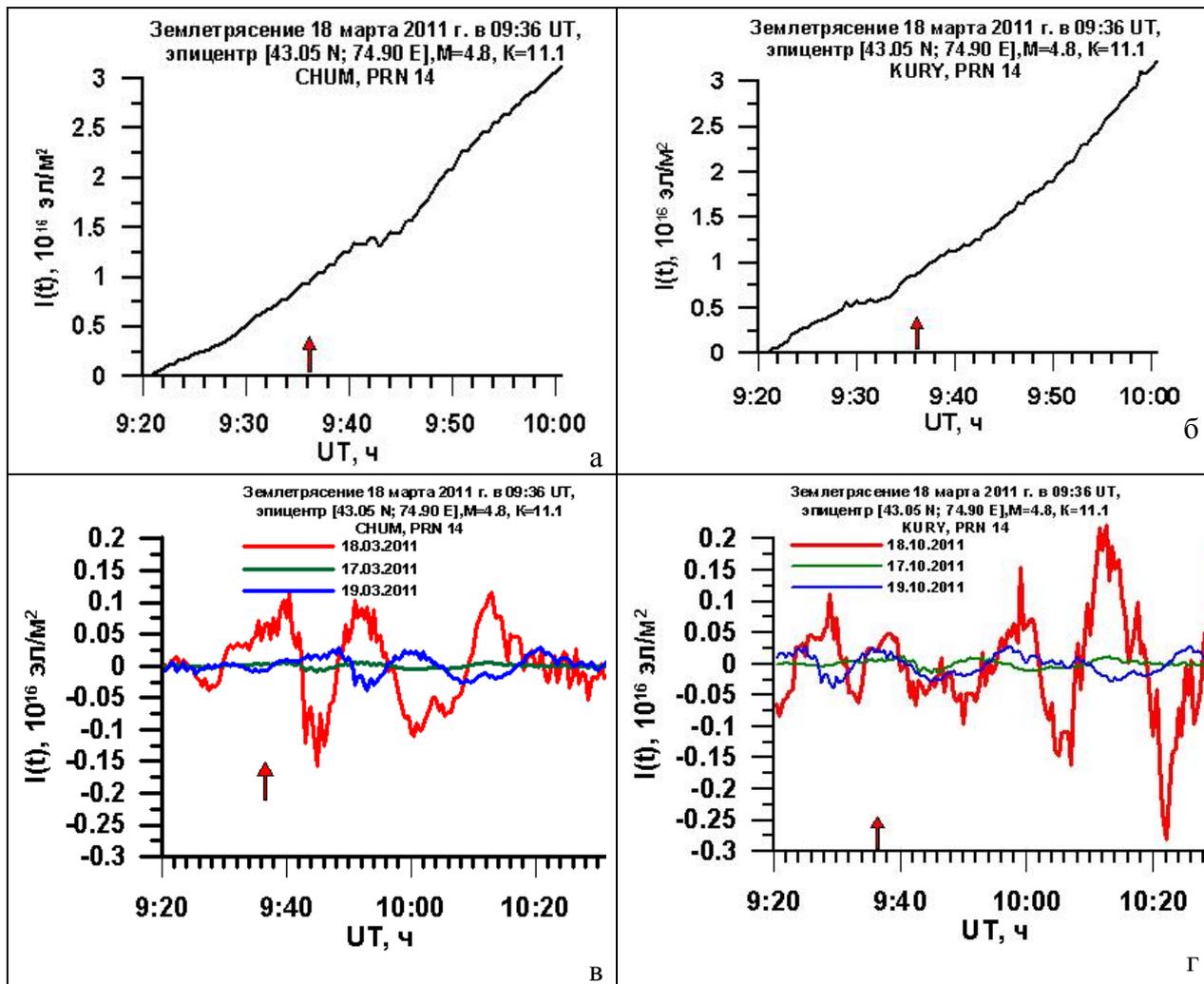


Рис. 3. Вариации полного электронного содержания в период землетрясения 18 марта 2011 г. с магнитудой 4.8: а) для лучевой траектории CHUM – PRN 14; б) для лучевой траектории KURY – PRN 14 и их значения со снятым трендом в) и г), соответственно. На рисунках 3в и 3г приведены вариации полного электронного содержания со снятым трендом: зеленая кривая – за 17 марта 2011 г.; синяя кривая – за 19 марта 2011 г. Момент землетрясения указан стрелкой.

Проведена обработка данных с помощью программы SOS-OMIR, разработанной в ДТОО «Институт космической техники и технологий» – из данных удален линейный тренд, рассчитанный с помощью полинома первой степени. Вариации полного электронного содержания после удаления тренда показаны красной кривой на рисунке 3в для станции CHUM, и на рисунке 3г - для станции KURY. Считается, что траектория спутника навигационной системы GPS изо дня в день фактически не меняется [48] и при спокойных гелиогеофизических

условиях вариации полного электронного содержания в выбранный интервал времени не превышают 10-12 %.

Для сравнения на рисунках 3в и 3г приведены вариации полного электронного содержания с удаленным трендом за предыдущий день 17 марта 2011 г. (зеленая кривая) и за последующий день 19 марта 2011 г. (синяя кривая) для одного и того же временного интервала 9:20 ч UT÷10:00 ч UT. Как видно, возмущение в полном электронном содержании отмечается 18 марта 2011 г., статистический анализ данных за этот же временной интервал не показывает возмущений в предыдущий и последующий день.

Параметры зафиксированного ионосферного отклика на землетрясение 18 марта 2011 г. лежат в следующих пределах: амплитуда  $A$  меняется от 0,25 до 0,35 TECU, период возмущения  $\Delta T$  – от 360 до 600 с, направление распространения возмущения уточняется. Эти результаты хорошо согласуются с данными других авторов [45], что говорит об устойчивости сигнальных признаков ионосферного возмущения, вызванного землетрясением [9].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П. GPS –мониторинг верхней атмосферы Земли // ЦОП БИБММ ИГУ и ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. Иркутск. 2006. 479 с.
2. Афраймович Э.Л., Астафьева Э.Н., Гаврилюк Н.С., Живетьев И.В. Проверка гипотезы о локальности нарушения суточного хода полного электронного содержания перед землетрясениями // БШФФ-2007. Секция А: Физика околоземного космического пространства. 2007. С. 77-80.
3. Казахстанский Национальный Центр данных // <http://www.kndc.kz>.
4. Каримов К.А., Дробжев В.И., Солоницына Н.Ф., Гайнутдинова Р.Д. О некоторых ионосферно-магнитосферных и атмосферных эффектах, связанных с сейсмотектоническими процессами в Казахстане и Киргизии. Фрунзе: Илим. 1990. 29 с.
5. Данные геомагнитной обсерватории «Алма-Ата». <http://www.geomag.ionos.kz>.
6. Ашкалиев Я.Ф., Бибосинов А.Ж., Бреусов Н.Г., Жумабаев Б.Т., Курманов Б.К., Мукашева С.Н., Нургалиева К.Е., Садыков К.А. Подготовка данных глобальной навигационной спутниковой системы GPS для выявления сейсмоионосферных эффектов (методические указания) // РК. Алматы: Ғылым ордасы. 2012. 44 с.
7. Разработка методов оценки геомеханического состояния земной коры кризисных территорий с использованием математического моделирования и спутниковых технологий [Текст]: отчет о НИР. Ч. 1. (промежуточ.) // ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий»; рук. Жантаев Ж.Ш. Алматы. 2012. 95 с.
8. Перевалова Н.П. Оценка характеристик наземной сети приемников GPS/ГЛОНАСС, предназначенной для мониторинга ионосферных возмущений естественного и техногенного происхождения // Солнечно-земная физика. 2011. № 19. С. 124–133.
9. Афраймович Э.Л., Астафьева Э.Н., Кирюшкин В.В. Ионосферное возмущение в ближней зоне эпицентра землетрясения на острове Хоккайдо 25 сентября 2003 года // Известия ВУЗов. Радиофизика. 2005. Т. 48. № 4. С. 1–8.

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ

### GPS-ПУНКТА «ТУРГЕНЬ»

Кайранбаева А.Б., Садыков К.А., Виляев А.В.

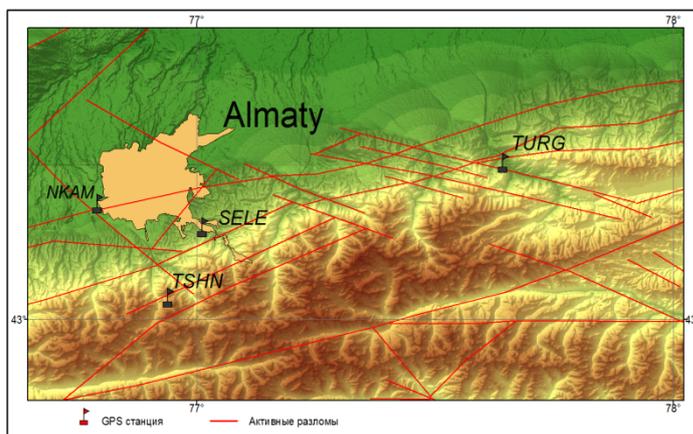
тел.: +77714000634; e-mail: [kairanbaeva\\_a@mail.ru](mailto:kairanbaeva_a@mail.ru);  
[sadykovka@mail.ru](mailto:sadykovka@mail.ru); [vilayev@gmail.com](mailto:vilayev@gmail.com)

ДТОО «Институт ионосферы», г. Алматы, Казахстан

На территории юго-восточной части Казахстана, начиная с 2009 года, с целью определения современных движений и деформаций земной коры выполняются наблюдения смещений земной поверхности методами GPS-геодезии на десяти стационарных пунктах. Пункты непрерывных GPS-наблюдений оборудованы спутниковыми приемниками серии Leica GRX1200+GNSS, специально разработанными для использования на базовых станциях, и являются частью нового комплекса геодезических приборов Leica System 1200. Созданные на основе этих приемников базовые станции обладают многофункциональностью и надежностью, обеспечивают высокую точность, они просты в установке и управлении.



На примере GPS-пункта «Тургень» рассмотрена динамика пространственных смещений по широте, долготе и высоте. Обработка результатов измерений проводилась по стандартной методике расчетов псевдорасстояний и фазовых измерений для каждого дня наблюдений программным пакетом GAMIT/GLOBK [1]. Дискретность взятия отсчетов составляла 30 сек. На первом этапе обработки GPS-данных, на основе дифференциальных фазовых и кодовых



наблюдений, рассчитывались координаты пункта, параметры движения спутников, тропосферная задержка, а также фазовые неоднозначности. Далее полученные ежедневные решения объединялись с результатами Scripps Orbital and Position Analysis Center

(SOPAC, <http://sopac.ucsd.edu>) для глобальных станций с использованием фильтра Кальмана [2]. Связь пункта с Международной системой отсчета ITRF2008 осуществлялась привязкой через 37 станций сети IGS. В результате на период 2009-2012 гг. получен временной ряд среднесуточных значений смещений по каждой из трех компонент - север-юг, восток-запад и по вертикали, представленных на рис. 1.

Анализ компонент временного ряда предусматривал выделение в структуре наблюдений нескольких составляющих:

$$X_i = Ut + Ct + Yt + Et \quad (1),$$

где:  $Ut$  – линейный тренд, описывающий долговременное систематическое смещение, обусловленное глобальными геодинамическими процессами;  $Ct$  -

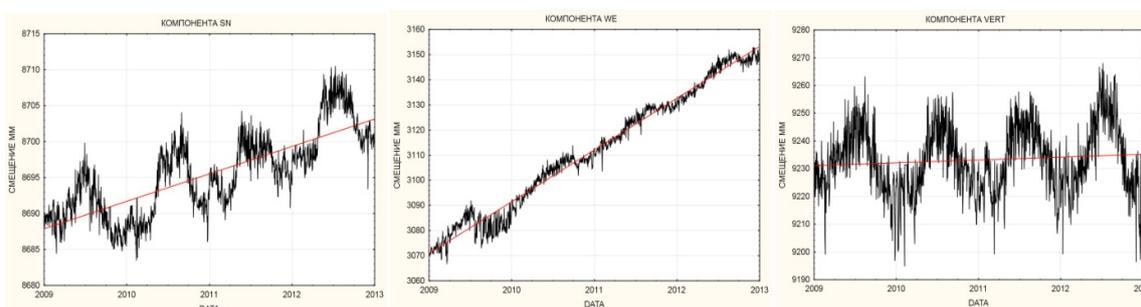


Рис.1. Компоненты смещений и их линейный тренд в мм по широте (а), долготе (б), высоте (в).

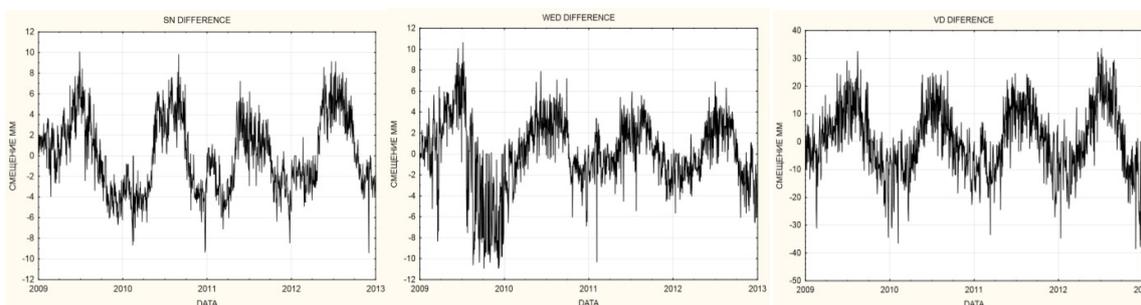


Рис. 2. Смещения за вычетом линейного тренда в мм по широте (а), долготе (б), высоте (в).

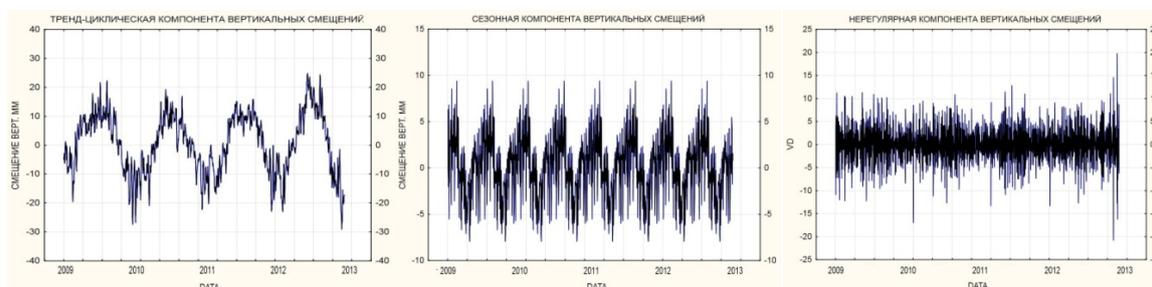


Рис. 3. Сезонная декомпозиция вертикальных смещений. Компоненты в мм: а- сезонная; б – циклическая; в – нерегулярная.

циклическая компонента, отражающая повторяемость процесса в течение

длительных периодов под влиянием природно-климатических факторов (от года и более);  $Y_t$  - периодическая компонента смещений в течение короткого периода времени (дни, недели, мес.);  $E_t$  - случайная компонента [3].

Сезонная декомпозиция осуществлялась для соответствующих компонент за вычетом линейных трендов программным комплексом «Статистика 10» модулем анализа временных рядов и представлена для вертикальной компоненты на рис.3. Результатом суммирования составляющих сезонной декомпозиции (рис. 3а,б,в) и линейного тренда является исходный временной ряд (рис.1в) [4].

Для определения скрытых периодичностей в данных применялся спектральный Фурье анализ того же программного комплекса. Оценка спектральной плотности (рис. 4в) наблюдаемых сезонных движений подтвердила наличие годовой, полугодовой гармоник, обусловленных климатическими факторами. Графики линейной корреляции вертикальных движений с атмосферными температурой и давлением представлены на рис. 4а,б. Коэффициент корреляции составил 0.75 и 0.64 соответственно.

Кроме того, была выделена периодичность в 31.7 суток, возможно имеющая лунно-солнечную приливную природу, а также выделены относительно короткопериодные гармонические колебания слабой интенсивности в 7.9-8.4 суток, природа которых нами пока не выяснена. Предполагается для дальнейшего более глубокого анализа периодических составляющих перейти от суточных наблюдений к рассмотрению среднечасовых данных.

Годичная динамика вращения горизонтального вектора смещений представлена на рисунке 5. Статистика распределений азимута горизонтальных смещений подчинена нормальному закону распределений. Средний азимут смещений равен  $78.86 \pm 8.37$  град и отражает преобладающее направление движений земной поверхности региона в системе ITRF2008 [5].

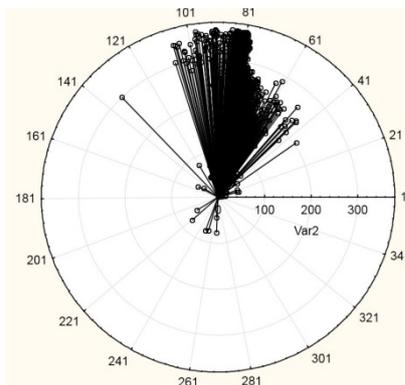


Рис. 5. Годичная динамика вращения горизонтального вектора.

Параметры линейного тренда смещений на 01.01.2013 определяют скорости современных движений поверхности, которые составили по направлениям: север-  $3.82 \pm 0.36$  мм/год; восток-  $20.66 \pm 0.37$  мм/год; вертикаль-  $1.28 \pm 1.35$  мм/год.

Используемая обработка временных рядов смещений позволяет выделить имеющиеся закономерности и понять структуру наблюдаемых проявлений современных геодинамических процессов по данным стационарных GPS-наблюдений.

## ЛИТЕРАТУРА

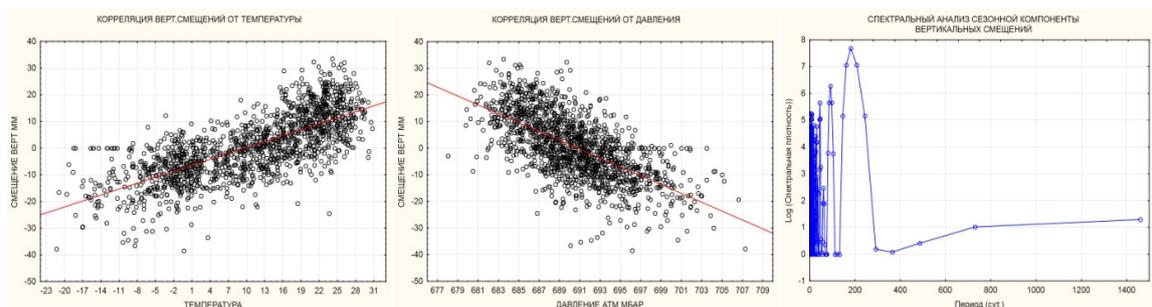


Рис. 4. Корреляция вертикальных смещений: а – атм. температура; б – атм. давление; в – периодограмма сезонной компоненты вертикальных

1. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. Reference manual GAMIT. GPS analysis at MIT release 10.3, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 2006. [http://chandler.mit.edu/simon/gtgk/GAMIT\\_Ref\\_10.3.pdf](http://chandler.mit.edu/simon/gtgk/GAMIT_Ref_10.3.pdf)
2. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. GLOBK reference manual. Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program release 10.3, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 2006. [http://chandler.mit.edu/simon/gtgk/GLOBK\\_Ref\\_10.3.pdf](http://chandler.mit.edu/simon/gtgk/GLOBK_Ref_10.3.pdf)
3. <http://www.statsoft.ru/>
4. <http://rutracker.org/forum/viewtopic.php?t=1918631>
5. <http://www.iers.org/>

## ЗАПИСИ СТАНЦИЙ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ОЧАГАМИ НА ТЕРРИТОРИИ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Рябенко О.В., Соколов А.Н.

раб. тел.: +7-(727)2631330, сотовый: +7-(705)3059627; факс: +7-(727)2634882;

e-mail: [Oksy300189@mail.ru](mailto:Oksy300189@mail.ru), [asokolov@kndc.kz](mailto:asokolov@kndc.kz)

РГП ИГИ КАЭ МИНТ РК, г. Алматы, Казахстан

Записи станций сильных движений являются базовыми при оценке сейсмической опасности, проведении работ по сейсмическому микрорайонированию и при проектировании сейсмостойких сооружений. Особенно важно изучение таких данных для Алматинской области, так как это самый густонаселенный район Казахстана, расположенный в сейсмически активном районе Тянь-Шаня, где в историческом прошлом происходили разрушительные землетрясения с интенсивностью сотрясений 9-10 баллов. Целью настоящей работы является анализ данных сильных движений на территории Алматинской области, зарегистрированных станциями РГП ИГИ начиная с 2006 года.

В настоящее время сеть станций РГП ИГИ, регистрирующих сильные движения, состоит из 7 станций, расположенных на юге (KKAR), юго-востоке (KNDC, PDGK), востоке (MAKZ, KURK), севере (BRVK) и в центральной части Казахстана (OTUK). Кроме того, для анализа используются записи станций Суфи-Курган (SFK) и Манас (MNAS), расположенных в Кыргызстане [1]. Обработка данных сильных движений производится при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [1], которое позволяет проводить визуализацию записи, откалиброванной за характеристики прибора в физических единицах; расчет спектра Фурье и спектра реакции для разных значений затухания, дифференцирование и интегрирование записей.

**Характеристика сейсмического режима территории Алматинской области.** Для оценки режима сейсмичности Алматинской области была сделана выборка по каталогу землетрясений за период с 2006 г. по июнь 2013 г. Область выборки- 42-47.3 с.ш.; 73.3-82.7 в.д. Район для анализа был выбран больше, чем Алматинская область, так как сильные землетрясения из приграничных районов

должны также учитываться при анализе сейсмической опасности. Площадь выборки составила почти 450000 км<sup>2</sup>.

Распределение землетрясений по энергетическим классам (Кр) для Алматинской области выглядит следующим образом (таблица 1).

Таблица 1. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам в Алматинской области за 2006-2013 гг.

Кр	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	N <sub>Σ</sub>
N	16753	5717	1422	429	146	43	15	4	4	1	24534

Сейсмическая активность  $A_{10}$  в данном районе составила:  $A_{10}=0.064$ . Угол наклона графика повторяемости  $|\gamma|$  равен 0.44. Максимальные магнитуда и Кр составили  $M_{max}=6.5$ ,  $K_{max}=14.7$  для землетрясения 28 января 2013 г. На рисунке 1 представлен график повторяемости землетрясений, представляющий собой распределение числа землетрясений по энергетическим классам для исследуемого района. Уравнение линейной регрессии:  $N=3.628-0.475*K$ , коэффициент корреляции-  $R=-0.998$ .

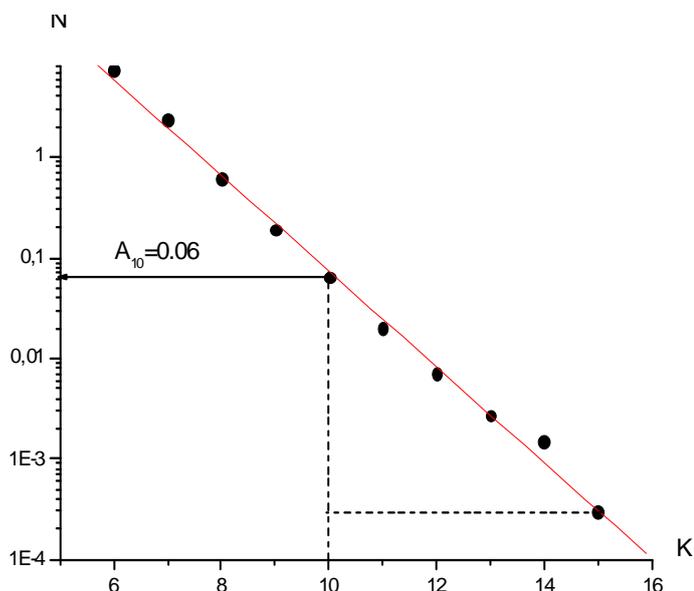


Рис. 1. График повторяемости землетрясений для исследуемого района.

**Сильные движения при наиболее сильных землетрясениях в Алматинской области.** Начиная с 2009 года в Алматинской области произошло несколько ощутимых землетрясений. Макросейсмические исследования и анализ данных сильных движений для этих событий представляют большой интерес для исследователей. Самые сильные из них Текелийское землетрясение 13.06.2009 г. [2], Капчагайское землетрясение 1.05.2011 г. [3], Торайгырское землетрясение 31.05.2012 [4] и Сарыджазское 28.01.2013 [5].

**Текелийское землетрясение.** 13 июня 2009 г. в 23 ч 17 мин по местному времени (в 17 ч 17 мин по UTC) в юго-восточном Казахстане произошло сильное землетрясение. Наиболее сильно пострадал г. Текели, оказавшийся непосредственно в эпицентральной зоне землетрясения. Интенсивность

сотрясений в этом городе достигла 7 баллов [2]. Координаты землетрясения:  $\varphi=44.77^\circ$ ,  $\lambda=78.82^\circ$ ; магнитуа:  $m_b=5.8$ ,  $M_s=5.1$ ,  $M_w=5.4$ ,  $m_{pv}=6.3$ ,  $K=13.8$ .

С наибольшей интенсивностью 7 баллов землетрясение проявилось в городах Текели. Город Текели расположен в 8 км от инструментального эпицентра. Жертв и пострадавших от землетрясения не было. По заключению специально созданной комиссии, ущерб от землетрясения составил примерно 2.7 миллиона долларов США [2]. На рисунке 2 представлена карта изосейст Текелийского землетрясения, составленная в ИС РК [2].

Текелийское землетрясение было зарегистрировано станцией KNDC на территории г. Алматы на расстоянии 230 км от эпицентра. В пункте регистрации землетрясение ощущалось с интенсивностью 3–4 балла. На рис. 3 показаны спектры реакции, максимальные значения амплитуд составляют  $2.6 \text{ см/с}^2$ . Максимальные значения амплитуд колебательной скорости составили  $0.17 \text{ см/с}$  (табл. 2).

Как по амплитудам ускорений, так и по амплитудам скоростей по ранее полученной инструментальной шкале интенсивности [2] можно оценить значение интенсивности в баллах в месте регистрации сильных движений. Оно составляет 3–4 балла.

Таблица 2. Параметры сильных движений при Текелийском землетрясении по станции KNDC на территории г. Алматы.

N	Дата	Время в очаге	Станция	$\Delta$ , км	I	Амплитуды ускорений, $\text{см/с}^2$			Амплитуды скоростей, $\text{см/с}$			Период ускор., с	Период скор., с
						E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	13.06.2009	21-27-22.0	KNDC	230	3-4	2.3	2.6	2.3	0.15	0.16	0.12	0.12	1.2

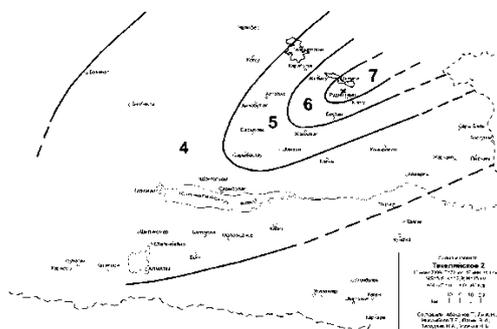


Рис. 2. Карта изосейст Текелийского землетрясения 13.06.2009 г.

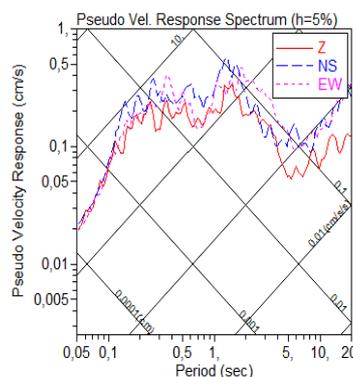


Рис. 3. Спектры реакции Текелийского землетрясения 13.06.2009 г. (станция KNDC).

**Капчагайское землетрясение.** 1 мая 2011 г. в 08 часов 31 минуту по местному времени жители г. Алматы ощутили землетрясение, интенсивность которого на территории города составила 4 – 5 баллов. Это землетрясение почувствовало большинство населения г. Алматы и пригородов [3]. Координаты землетрясения:  $\varphi=43.62^\circ$ ,  $\lambda=77.7^\circ$ ; магнитуа:  $m_b=5.3$ ,  $M_s=4.8$ ,  $M_w=5.4$ ,  $m_{pv}=5.9$ ,  $K=13.1$ . Макросейсмические обследования провели сотрудники ГУ «СОМЭ КН МОН РК» и НПК «ПРОГНОЗ» [4], полученные в ходе обследования изосейсты показаны на рисунке 4.

Станция сильных движений KNDC находилась на расстоянии 79 км от эпицентра Капчагайского землетрясения, станция Подгорная – в 153 км. Оценены характеристики записей и соответствующих им спектров реакции. При главном толчке пиковые ускорения грунта в пункте KNDC составили  $8.4 \text{ см/с}^2$  (рис. 5, табл. 3). По шкале интенсивности землетрясений MSK- 64 (К) такие значения характеризуют интенсивность 4 балла [3]. Станция KNDC расположена в южной части города, сильнее это землетрясение ощущалось в северной части Алматы, где интенсивность могла достигать 5 баллов [3].

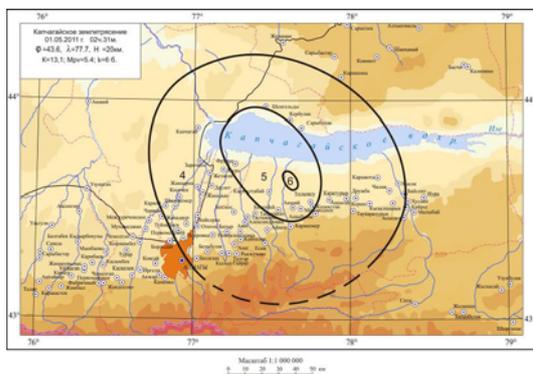


Рис. 4. Изосейсты землетрясения 01.05.2011 г. [4].

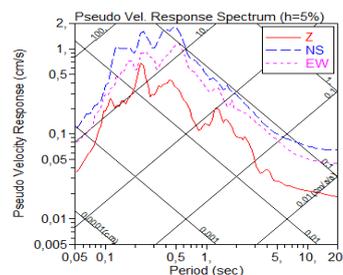


Рис. 5. Спектры реакции Капчагайского землетрясения 01.05.2011 г. (станция KNDC).

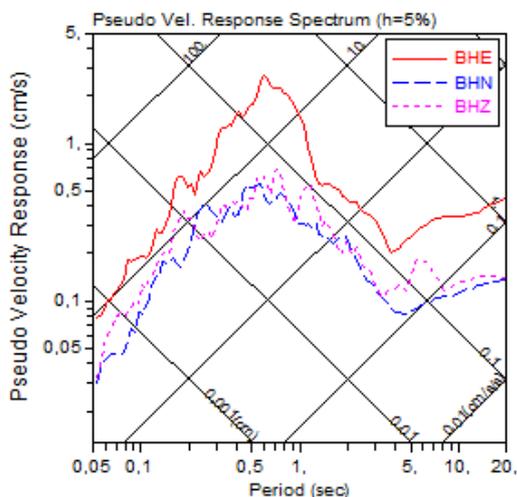
Таблица 3. Параметры сильных движений (максимальные амплитуды ускорений) Капчагайского землетрясения.

N	Дата	Время в очаге	Станция	Δ, км	I, баллы, в пункте регистрации	Амплитуды ускорений, $\text{см/с}^2$			Амплитуды скоростей, $\text{см/с}$			Период ускор., с	Период скор., с
						E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	01.05.2011	02-31-28.7	KNDC	72	4-5	4,1	13,7	9,3	0,16	0,63	0,49	0,11	0,5
			PDG	151		1,2	1,3	1,2	0,06	0,07	0,07	0,2	0,2
			MAKZ	491		0,1	0,1	0,1	0,01	0,01	0,01	0,32	1,0

**Торайгырское землетрясение.** 31 мая 2012 года 03 часа 20 минут местного времени (30.05 2012 21:20 UTC) жители южной столицы ощутили землетрясение, которое произошло на расстоянии 150 км от г.Алматы, в районе горного массива Кокпек на юго-востоке Казахстана [5]. Координаты землетрясения:  $\varphi=43.38^\circ$ ,  $\lambda=78.77^\circ$ ; магнитуа:  $m_b=5.7$ ,  $M_w=5.3$ ,  $m_{pv}=6.0$ ,  $K=13.7$ . На территории г. Алматы землетрясение ощущалось с интенсивностью 4 балла. В таблице 4 представлены параметры сейсмических воздействий Торайгырского землетрясения по станциям СД РГП ИГИ, на рисунке 6 представлены спектры реакции землетрясения по станции KNDC. Максимальные амплитуды ускорений наблюдались для станций KNDC (146 км) и PDGK (144 км) и составили  $9.2 \text{ см/с}^2$  для обеих станций, в обоих населенных пунктах интенсивность составила 4 балла по шкале МСК-64.

Таблица 4. Параметры сейсмических воздействий Торайгырского землетрясения.

N	Дата	Время в очаге	Станция	Δ, км	I, баллы, в пункте регистрации	Амплитуды ускорений, см/с <sup>2</sup>			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	30.05.2012	21-20-55.4	KNDC	146	4	9.2	3.1	4.5	0.97	0.18	0.20	0.5	0.6
			KKAR	669		0.1	0.2	0.2	0.01	0.02	0.02	0.5	0.8, 3.0
			MAKZ	458		0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.3, 1.0	4.0
			MNAS	520		0.2	0.1	0.1	0.01	0.02	0.02	0.3, 1.0	1.1
			PDGK	144	4	9.2			0.35			0.3	0.8



**Рис. 6.** Спектры реакции Торайгырского землетрясения 30.05.2012 г. (станция KNDC).

по международной сейсмической шкале MSK-64. В поселке Кеген – 4-5 баллов. В городе Алматы интенсивность составила 3-4 балла, в городе Талдыкоргане – 2 балла [6]. По сообщениям Казинформагентства со ссылкой на агентство «Синьхуа», на территории КНР были повреждены 4062 жилых дома, пострадали 14217 человек. На территории Казахстана жертв и серьезных разрушений не было.

В таблице 5 представлены параметры сильных движений Сарыджазского землетрясения. Максимальная амплитуда ускорения была зафиксирована станцией Подгорная PDGK  $A_{max}=5.8 \text{ см/с}^2$ . Немного меньшие значения наблюдались по станции KNDC  $A_{max}=3.5 \text{ см/с}^2$ . На рисунке 8 представлены записи и спектры реакции Сарыджазского землетрясения 28.01.2013 г. в 16:38:53.8 по станции KNDC. В поселке Подгорное (81 км) интенсивность сотрясений составила 4-5 баллов, а в г. Алматы (229 км) – 4 балла.

### Сарыджазское землетрясение. 28

января 2013 г. в 22 часа 38 минут местного времени (16:38 UTC) жители г. Алматы ощутили интенсивные колебания. Землетрясение произошло в 225 км к юго-востоку от города на территории Раимбекского района Алматинской области на расстоянии 40 км от поселка Сарыджаз. Координаты землетрясения:  $\varphi=42.52^\circ$ ,  $\lambda=79.67^\circ$ ; магнитуда:  $m_b=6.1$ ,  $M_s=6.2$ ,  $M_w=6.1$ ,  $m_{pv}=6.5$ ,  $K=14.7$  [6]. Сотрудники ГУ СОМЭ МОН РК и ИС РК провели макросейсмическое обследование землетрясения, на рис. 7 представлена карта изосейст. Интенсивность сотрясения грунта в населенных пунктах Тасаш, Сарыджаз и Нарынкол вблизи эпицентральной зоны составила 6 баллов

Таблица 5. Параметры сейсмических воздействий Сарыджазского землетрясения.

N	Дата	Время в очаге	Станция	Δ, км	I	Амплитуды ускорений, см/с <sup>2</sup>			Амплитуды скоростей, см/с			T, ускор., с	T, скор., с
						E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	28.01.2013	16-38-53.8	PDGK	81	4-5	5.8	4.1	4.0	0.66	0.43	0.31	1	1.5
			KNDC	229	4	2.7	3.5	2.3	0.36	0.35	0.25	1	1
			MAKZ	502		0.2	0.2	0.2	0.05	0.04	0.04	0.4	2
			SFK	587		0.6	0.3	0.6	0.15	0.14	0.12	2	2
			MNAS	585		0.2	0.4	0.3	0.04	0.1	0.05	1.6	1.65

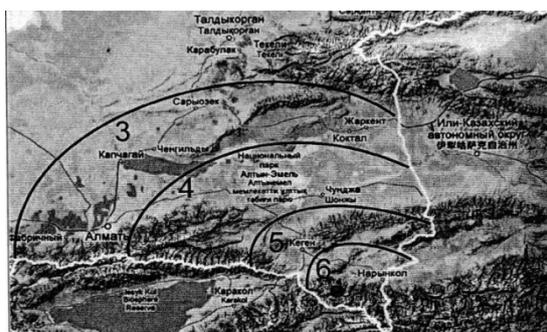


Рис. 7. Изосейсты Сарыджазского землетрясения 28.01.2013 г. в 16:38:52.4.

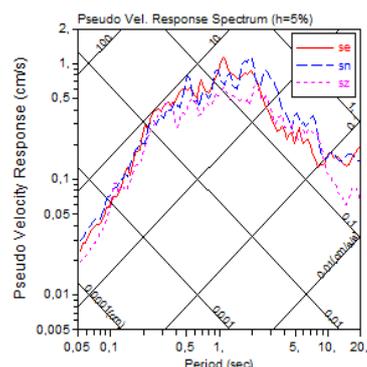


Рис. 8. Спектры реакции Сарыджазского землетрясения 28.01.2013 г. Станция KNDC.

За период 2006-2013 гг. сетью сильных движений РГП ИГИ на исследуемой территории было зарегистрировано 29 событий с энергетическим классом более 11.5. Общий диапазон энергетических классов событий, имеющих записи сильных движений, составил от 6.1 до 14.7.

Самое большое значение пикового ускорения грунта было зарегистрировано на территории города Алматы при землетрясении 29 декабря 2007 г. Максимальное значение PGA на станции KNDC наблюдалось на канале север-юг и составило 33.9 см/с<sup>2</sup>, длительность записи сильных движений после максимума составила 4 с. В таблице 6 представлены спектральные параметры движений грунта при этом землетрясении.

Таблица 6. Спектральные параметры движений грунта при землетрясении 29 декабря 2007 г.

N	Дата	Время в очаге	Станция	Δ, км	I	Амплитуды ускорений, см/с <sup>2</sup>			Амплитуды скоростей, см/с			Период ускор., с	Период скор., с
						E-W	N-S	Z	E-W	N-S	Z		
1	29.01.2007	21-27-22.0	KNDC	36	4	32.1	33.9	17.0	0.85	1.82	0.69	0.33	0.33

Полученные результаты следует учитывать как в методическом, так и в практическом аспекте при будущих работах по сейсмическому микрорайонированию территории г. Алматы и для оценки сейсмической опасности Казахстана.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов А.Н., Узбеков Р.Б. Использование данных по сильным движениям для прогноза воздействий на площадки строительства ответственных объектов Казахстана // Ядерный потенциал Казахстана: Сборник докладов/ассоциация «Ядерное общество Казахстана». Алматы. 2012. С. 92-97.
2. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Текелийское землетрясение в Казахстане в 2009 году: очаг и воздействия // Вопросы инженерной сейсмологии. 2010. Москва. Т. 37, 2. С. 20 - 33.
3. Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н. Капчагайское землетрясение 1 мая 2011 г. // Вестник НЯЦ РК. 2013. Вып. 1. С. 103-110.
4. Нысанбаев Т.Е., Тарадаев Н.А., Жунусов А. и др. // Отчет по результатам макросейсмического обследования землетрясения 01.05.2011 г.
5. Даугавет В.П., Лапин В.А. Регистрация землетрясения 31.05.2012 г. станциями инженерно-сейсмометрической службы города Алматы // Сборник материалов IV Междун. научно-практ. конф. Алматы. 2012. С. 149-153.
6. Панин В.И., Нысанбаев Т.Е., Гессель М.О., Неверова Н.П., Тарадаева Т.В. Казахстан, Сарыджазское землетрясение 28 января 2013 года //Материалы Восьмой международной сейсмологической школы. Обнинск. 2013. С. 237-241.

### ОБЛАЧНОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМИЧНОСТИ)

Чалова В.С.

тел.: 8-727-269-46-08; e-mail: [irgal05@rambler.ru](mailto:irgal05@rambler.ru)

Институт сейсмологии, г. Алматы, Казахстан

При интеллектуальном анализе больших объемов научных данных любой природы человек не всегда может разместить данные и распознать тот или иной объект, который он пытается найти. На помощь ему в этой деятельности приходят современная техника и интеллектуальные технологии, интеллектуальные информационные системы, алгоритмы и способы хранения таких данных. Предлагается метод хранения больших объемов сейсмических данных и наблюдений в облачных хранилищах данных. В современных условиях каждый ученый в области сейсмологии [1] и IT-специалист заинтересованы в применении современных средств хранения больших объемов данных и быстрому к ним доступу. На наш взгляд, в этом случае наиболее оптимальными станут в недалеком будущем облачные хранилища данных.

Облачное хранилище данных [2] — модель онлайн-хранилища, в котором данные хранятся на многочисленных распределённых в сети серверах, предоставляемых в пользование сейсмологам, так называемым клиентам, в основном третьей стороной. В отличие от модели хранения данных на собственных выделенных серверах, приобретаемых или арендуемых специально для подобных целей, количество или какая-либо внутренняя структура серверов клиенту, в общем случае, не видна. Данные хранятся и обрабатываются в так называемом **облаке**, которое представляет собой, с точки зрения клиента, один

большой виртуальный сервер. Физически же такие серверы могут располагаться удаленно друг от друга географически, вплоть до расположения на разных континентах. В [2] приведены преимущества облачных хранилищ. Клиент платит только за то место в хранилище, которое фактически использует, но не за аренду сервера, все ресурсы которого он может и не использовать. Клиенту нет необходимости заниматься приобретением, поддержкой и обслуживанием собственной инфраструктуры по хранению данных, что, в конечном счете, уменьшает общие издержки производства. Все процедуры по резервированию и сохранению целостности данных производятся провайдером облачного центра, который не вовлекает в этот процесс клиента. Безопасность при хранении и пересылке данных является одним из основных вопросов при работе с облаком, особенно в отношении конфиденциальных, частных данных. Общая производительность при работе с данными в облаке может быть ниже таковой при работе с локальными копиями данных. Надежность и своевременность получения и доступности данных в облаке очень сильно зависят от многих промежуточных параметров, в основном таких, как каналы передачи данных на пути от клиента к облаку; от надлежащего качества работы интернет-провайдера клиента, от доступности самого облака в данный момент времени. Облачные шлюзы — технология, которая может быть использована для более удобного представления облака клиенту. К примеру, с помощью соответствующего программного обеспечения хранилище в облаке может быть представлено для клиента как локальный диск на компьютере. Таким образом, работа с данными в облаке для клиента становится абсолютно прозрачной. И при наличии хорошей, быстрой связи с облаком клиент может даже не замечать, что работает не с локальными данными у себя на компьютере, а с данными, хранящимися, возможно, за много сотен километров от него. На сегодняшний день технологии в научных исследованиях применяют самые передовые средства хранения данных, каковыми являются облачные хранилища данных.

Подтверждает этот факт следующее. Подбор компонентов для хранения данных - задача, требующая индивидуального подхода. Сегодня, в век облачных вычислений и многочисленных новых сервисов, использующих облачные технологии, она становится особенно важной. Обеспечение работы социальных сетей, мобильных приложений, сервисов доставки видео высокой четкости и других подобных облачных сервисов требует быстрого, надежного и эффективного обмена данными. Поэтому сложно недооценить стратегическую роль систем хранения данных: чрезвычайно важно обеспечить обработку большого количества информации в режиме реального времени. В ближайшие годы, по оценкам экспертов, глобальный IP-трафик превысит 1 Збайт (1 млн. Пбайт) - причиной тому становится растущая активность 4 млрд. человек, обменивающихся данными со своих устройств, число которых по всему миру составляет уже несколько десятков миллионов [4]. В основе всех облачных служб, продуктов и решений лежат программные средства, которые по функциональности можно разделить на три типа — средства для обработки данных и выполнения приложений (серверы вычислений), для перемещения данных (сети) и для их хранения (СХД). Не только такие скорости реализуются в предлагаемом способе хранения данных, но и круг решаемых задач становится все шире. Выходя уже за рамки чисто научных и практических целей и задач. Таким образом, секрет оптимальной архитектуры систем хранения данных для тех или иных целей и задач - это нахождение правильной комбинации мощных

элементов хранения, таких как жесткие диски с интерфейсами SATA или SAS, а также высокопроизводительных и устойчивых твердотельных накопителей типа SLC или MLC. Сочетание различных типов запоминающих устройств и их преимуществ обеспечит высокую производительность системы и возможность хранить большие объемы данных при оптимальных затратах [4].

В заключение отметим следующее. Объем данных, которыми приходится управлять в современном мире, поражает воображение. Однако пока еще немногие компании имеют достаточный опыт для создания своего уникального рецепта построения систем хранения, наиболее эффективных для их целей и задач [4]. Существует множество облачных решений, в каждом из которых предлагается свой набор средств, функций и возможностей. Облачные службы и функциональные средства для обработки и хранения данных объединяются в разных комбинациях для предоставления ПО как услуги (SaaS), платформы как услуги (PaaS) и инфраструктуры как услуги (IaaS) при создании общедоступных и частных облачных решений. Подобные ресурсы можно предоставлять как услугу, продукт или пакетное решение — т.н. модель «ИТ как услуга» (ITaaS). Кроме того, облачные службы в общедоступных и частных инфраструктурах могут объединяться в так называемое гибридное облако, позволяющее более полно удовлетворять специфические требования заказчиков. В разных областях науки применяется облачный способ хранения данных, например в медицине. По сути, это защищенная сеть для хранения и совместного использования критически важных данных и программ. Например, больницы могут использовать службы общего доступа для архивации электронных медицинских карточек и снимков пациентов (на основе системы PACS) или же создать для хранения архивов собственную сеть. В данном случае предлагается применять **облачное хранилище данных (на примере сейсмичности)**, так как этот способ вполне отвечает современным требованиям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курскев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы: Эверо. 2004. 504 с.
2. Википедия [Электронный ресурс]. [http://ru.wikipedia.org/wiki/Облачное\\_хранилище](http://ru.wikipedia.org/wiki/Облачное_хранилище).
3. Чалова В.С., Литовченко И.Н. Распознавание образов временных последовательностей событий (на примере Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий) // Материалы докл. 5-ой Межд. конф. молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». Бишкек. 2013. С. 66-69.
4. Эффективное хранение данных: новые возможности для облачных вычислений и сервисов [Электронный ресурс]. <http://www.tssonline.ru/articles2>.

## РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОБРАБОТКЕ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ

Мамбетсадыкова А., Маметова Б.К., Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В.

тел. 0312 521 435; e-mail: [grvalentina@mail.ru](mailto:grvalentina@mail.ru)

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызстан

Опыт изучения временных (1980 - 2013 гг.) рядов термоминеральных вод (ТМВ) Кыргызстана показал, что периодам подготовки землетрясений с  $K \geq 13,0$  сопутствовали аномалии их физико-химических параметров в виде бухто- и пикообразных всплесков и "провалов". Количественная оценка этих временных рядов проводилась статистическими методами с помощью программных средств «МЕЗОЗАВР», а с 2013 г. «МЕЗОЗАВР-ПРОГНОЗ, версия 1.2». Определялись: среднеквадратическое отклонение с построением доверительных интервалов ( $\pm 2\sigma$ ), дисперсия ( $D$ ), информационная энтропия ( $S$ ), интегральный коэффициент корреляции ( $V_{инт.}$ ) наблюдаемой системы, а также спектрально-временное представление режимных данных (СВАН) составлением карты мощности сигналов на выходах узкополосных параллельных фильтров [1-4].

К примеру, в скв. 915 ТМВ «Аламедин» отмечались изменения среднемесячных дисперсий за два месяца до Ташбашатского землетрясения (1989) с  $K_R=12.2$  по  $CL^-$  (рис. 1А) и за год до Суусамырского землетрясения (1992) с  $K_R=17.0$  по  $CL^-$  и  $CO_3^{2-}$  (рис. 1Б) [4].

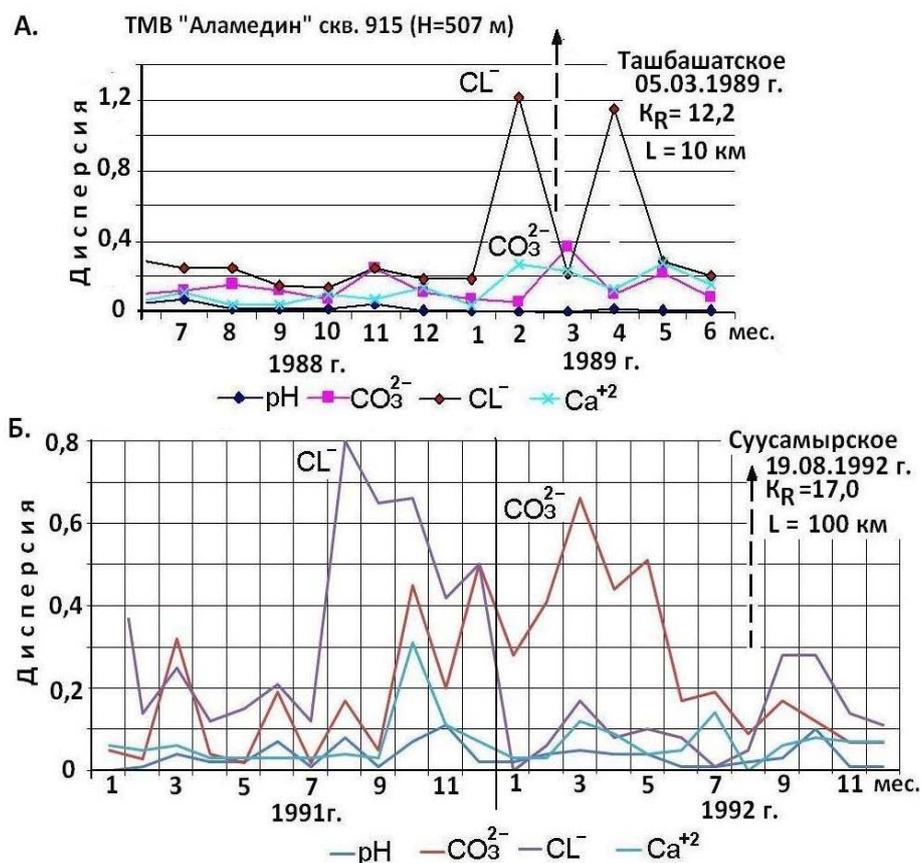


Рис. 1. Графики изменения среднемесячных дисперсий по скв. 915 ТМВ «Аламедин» перед землетрясениями: А- Ташбашатским (05.03.1989) с  $K_R=12.2$  и  $L=10$  км; Б- Суусамырским (19.08.1992) с  $K_R=17$  и  $L=100$  км [4].

По данным работ [1, 2], в скв. 6 ТМВ «Джеты-Огуз» информационная энтропия ( $S$ ) по  $R_n$  в периоды сейсмического затишья характеризовалась нормальным уровнем, т.е. в пределах  $I \pm 0,2$ . За 1-1,5 года до землетрясения с  $K_R \geq 13,0$ , она резко понижалась до 0.1-0.5, а перед событием повышалась до 1.75, т.е. становилась высокоэнтропийной. Аналогичная картина наблюдалась в скв. 915 ТМВ «Аламедин» по  $CL^-$  перед Ташбашатским землетрясением (05.03.1989) с  $K_R=12,2$  при расстоянии до эпицентра 10 км (рис. 2).



Рис. 2. Изменение информационной энтропии ( $S$ ) по  $CL^-$  в скв. 915 ТМВ «Аламедин» перед Ташбашатским землетрясением (05.03.1989) с  $K_R=12,2$  и

Как показывают данные гидрогеохимического опробования, полученные в процессе бурения глубоких скважин на нефть в Северном Тянь-Шане, по вертикали состав газов достаточно устойчив при индифферентности концентрационных уровней по отношению к типам водопунктов (источники, скважины) и стратиграфо-литологическим разностям вмещающих образований, а также к глубинам циркуляции. Например, максимальные концентрации радона зафиксированы по родникам и скважинам ТМВ «Джеты-Огуз», «Аксу» (Теплоключенка), а гелия и аргона - в источниках «Алтын-Арашан», расположенных в восточной части Терской гидрогеологического массива, а также «Барбулак», где они выведены ТМВ из карбоновых образований на побережье Иссык-Кульского артезианского бассейна. Пределы их содержания в Чуйской котловине составляют первые сотые доли мг/л (ТМВ «Аламедин» и «Иссык-Ата»). Это дает основание полагать о существовании их латеральной циркуляции по разломам Северного Тянь-Шаня, которые, проникая в глубокие части земной коры и обладая высокими гидрогеотермическими полями, являются зонами разрядки упругих напряжений, сопровождающейся сильными землетрясениями. Эпицентры сильнейших землетрясений: 9-10- балльных Беловодского 1885 г. и Верненского 1887 г., 10- балльного Чиликского 1889 г. и 10-11- балльного Кеминского 1911 г. приурочены к зонам Северо-Тянь-Шаньского, Кеминского и Кунгейского глубинных разломов, омоложенных в новейшее время.

Наиболее важным сейсмическим событием 2013 года является 8-балльное Сары-Джазское (Кокпакское) землетрясение с  $K_R=15,1$  (рис. 3, 4), произошедшее 28 января в 115 км к СВ от ТМВ «Джеты-Огуз», в зоне Предвосточно-Терской активной разлома северо-восточного простирания. Землетрясение сопровождалось отрицательными, положительными и знакопеременными импульсными вариациями по ряду показателей ТМВ, выходящих за пределы доверительного интервала (рис. 4, 5).

Как видно из рис. 4, восемь скважин, пробуренные вдоль долины р. Джеты-Огуз, вскрыли различные по химическому составу ТМВ, свидетельствующие, с одной стороны, об общности генезиса растворителя  $H_2O$ , а с другой - о сложном наборе источника вещественного состава и неоднородности путей поступления в них элементов. Так, скважиной 20, заложенной на крутом склоне моренной гряды, из глубины 510-520 м (на контакте метаморфических пород с известняками), вскрыта самоизливающаяся хлоридно-сульфатная натриево-кальциевая вода с минерализацией 2,4 г/л, а скважина 6 на глубине 163 м вывела из известняков хлоридную натриево-кальциевую воду с сухим остатком 13,1 г/л, содержащую радон в количестве 1200 эман [5].

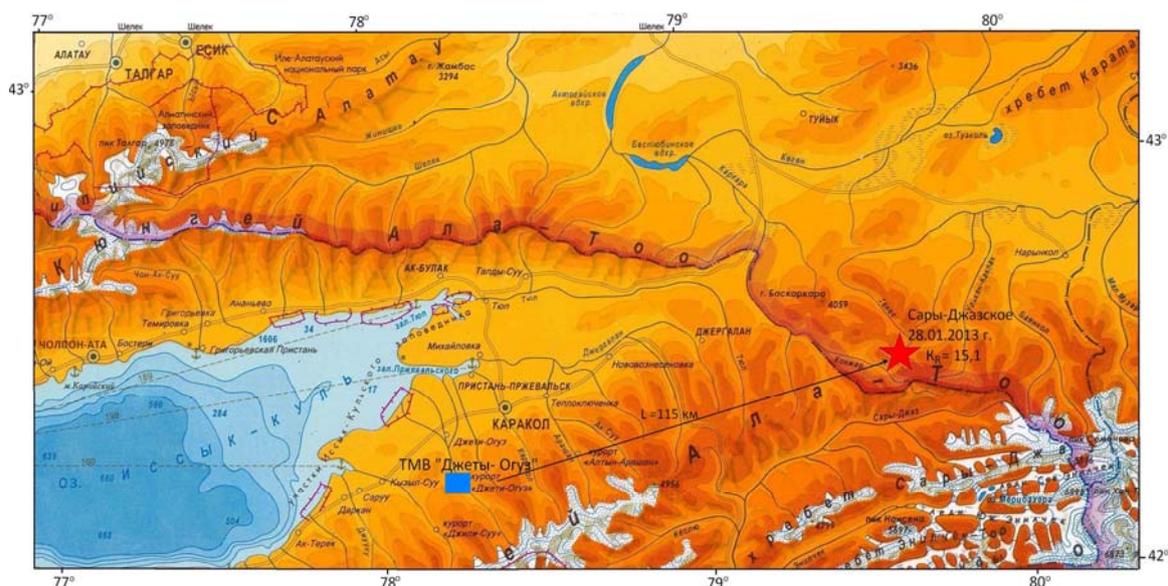


Рис. 3. Обзорная карта расположения эпицентра Сары-Джазского (Кокпакского) землетрясения 2013 г. с  $K_R=15,1$  (красная звездочка) и месторождения ТМВ «Джеты-Огуз» (голубой квадрат).

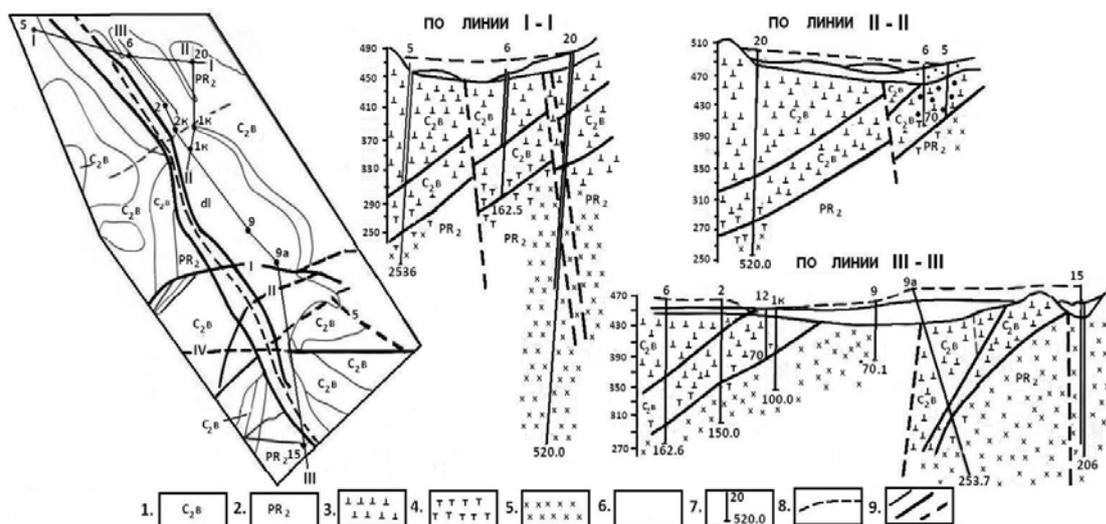


Рис. 4. Геолого-гидрогеологическая схема скважин на ТМВ «Джеты-Огуз» [5]:

1. Песчаники и глинистые сланцы башкирского яруса среднего карбона;
2. Кварциты, слюдяные сланцы, роговики верхнего протерозоя; 3 – 6. Минерализация (г/л) и химический состав вод: 3. Хлоридно натриево-кальциевый с  $M > 10$ , 4. Хлоридно-сульфатный натриево-кальциевый с  $M = 3-5$ , 5. Хлоридно-сульфатный натриево-кальциевый с  $M < 3$ , 6. Гидрокарбонатный кальциевый с  $M < 0,5$ ; 7. Скважины на карте и в разрезе: вверху - номер, внизу - глубина (м); 8. Установившийся

На рис. 5 представлены статистически обработанные временные ряды значений pH,  $T^{\circ}C$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  и  $CO_2$  по скв. 6 и 20 ТМВ «Джеты-Огуз» за период 01.01.2012 - 22.10.2013 г., где четко прослеживается развитие аномалий перед Сары-Джазским (Кокпакским) землетрясением (2013) с  $K_R = 15.1$  и в период его афтершоков.

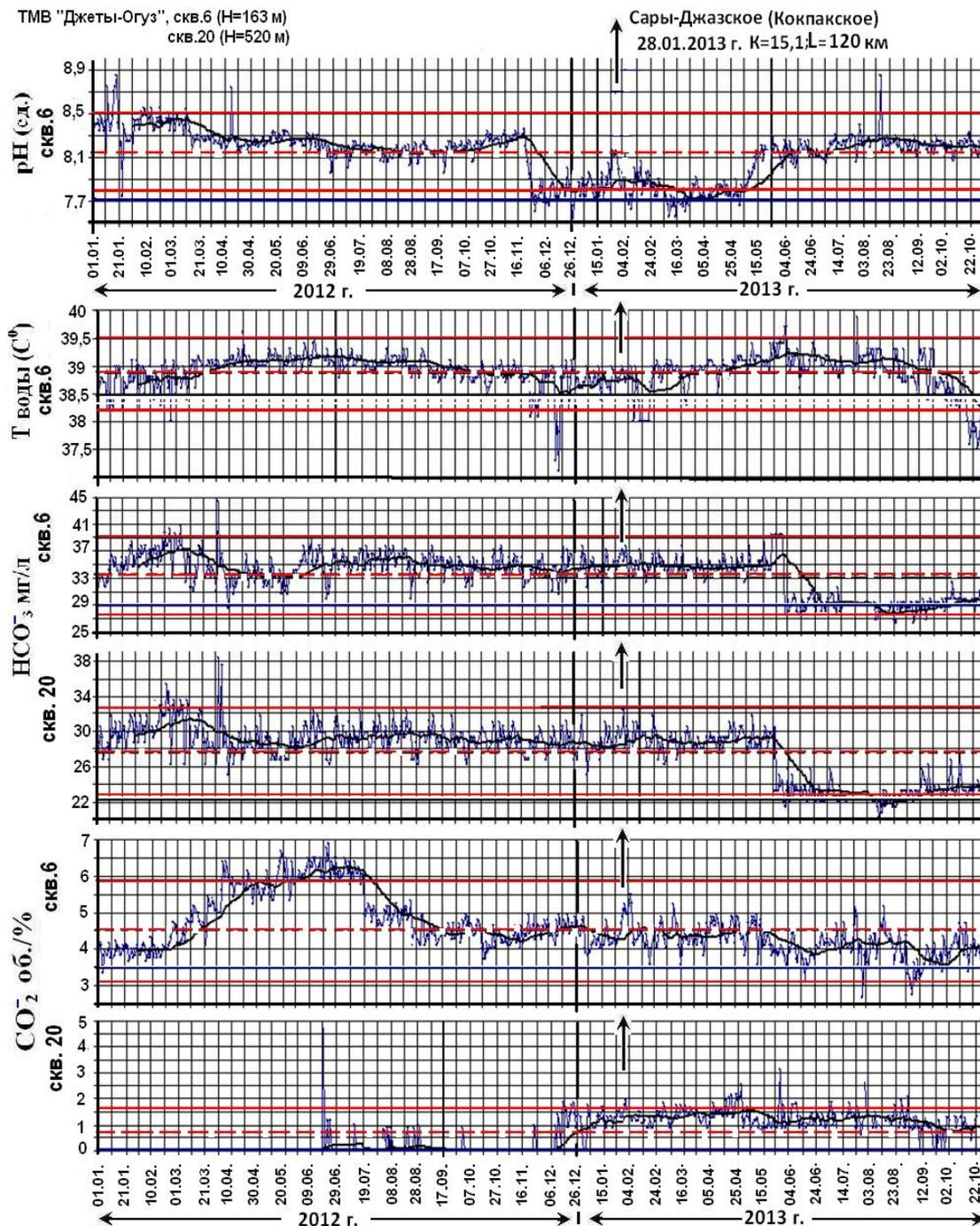


Рис. 5. Вариации значений pH,  $T^{\circ}$ C,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$  по скв. 6 и 20 ТМВ «Джетты-Огуз» перед Сары-Джазским (Кокпацким) землетрясением (2013) с  $K_R=15,1$  и в период его афтершоков. Стрелкой показан момент землетрясения. Доверительный интервал  $\pm 2\sigma$  – красная сплошная линия, среднефоновые значения – пунктирная красная линия.

Из рисунка видно, что аномальные изменения pH,  $T^{\circ}$ C,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_2$  по скв. 6 и 20 ТМВ «Джетты-Огуз», превышающие  $\pm 2\sigma$  или на 5-10% (при точности анализа 1-3%) от среднефоновых значений, проявляются в форме бухт, провалов

и импульсов. При этом, по нашему мнению, важным предвестниковым признаком является противофазный характер дегазации  $\text{CO}_2$ , отмеченный по двум скважинам 6 и 20 в течение 2012 года.

В заключение отметим следующее. Поскольку объекты наблюдений ТМВ в различных геоструктурах отличаются многообразием физико-химических показателей - сложным химическим составом, различной газонасыщенностью и неоднородными гидродинамическими характеристиками, то перед землетрясениями с  $K \geq 13.0$  соответственно проявляется различный набор предвестниковых аномалий, отличающихся формой и длительностью проявления. Количественная оценка временных изменений параметров ТМВ, проведенная с помощью статистических методов, позволяет снимать как внешние, так и внутренние «помехи» и повышает эффективность выделения предвестниковых признаков, связанных с подготовкой сейсмического события.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мамыров Э., Гребенникова В.В., Омуралиев М., Орозокунов О. Геохимические предвестники термальных вод Тянь-Шаня // Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. Москва. 1993.
2. Grebennikova V.V., Mamyrov E., Omuraliev M., Mahankova V.A. and et al. Conformaty to natural laws of great earthquakes displays on the Kyrgyzstan territory, 2000. Abstracts of the Third Meeting of Asian Seismological Commission and simposium on seismology, earthquake hazard assessment and Earth's interior related topics, 10-12 October, 2000. Tehran, I.R. Iran.
3. Абдуллаев А.У. Флюидный режим земной коры как отражение современных геодинамических процессов (на примере Тянь-Шаня). Алматы. 2002.
4. Гребенникова В.В. Гидрогеохимические и гидродинамические исследования с целью прогноза землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня // Тезисы 7-го Казахстанско-Китайского международного симпозиума «Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска Центральной Азии». Алматы. 2010.
5. Кендирбаева Дж.Ж. Особенности формирования химического состава терм хр. Терской Ала-Тоо // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии Кирг. ССР. 1982.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УЛУЧШЕНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ

Мамбетсадыкова А.А.<sup>1</sup>, Иманкулов Б.<sup>2</sup>, Суранова К.Ж.<sup>1</sup>

тел.: 0707 281 413; e-mail: [bmametova@mail.ru](mailto:bmametova@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики  
(ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызстан

<sup>2</sup>Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина  
МОиНKR, г. Бишкек

Чуйская впадина охватывает обширное левобережье р. Чу от Боомского ущелья на востоке до р. Аспара на западе, вытягиваясь в широтном направлении на 200 км, а с севера на юг на 100 км. К западу и северо-западу она открыта, плавно переходя в пустыню Мойын-Кум. Самые низкие отметки – 570-590 м находятся на севере и северо-западе и, наоборот, к югу и юго-востоку достигают 1250 м. Её днище сложено рыхлыми отложениями, представленными преимущественно галечниками с прослоями песков и гравия. Ближе к горам Кыргызского хребта, в зоне предгорного шлейфа они сменяются грубообломочными выносами рек и временных водотоков. Выделяются горный – тектонико-денудационный, предгорный – тектонико-денудационно-аккумулятивный, равнинный – тектонико-аккумулятивный комплексы, для каждого из которых характерна определенная совокупность типов и форм рельефа, придающая в качестве агроландшафта специфическую значимость в хозяйственном освоении (рис. 1).

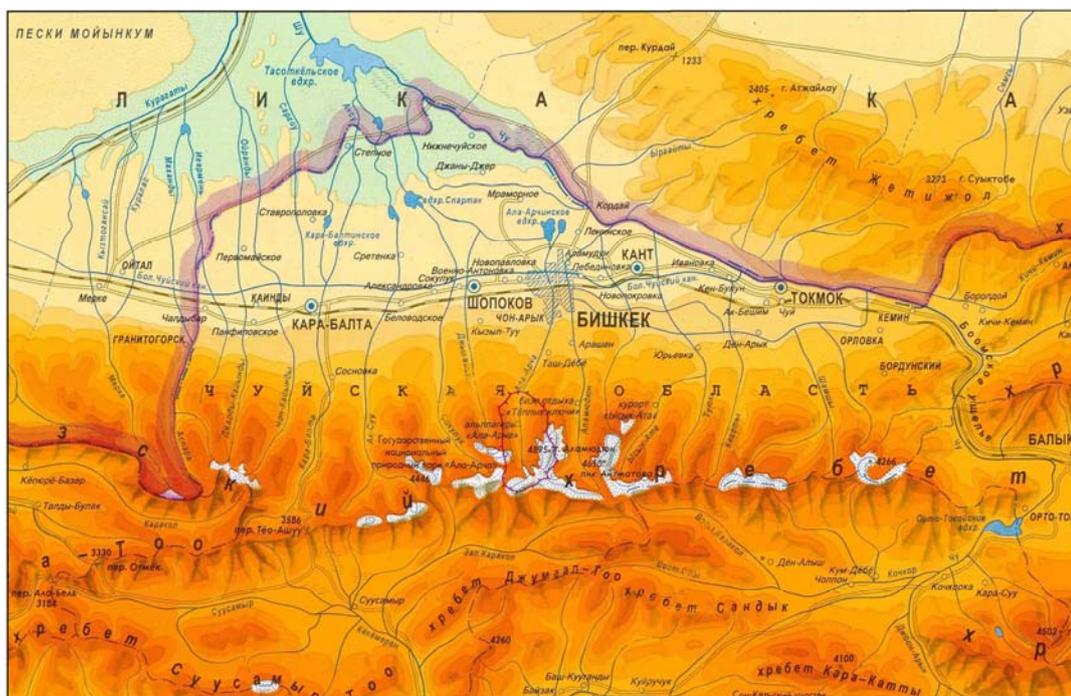


Рис.1. Физико-географическая карта Чуйской впадины и её горного

При этом здесь, несмотря на сложное сочетание равнинных и горных ландшафтов, обусловивших многообразие в использовании земель и форм организации территории, сильно развито земледелие. Земледелие, основанное на ирригационной сети, благодаря которой, с одной стороны, выращивают высокие урожаи сельскохозяйственных культур, а с другой – его ненормированная концентрация в условиях аридного климата привела к ухудшению продуктивности земель и развитию деструктивных процессов. Об этом свидетельствуют уменьшение площадей, ценных в обработке, и сокращение сенокосных полей, а также отвод под промышленные и культурно-бытовые объекты без учета сельскохозяйственной ценности. В результате этого многолетние насаждения размываются на пахотных землях, проявляются процессы эрозии и засоления, осолонцевания и заболачивания почв. Это осложняется еще интенсивным орошаемым земледелием, проводимым без оросительных норм, преобладанием экономического интереса над экологической безопасностью природной среды [1].

Сказанная выше ситуация серьезно подрывает продовольственную безопасность не только региона, но и всего Кыргызстана, в связи с чем поиски путей формирования устойчивости агроландшафтов в техногенных условиях, где находится Чуйская область – весьма актуальная проблема. Ведь устойчивость ландшафта – это его способность сохранять структуру и функции под внешним воздействием, а почвы – это связующее звено абиотических и биотических процессов, регулирующее массоперенос элементов.

Исходя из этого, рациональное решение поставленной задачи предполагает ясность в теоретико-методологических основах управления процессами использования ландшафта, например переход от стихийных экологических законов к научно обоснованной системе оптимизации агроландшафтов как главного условия повышения продуктивности почв и безопасности в сельском хозяйстве. Для этого методологической основой послужили лабораторно-полевые работы и сравнительный анализ для научной оценки уровня изученности проблемы и разработки оптимальных способов улучшения качества агроландшафтов. Использованы сведения по литературным источникам и фондовым материалам [2-4] с дополнением результатами собственных наблюдений.

Вместе с тем реки данной впадины, являясь неотъемлемыми элементами горного ландшафта, представляют наибольший интерес в орошаемом земледелии, поскольку с их помощью осуществляется освоение новых агроландшафтов и расширение использования водных ресурсов, строительство дорог и водохранилищ. Именно при участии водных потоков происходят сели, обвалы, оползни, камнепады, снежные лавины и наводнения, в связи с чем ниже

охарактеризованы особенности рек в трансформации непродуктивных агроландшафтов в сельскохозяйственные (табл.).

Таблица. Гидрографическая характеристика Чуйской впадины

№	Название рек	Длина, км	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Средний расход, м <sup>3</sup> /сек.	Максимальный расход, м <sup>3</sup> /сек.	Минимальный расход, м <sup>3</sup> /сек.
1	Ала-Арча	78	27	4,17	20,1	0,94
2	Аламюдюн	77	317	6,36	28,9	0,88
3	Ысык-Ата	81	558	7,06	27,3	0,98
4.	Кегеты	55	290	2,34	13,8	0,56
5	Шамшы	58	457	5,68	29,4	1,13
6	Сокулук	87	353	5,14	23,7	0,93
7	Ак-Суу '	145	426	5,98	19,8	0,95
8	Кара-Балта	132	577	5,26	21,5	1,07
9	Аспара	108	1210	3,13	31,6	1,02
10	Чон-Кемин	116	1890	35,6	81,7	7,18
11	Кичи-Кемин	81	514	2,10	9,63	0,46
12	Туюк	27	177	2,36	10,2	0,21
13	Джыламыш	41	153	1,28	4,54	0,40
14	Чон-Кайынды	30	167	1,81	7,69	0,35

Для р. Чу характерны два периода подъемов уровня воды, причем, по данным гидропоста Джел-Арык, её средний многолетний расход в самой долине составляет 53,5 м<sup>3</sup>/сек, максимальный равен 210 м<sup>3</sup>/сек, минимальный – 4,3 м<sup>3</sup>/сек при наименьшем – 45,3 м<sup>3</sup>/сек, зарегистрированном в 1946 году, и наибольшем 65,5 м<sup>3</sup>/сек, отмеченном в 1934 году. Её воды используются для орошения всей равнинной части через магистральные каналы. Основную роль в ирригации

агрорландшафтов играют реки, представляющие типичные горные водотоки с бурным течением. Это *р. Кичи-Кемин*, берущая начало со склона Заилийского хребта и не доходящая до р. Чу, т.к. полностью разбирается на орошение. Её длина составляет 81 км, площадь водосборного бассейна- 514 км<sup>2</sup> при среднегодовом расходе 2,10, максимальном – 9,63 (июль) и минимальном – 0,46 м<sup>3</sup>/сек (февраль). Река *Ала-Арча*, образуемая из рр. Джинди-Суу, Топ-Карагай, Теке-Тор, Аксай и Адыгене, которая лишь в многоводье доходит до р. Чу. На ней построено одноименное водохранилище, из которого выведены множество оросительных каналов, орошающие обширные земли долины. Самой длинной рекой (132 км) является *р. Кара-Балта*, при выходе из гор от которой отведены каналы, а в нижней части сооружено водохранилище.

Кроме них имеются «*карасучные*» притоки, образующиеся у окончания конусов выноса и вдоль самой реки, начиная от г. Токмок: ниже линии выхода грунтовых вод впадина изрезана логами, несущими «карасучные» воды со спокойным течением и болотистыми берегами. Они частично разбираются на орошение, меньшая часть впадает в р. Чу. Так, самая большая – р. Красная длиной 50 км с годовым расходом 2,5-3,5 м<sup>3</sup>/сек.

Подземные воды также используются для орошения, а за счет повышенной минерализации ниже карасуков в отдельных местах происходит засоление почв.

Как видно из рис.1, на стоках р. Чу и её притоков сооружены Чемючское, Тасаткельское и Ала-Арчинское водохранилища, а также множество прудов, в т.ч. 8 каскадов ГЭС, входящие в энергетическую систему г. Бишкек. От них ответвляется система ирригационных каналов- Боролдойский, Атбашинский, БЧК и Краснореченский, но пропускная способность большинства снизилась, ввиду заиления и разрушения стенок, заложенных в лессовидных суглинках. В качестве примера можно привести сложившуюся ситуацию во всех районах Чуйской области в 1980 г., когда повсеместно выращивалась сахарная свекла, требующая обильного полива, но в конечном итоге огромные территории были заражены нематодами, а почвы засолены и осолонцеваны. Причиной этого является упрощение агроландшафтов, т.е. из-за преобладания монокультуры при отсутствии научно обоснованных подходов снизилась урожайность до минимума, потянув за собой прекращение её выращивания по Чуйской области.

Концепция оценки воздействия способов орошения на агроландшафты представляет собой систему, выявляющую естественные и количественные показатели технико-биологических факторов, взаимоувязанные между собой и природной средой, которые, образуя свойства, позволяют определить экологическую безопасность и предложить рекомендации по улучшению качества агроландшафтов [5-7]. Поэтому необходимо учесть предел допустимого упрощения агроландшафта, определяемый оптимальным сочетанием хозяйственно-технологических свойств территории и её значимых компонентов,

с одной стороны, это агроценозы, а, с другой – леса и луга, кустарники и водно-болотные угодья (рис. 2).

В этой связи инновационные способы орошения для оптимизации устойчивости агроландшафтов заключаются в следующем: это защита почв от эрозии организационно-хозяйственными, агротехническими, лесомелиоративными и гидротехническими мероприятиями. Первое предусматривает обоснование и составление противоэрозионных мероприятий с обеспечением его выполнения.

Важное место занимают почвенная карта и картограмма эродированных почв, на основе их обобщения с учетом специализации хозяйства составляется план оптимальной организации территории, где предусматривается конкретное осуществление указанной выше системы и деление земель хозяйства на категории по интенсивности водной и ветровой эрозии: севообороты с чередованием полос однолетних растений с многолетними травами. К их числу относится также улучшение физических свойств почвы путем применения искусственных структурообразователей.

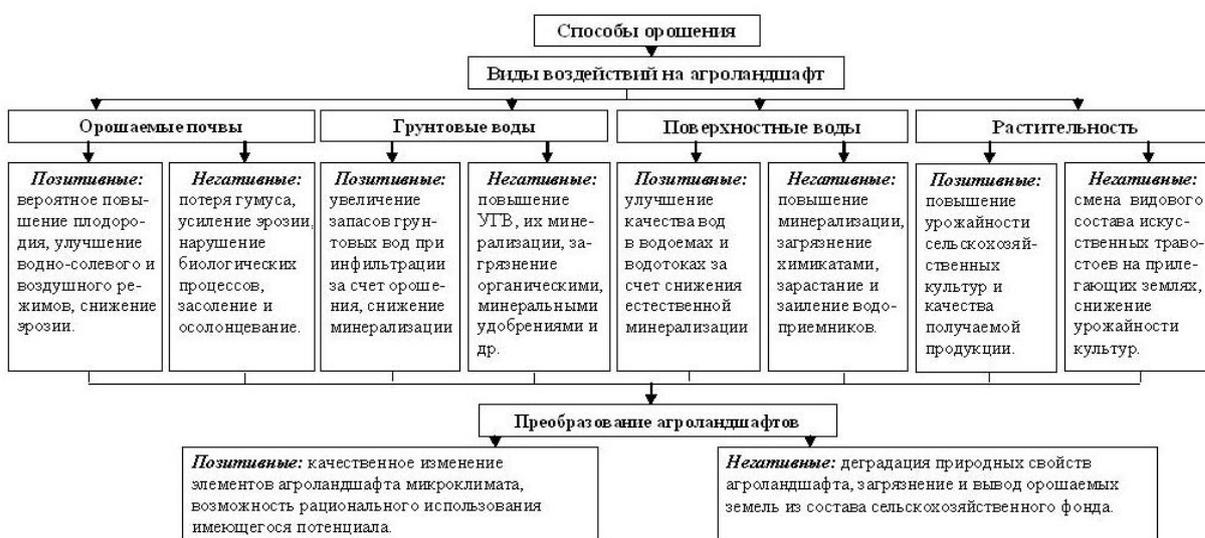


Рис. 2. Основные виды воздействий способов орошения на агроландшафты.

Важное место занимают почвенная карта и картограмма эродированных почв, на основе их обобщения с учетом специализации хозяйства составляется план оптимальной организации территории, где предусматривается конкретное осуществление указанной выше системы и деление земель хозяйства на категории по интенсивности водной и ветровой эрозии: севообороты с чередованием полос однолетних растений с многолетними травами. К их числу относится также улучшение физических свойств почвы путем применения искусственных структурообразователей.

Лесомелиоративные мероприятия включают создание лесных защитных насаждений, а гидротехнические применяют тогда, когда другие приемы не срабатывают. Это гидротехнические сооружения, обеспечивающие задержание и регулирование склонового стока – поделка террас с широкими основаниями, валов и канав, различных вершинных сооружений (лотков, водотоков), останавливающих дальнейший рост оврагов, донные сооружения по руслам и днищам оврагов и ложбин, устройство лиманов и террас, выполаживание откосов в оврагах.

При этом система предлагаемых мероприятий осуществляется с учетом зональных особенностей земледелия и природных условий региона. Их конкретный состав, прежде всего, опирается на особенностях увлажнения территории и продолжительности вегетационного периода, условия рельефа и использования почв.

Органические и минеральные удобрения как культурные растения развивают мощную корневую систему и густую надземную часть, улучшают физические свойства почв. Они и процессы их трансформации играют значительную роль в формировании почвы и её важнейших свойств, принимают участие в питании растений и миграции элементов в биосфере, а сокращение поступления солей достигается комплексом мелиораций, включающих регулирование водно-солевого режима, снижением мощности грунтовой толщи, оптимизацией полива с учетом оросительных норм.

*Осушение дренажем* вызывает усиление промывного водного режима и, как следствие, повышение кислотности и уменьшение насыщенности основаниями, усиление вымывания органического вещества и его дисперсности.

*Известкование* – в условиях интенсивного земледелия при высокой нагрузке удобрениями, особенно азотными, значительно снижается рН почвы.

Процессы трансформации органического вещества и почвы лежат в основе биохимического круговорота всех биогенных элементов.

Таким образом, необходимо регулярно проводить гидромелиоративные мероприятия с учетом почвозащитных и агротехнических приемов, строительство и переустройство коллекторно-дренажной сети, промывка засоленных и солонцеватых почв. Исключить отвод пахотно-пригодных земель и сенокосных площадей для несельскохозяйственного использования. Кроме того, повышать плодородие почв и включать в сельскохозяйственный оборот непродуктивных земель, если даже затраты будут экономически не выгодными, поскольку экологически являются оправданными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев З.А., Байгуттиев С.Б., Ниязов Т.З., Усубалиева С.Ж. Чуйская долина. Бишкек. 2002.
2. Национальный доклад о состоянии окружающей среды. Бишкек. 2002.
3. Демина Т.А. Экология, природопользование, охрана окружающей среды. М. 1995.
4. Суеркулов К.С. Современное состояние экологии Кыргызстана. Бишкек. 1997.
5. Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. М. 1998.

6. Энциклопедия «Чуйская область». 1994 .

7. Экология и безопасность жизнедеятельности. Под ред. член-корр. РЭА Л.А. Муравья. М. 2000.

## СОЗДАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В КОЧКОРСКОЙ ВПАДИНЕ

Маметова Б.К.<sup>1</sup>, Иманкулов Б.<sup>2</sup>, Кендирбаева Дж.Ж.<sup>1</sup>, Гребенникова В.В.<sup>1</sup>  
тел. 0707 281 413; e-mail: [bmametova@mail.ru](mailto:bmametova@mail.ru)

<sup>1</sup>Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), г. Бишкек, Кыргызстан

<sup>2</sup>Кыргызский национальный аграрный университет им. К.И. Скрябина МОиНКР, г. Бишкек

В административном отношении Кочкорский район образован в 1930 году, граничит на западе с Джумгалским, на юге- с Нарынским, на востоке и северовостоке- с Тонским, а на севере- Чуйским районами. Он с давних пор служит объектом исследований, прежде всего за счет богатой природы, получил всестороннее освещение в трудах географов и климатологов, гидрологов и геологов, почвоведов и химиков. В результате этого, с учетом вклада горнопроходческих работ, проведенных при добыче кормовой соли, к настоящему времени сложилось достаточно объективное представление о природных условиях Кочкорской впадины: наиболее важным является сухость воздуха со среднегодовой влажностью 50-60%, малоснежная зима при годовой сумме осадков 150 - 350 мм и устойчивой температуре воздуха в межсезонье.

Согласно работам [1, 2], рассматриваемая впадина по особенностям рельефа разделяется на три части: первая – долина р. Кочкор, вторая – долина р.

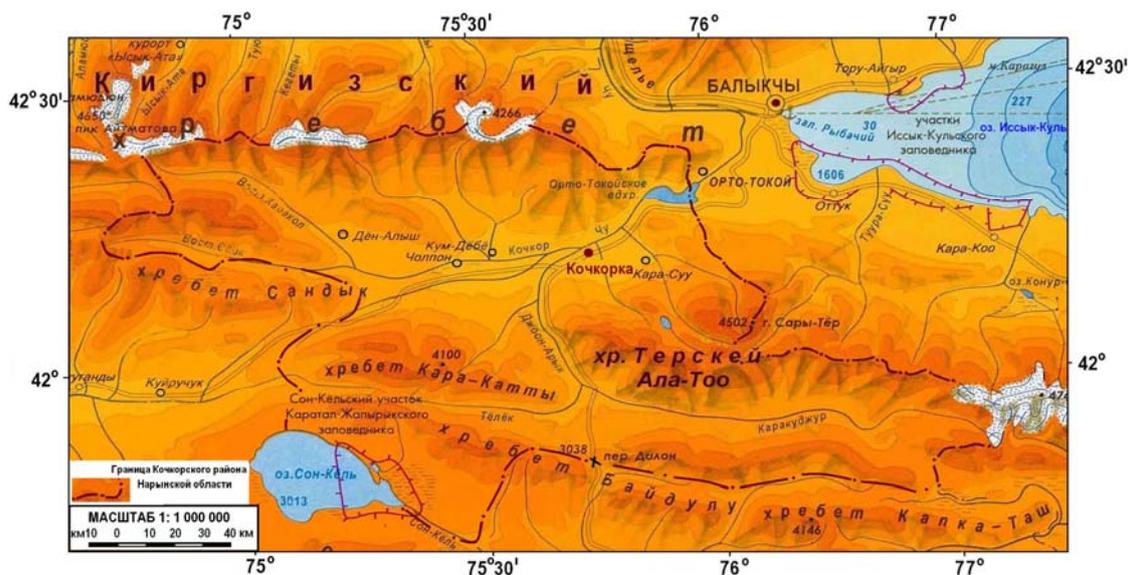


Рис. 1. Обзорная карта Кочкорского района Нарынской

Каракуджур и третья – высокогорная долина по северному берегу оз. Сонкуль, в

пределах каждой из которых имеются межгорный, равнинный, низкогорный и горный комплексы рельефа (рис. 1).

Низкогорье распространено в южной части в виде холмистых гряд, представляющих собой по своему облику «дурные земли», с двумя вытянутыми в широтном направлении полосами из дислоцированных кайнозойских пород с местным названием «чапы». Аккумулятивные равнины расположены на высоте 1800-2200 м над уровнем моря и тянутся приблизительно на 55 км: русло, пойма и надпойменные террасы представлены полосой шириной 10-12 км и ограничены уступом предгорной равнины или низкогорным рельефом. Их рельеф неровный и расчленен притоками рр. Жоон-Арык и Кочкор до глубины 15-25 м, а холмы Ак-Чак, Айгыр-Жал и Ак-Учук расположены в центральной части окружающей гряды. Горный комплекс рельефа развит на склонах хребтов высотой выше 3500-4000 м, представлен высокогорной нивально-гляциальной зоной и покрыт небольшими долинными ледниками и снежниками на острых вершинах с отметками более 3000 м.

Основным направлением хозяйственной деятельности является животноводство и земледелие. В соответствии со статистическими данными по данному региону, социально-экономические факторы развития региона ориентированы на производстве тонкорунной шерсти и продукции из баранины. Так, общая площадь земель района составляет 640,71 тыс. га, из которых 99,26 тыс. га используются другими районами. При этом рассматриваемый район по своим особенностям почвообразования является близким аналогом Западного Прииссыккуля за счет серо-бурых каменистых, светло-бурых разностей, т.е. переходных к северным сероземам, а также светло- и темно-каштановых горно-лугово-степных, субальпийских и горно-лугово-степных дерновых полуторфянистых почв. На них нередко фиксируется водная и ветровая эрозия, среди первой преобладают ирригационный, плоскостной и смешанный виды, которые проявляются в зависимости не только от геоморфологических условий, но и от приемов хозяйствования. Так, в предгорьях и на пологих равнинах проявляются струйчатые разливы, что (при большой скорости процесса) приводит к размыву почвы до глубины от 2-3 до 20-30 см с уничтожением мелкоземистых частиц за один полив с 1 га до 15-20 тонн. [3, 4].

Исходя из вышеприведенного материала, мы в этой работе особое значение придаем экологическому туризму, поскольку полноценный отдых горожан серьезно осложнен ростом крупных мегаполисов, из-за которых они в поисках лучших условий устремляются в отдаленные, но благоприятные по природно-климатическим условиям зоны, а также в места, где возможно комплексирование духовных и физических сил. Для полного удовлетворения такого спроса в качестве трудовых ресурсов выступают местные жители, которые, вернувшись из городов, организуют крестьянско-фермерские хозяйства, позволяющие удовлетворять потребности крупных туристических предприятий в экологически чистой продукции.

С учетом этого, для первоочередного рекреационного освоения представляет интерес **долина р. Кол-Уюк**, расположенная в юго-восточной зоне, где по полноводной и бурлящей реке, берущей начало с ледников хр. Тескей Ала-Тоо, можно проводить спортивные соревнования любого уровня, тем более в ее средней части, на высоте 3048 м, находится проточное озеро длиной 2,7 км при ширине 0,4-0,6 км, соответствующее, при абсолютной прозрачности, по химическому составу талым водам.

**Ветер** – один из главных показателей климатических условий района исследований, который благодаря широтному простиранию котловины имеет западные и восточные направления. Ветры дуют со средней скоростью 4-5 м/сек (табл. 1). Они напоминают ветры «бора», но гораздо более слабой силы. Господствующим является «кызартский» ветер, дующий в течение года со стороны одноименного перевала и достигающий наибольшей скорости в период вторжения западных воздушных масс.

Таблица 1. Среднемесячные и годовые скорости ветра по данным метеостанции «Кочкорка» (м/сек).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год, ср.
17,1	11,8	12,3	12,4	2,3	2,0	1,7	1,6	2,0	11,8	9,9	16,3	7,15

В течение одного года, т.е. когда ветры дуют со скоростью 17 м/сек, около 40 дней являются ветреными. При этом зимний и весенний ветер сдувает снег и способствует сильному снижению температуры воздуха. Первый иссушает почву и производит ветровую эрозию, поднимает с земли пыль и развеивает глинистые отложения предгорий, образуя различные формы дефляции. С другой стороны, эти факты свидетельствуют о том, что в данном регионе имеются реальные возможности использования силы ветров в качестве альтернативных источников по получению энергии в количестве, удовлетворяющем функционированию перерабатывающих сельскохозяйственные культуры предприятий (мельницы, мясокомбинаты, пищевые предприятия в каждом селе).

В то же время любой регион в условиях рыночной экономики должен максимально использовать свои возможности в освоении местных ресурсов для решения задач не только сельского хозяйства, но и промышленности и оздоровительно-туристических учреждений, т.к. именно последние составляют основу социально-экономического процветания общества. Поэтому здесь, наряду с традиционными видами хозяйствования – животноводством и земледелием, курортное хозяйство, туризм и услуги в этих освоениях имеют решающее значение благодаря таким уникальным местам, как долина р. Кол-Укок, оз. Сон-Кель, высокогорная долина р. Каракуджур, особенно отработанная соляная шахта Чон-Туз. Это обусловлено тем, что для устойчивого развития сельской местности необходим поиск новых областей применения местных ресурсов и получение на их основе конкурентоспособной продукции.

Именно на таком двойственном союзе - наименьшем расходе сырья в сочетании с энерго- и ресурсосберегающими технологиями- базируется решение поставленных задач. Положительные результаты экспериментальных испытаний композиционных смесей, полученных из каменной соли «Чон-Туз» [5, 6], позволяют рекомендовать их производство. К тому же необходимо привлечение отработанной шахты «Чон-Туз» в качестве спелеолечебницы для приема больных с заболеваниями органов дыхания.

**Сандыкское месторождение нефелиновых сиенитов** – алюминиевое сырье с суммарным запасом 1036 млн. тонн находится на абсолютной высоте 2800-3600 м в горных массивах рассматриваемого региона. По данным технологического анализа они имеют следующий химический состав: Al – 19,7%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4%, CaO – 2,58% и K<sub>2</sub>O – 9,51%. На участке Чечекти после

предварительной разведки (1961 г.) его запасы составляют 732 млн. тонн, а глинозема – 147 млн. тонн при среднем его содержании 20,11% в разрезе. На участках Кумбель и Сандыксу, по данным поисковых работ, находятся 187 и 117 млн. тонн сырья при среднем содержании глинозема 19,16% и 17,81% соответственно. Они могут разрабатываться открытым способом до глубины 150 м.

**Минералы месторождения каменной соли Чон-Туз**, по данным [7], представлены галитом, глауберитом, тенардитом, мирабилитом, гипсом и ангидритом, которые имеют широкий спектр практического применения, в т.ч. в медицине. Галит встречается в виде неправильных залежей, сильно раздроблен, причем штокообразные массы вытянуты в вертикальном направлении, лишь в некоторых случаях имеют глыбовый характер. Мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) на поверхности земли и в штольне представлен зернистыми агрегатами. Генетически он является продуктом выветривания тенардита и в нем содержатся около 90% сульфата натрия и около 0,5% – нерастворимого в воде остатка. Глауберит ( $\text{CaNa}_2(\text{SO}_4)_2$ ) присутствует в виде кристаллов, за исключением зоны поверхностного выветривания, где он разложен на гипс и мирабилит. В его составе из штольни обнаружено содержание  $\text{CaNa}_2(\text{SO}_4)_2$  до 98,87%, примесей галита до 0,3%, карбоната кальция около 0,14%, а также окисла 0,02% и нерастворимого остатка 0,11%. Данные спектрального анализа показали, что в кристалле глауберита, помимо кальция и натрия, присутствуют медь, титан (следы), марганец (слабые линии), железо (средние линии), кремнезем, магний и стронций (сильные линии). В действующей спелеолечебнице он встречен в конце (проба № 7) и в средней части галереи № 3 (проба № 5).

Тенардит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) встречается, главным образом, в новых выработках и в старой камере в виде крупно- и мелкокристаллических образований при сероватой, желтоватой и дымчатой окраске. Химический анализ тенардита показал, что содержание сульфата натрия колеблется от 94,6 до 99,76%, а в виде примесей присутствуют хлорид натрия от 0,24 до 4,56% и сульфат магния – до десятых долей.

Углубленные исследования в отработанной шахте «Чон-Туз» проводились в соответствии с требованиями Минздрава КР (табл. 2), причем результаты, полученные на поверхности земли, сопоставимы с теми, что получены в подземном пространстве. Методической основой обработки является системный подход, основанный на ранжировании свойств по уровням иерархии, поскольку имеющиеся функция, структура, цель и направление действия позволяют рассматривать шахту как открытую систему, включающую четыре взаимосвязанных этапа.

Таблица 2. Регламентированные параметры воздуха в шахте для применения в медицине.

Наименование параметров	Норма
<b>Поверхностные пещеры:</b> годовая температура	+10±2°C
<b>Подземные пещеры</b> скорость движения	Макс. 15 м/с
относительная влажность	95-100%
годовая температура	+10±2°C
годовая амплитуда колебания температуры	до 1°C
количество отрицательных аэроионов	более 1,5*10 <sup>4</sup> см <sup>3</sup>
количество механических частиц	менее 20 шт./см <sup>3</sup>
содержание СО <sub>2</sub>	до 1,5 об. %
концентрации в аэрозоле воздуха:	
Са <sup>2+</sup>	до 8 мг/г
Mg <sup>2+</sup>	до 0,1 мг/г
NO <sub>2</sub> -	менее 0,1 мг/л
HN <sub>4</sub> <sup>+</sup>	менее 0,3 мг/л
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	до 1,0 мг/л
pH аэрозоля	от 4,0- 4,5

Обследовано географическое положение, климатические и гидрогеологические параметры района шахты «Чон-Туз». Пригодность ее подземного пространства для использования в медицине оценена по данным измерений интенсивности, влажности, температуры и теплоемкости воздуха, по результатам геокартирования, свидетельствующим о наличии горизонтальной и вертикальной циркуляции воды, включая данные о радиоактивности, ионизации и запыленности воздуха, а также о химическом составе воздуха и отложений, слагающих шахту. Длительность опытных работ составила 30 дней, в течение которых были проведены:

- наблюдения за режимом водотоков в шахте, в результате чего выявлена их роль в формировании аэрозолей и водно-газообразных компонентов, а проницаемость перекрывающих пород служит фактором, контролирующим вертикальный переток вод и масштаб образования солевых натеков, тогда как капающая вода рассматривается как источник диспергированной фазы аэрозоля из ионов натрия и калия;
- замеры аэроионизации шахтного воздуха в естественном состоянии и при включенной вентиляции (табл.3), по которым видно, что для шахты свойственны их низкие значения, свидетельствующие, прежде всего, о чистоте воздуха в ней. В то же время получены интересные данные по характеристике штольни при вентиляционном режиме, рассчитанной для оптимизации частоты и скорости воздухообмена в ней. Так, выявлено, что аэроионизация воздуха в непроветриваемой части штольни колеблется от 4,5 до 5 тысяч ионов в см<sup>8</sup> воздуха, но через 45 мин после включения принудительной вентиляции концентрация отрицательных ионов повысилась до 10 тысяч, т.е. до аналогичной величины, зафиксированной [8] в бывшем очистном забое.

Замерами с помощью радиометра СРП-42 содержания радона как показателя радиоактивности воздуха доказано, что в подземном пространстве фон по этому параметру гораздо ниже, чем на поверхности земли, что

благоприятствует использованию шахт в медицинских целях.

Таблица 3. Данные замеров аэроионизации шахтного воздуха

Точки замеров	1	2	3	4	5	6
n <sup>-</sup>	740	857	769	1538	2142	2222
n <sup>+</sup>	405	500	952	1328	2608	1666
K= $\frac{n^-}{n^+}$	0,54	0,58	1,23	0,86	1,21	1,08

Завершая характеристику природных условий Кочкорской впадины и основываясь на полученных результатах, направленных на создание потенциала ее социально-экономического развития, мы пришли к заключению, что развитие курортного хозяйства, туризма и услуг имеют решающее значение в долине р. Кол-Укок, оз. Сон-Кель, высокогорной долине р. Кара-Кужур, и особенно важно использование отработанной соляной шахты «Чон-Туз». На основании результатов работ, проведенных по оценке качества ионизированного воздуха, рекомендовано строительство спелеолечебницы в двух галереях заброшенной солеразработки, расположенных вблизи накопителя и очистного забоя. Определяющими показателями служат повышенное содержание легких отрицательных ионов, а также наибольшая концентрация чистого хлорида натрия.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алиев З.А., Орозалиев С. Кочкоророону. Фрунзе. 1976.
2. Атлас Киргизской ССР. Т. 1. Москва. 1987.
3. Земельно-водные ресурсы, гидрологическая характеристика рек и паспорта водозаборных узлов оросительных систем Нарынского региона. Ч. 2. Фрунзе. 1990.
4. Сельскохозяйственная экология. Москва. 2000.
5. Батырчаев И.Е., Коверга Н.И. Природные соли Киргизии и их использование // Известия АН Киргизской ССР. Серия физико-техническая. Фрунзе. 1976.
6. Иманкулов Б.И. Минеральные лечебные ресурсы Кыргызской Республики. Бишкек. 2002.
7. Осмонбетов К.О. Соляные богатства Кыргызстана. Бишкек. 1993.
8. Ибрагимов А.А. Естественная аэроионизация в горной местности и подземных пещерах Киргизии. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. Фрунзе. № 5. 1985.

## РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СБОРА СТАТИСТИКИ СЕТЕВЫХ ИТЕРФЕЙСОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Волкова Т.Л.

тел.: 0312 521 435; e-mail: [volf-gir192@mail.ru](mailto:volf-gir192@mail.ru)

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики  
(ИС НАН КР), г.Бишкек, Кыргызстан

В настоящее время одной из актуальных научных задач является анализ (дальнейшее прогнозирование) самоподобной структуры трафика в современных мультисервисных сетях. Для решения этой задачи необходим сбор и последующий анализ разнообразной статистики (скорость, объемы переданных данных и т.д.) в действующих сетях. Автором, на основе анализа набора дополнительных параметров и настроек, разработан новый программный код, который собирает информацию о сетевых адаптерах персонального компьютера. Сетевой адаптер представляет собой периферийное устройство компьютера, непосредственно взаимодействующее со средой передачи данных, которая прямо или через другое коммуникационное оборудование вызывает его с другого компьютера. Он решает задачи обмена двоичными данными, представленными соответствующими электромагнитными сигналами, по внешним линиям связи и работает под управлением драйвера операционной системы. Распределение функций между сетевым адаптером и драйвером может изменяться от реализации к реализации с выполнением следующих функций: 1- оформление передаваемой информации в виде кадра; 2- получение доступа к среде передачи данных; 3- кодирование последовательности бит-кадра последовательностью электрических сигналов при передаче данных и декодирование при их приеме; 4- преобразование информации из параллельной формы в последовательную и обратно; 5- синхронизация битов, байтов и кадров [1].

*Сетевые интерфейсы в сети и получение их IP- адресов.* Известно, что от сетевого интерфейса можно получить список IP-адресов, которые присваиваются ему. Наиболее распространенный способ для получения списка - это использовать API функции операционной системы. Однако есть нюансы. Операционных систем много, и Windows всего лишь одна из них. Есть еще и так называемое семейство \*nix-подобных систем, к которым относится Linux, MacOS и еще множество других. Поэтому при написании кода автором учтены все нюансы и программный код был реализован как под семейство \*nix-подобных систем, так и под Windows. В \*nix-подобных системах для получения списка сетевых интерфейсов используется системный вызов ioctl, а в Windows - служит WSAIoctl. В C++ существует директива условной компиляции #ifdef, которая позволяет управлять тем, что мы включим в код, а что нет. Перед компиляцией выполняется специальный проход - препроцессинг, который определяет, что подавать компилятору на обработку, а что отбросить или преобразовать. Перед компиляцией происходит проверка того, в какой операционной системе мы работаем, а затем выполняются соответствующие действия [2], [3]:

```
#ifdef WIN32 || WIN64
    #pragma comment (lib, "ws2_32.lib")
    #include <winsock2.h>
#else
    #include <sys/types.h>
```

```

#include <netinet/in.h>
#include <sys/socket.h>
#include <sys/ioctl.h>
#include <arpa/inet.h>
#include <net/if.h>
#endif

```

В новом коде показан пример директивы условной компиляции `#ifdef`. На этом примере видно, что перед началом работы программа делает проверку - с какой операционной средой она работает, а затем подключает соответствующие библиотеки. Затем программа начинает выборку действий из программы по тому же примеру. Далее приступает к поиску сетевых адаптеров и считывания с них IP-адресов, что можно увидеть из следующей части программы [4].

```

for (int i = 0; i <= indx && i < list->iAddressCount; ++i){
//нашли адрес
if(i == indx){
memcpy(addr,
&list->Address[i].IpSockaddr->sa_data [2],4);
return (1);
}
}
}

```

Полученные IP-адреса сохраняются в список и затем выводятся в консольном приложении (рис.1).

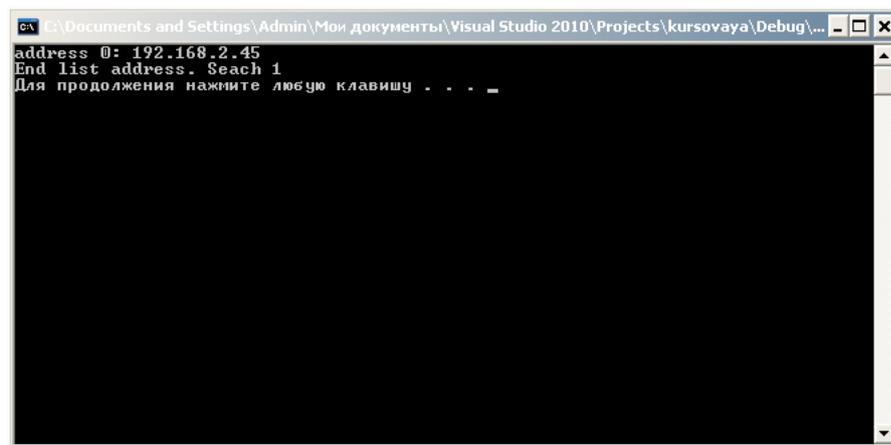


Рис. 1. Результат работы программы.

Автором, также были рассмотрены около десяти программ-анализаторов трафика (снифферы) и более десятка программ для мониторинга сетевого трафика. Из них наиболее интересны четыре: VMExtreme (Bandwidth Monitor) имеет три версии (рис. 2); BWMeter (рис. 3), Bandwidth Monitor Pro (рис. 4) и DUTraffic (рис. 5). Основные характеристики программ для мониторинга сетевого трафика даны в таблице 1.

Рассмотрена также система мониторинга Cacti (рис. 6) - open-source веб-приложение (соответственно отсутствует установочный файл), которая собирает статистические данные за определённые временные интервалы и позволяет отобразить их в графическом виде. Система позволяет строить графики при помощи RRDtool. Преимущественно используются стандартные шаблоны для отображения статистики по загрузке процессора, выделению оперативной памяти,

количеству запущенных процессов, использованию входящего/исходящего трафика. Интерфейс отображения статистики, собранной с сетевых устройств, представлен в виде дерева, структура которого задается самим пользователем. Как правило, графики группируют по определенным критериям, причем один и тот же график может присутствовать в разных ветвях дерева (например, трафик через сетевой интерфейс сервера - в той, которая посвящена общей картине интернет-трафика компании, и в ветви с параметрами данного устройства). Есть вариант просмотра заранее составленного набора графиков, и есть режим предпросмотра. Каждый из графиков можно рассмотреть отдельно, при этом он будет представлен за последние день, неделю, месяц и год.

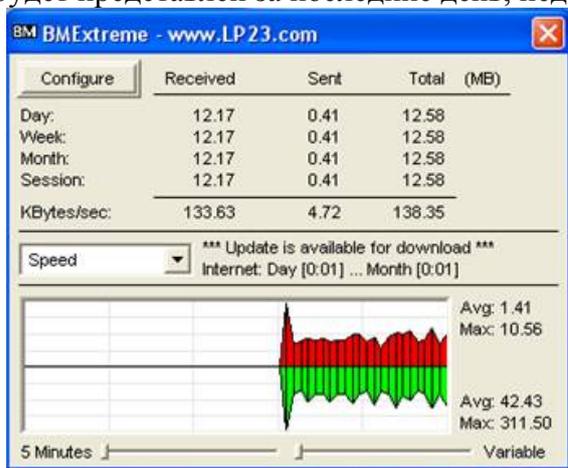


Рис. 2. Программа VMExtreme.

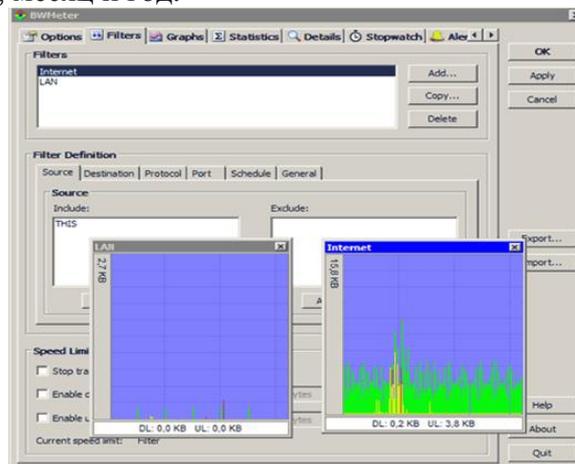


Рис. 3. Программа BWMeter.

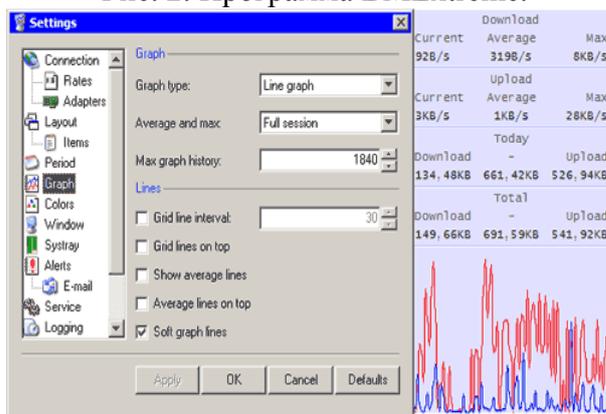


Рис. 4. Программа Bandwidth Monitor Pro.

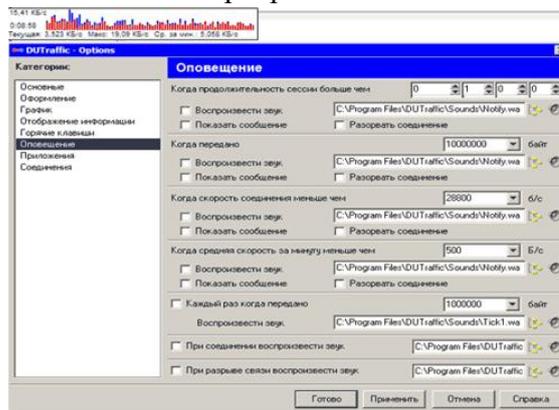


Рис. 5. Программа DUTraffic.

Таблица 1. Основная характеристика программ для мониторинга сетевого трафика.

Парамет/Программы	VMExtreme	BWMeter	Bandwidth Monitor Pro	DUTraffic	Cacti
Размер установочного файла	473 КБ	1,91 МБ	1,05 МБ	1,4 МБ	—
Язык интерфейса	русский	русский	английский	русский	английский
График скорости	+	—	+	+	—
График трафика	—	+	+	—	+
Экспорт/импорт (формат файла экспорта)	-/-	+/+ (*.csv)	-/-	-/-	+/+ (*.xls)

Запуск мониторинга по требованию	–	+	–	–	+
Min-й временной шаг между отчётам данных	5 мин.	1 сек.	1 мин.	1 сек.	1 сек.
Возможность изменения min-го шага между отчётами данных	+	+	+	–	+

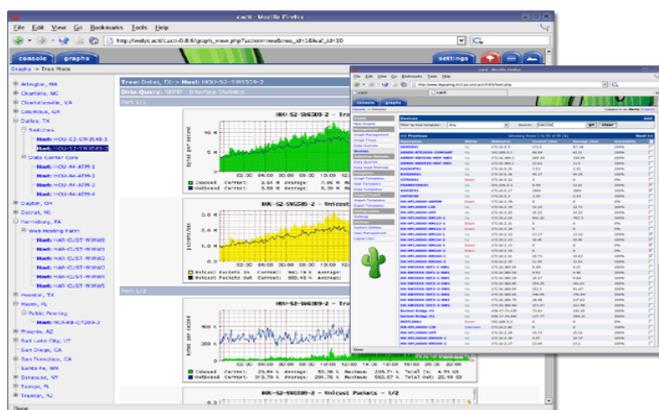


Рис. 6. Система мониторинга Casti.

Для перехвата и последующего анализа, либо только анализа сетевого трафика, предназначенного для других узлов, существует программа или программно-аппаратное устройство - анализатор трафика, или сниффер (сетевой анализатор трафика). Анализ прошедшего через сниффер трафика позволяет: 1 - обнаружить паразитный, вирусный и закольцованный трафик, наличие которого увеличивает загрузку сетевого оборудования и каналов связи (снифферы здесь малоэффективны; как правило, для этих целей используют сбор разнообразной статистики серверами и активным сетевым оборудованием и её последующий анализ); 2 - перехватить любой незашифрованный (а порой и зашифрованный) пользовательский трафик с целью получения паролей и другой информации; 3 - локализовать неисправность сети или ошибку конфигурации сетевых агентов. Сравнительная характеристика некоторых программ-анализаторов сетевого трафика дана в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика программ-анализаторов сетевого трафика

Параметры/ Программы	Wireshark	Iris The Network Traffic Analyzer	Ethernet Internet traffic Statistic	CommTraffic
Размер установочного файла	17,4 МБ	5,04 МБ	651 КБ	7,2 МБ
Язык интерфейса	английский	русский	английский/ русский	русский
График скорости	+	+	–	–



## Рис. 11. Программа Tsrtrack.

В заключение отметим следующее. В процессе изучения программ, предназначенных для сбора статистики, автором были решены задачи по разработке и практической реализации программного обеспечения по сбору информации с сетевых адаптеров. Проектирование и реализация программного обеспечения велась с расчетом на его дальнейшее развитие, возможность поддерживать сетевое оборудование разных производителей и моделей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 4-е изд. 2007.
2. Шмидт Д., Хьюстон С. Программирование сетевых приложений на C++. Т. 1. 2003.
3. Шмидт Д., Хьюстон С. Программирование сетевых приложений на C++. Т. 2. 2004.
4. Рихтер Дж., Назар К. Windows via C/C++. Программирование на языке Visual C++. 2009.

### **АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ**

Крупенникова И.С., Галаганов О.Н.

тел.: 8(499)254-24-96, 8(926)669-08-39; e-mail: [irika\\_81@mail.ru](mailto:irika_81@mail.ru)

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН, г. Москва, Российская Федерация

Северо-Восток Азии - крупная орогенная система, в пределах которой выделяется сейсмический пояс Черского, являющийся дугообразной коллизионной структурой. В пределах пояса выделяются офиолитовые аллохтоны, разнообразные метаморфические комплексы с длительной историей формирования [1]. Считается, что формирование горных хребтов пояса связано с взаимодействием Евро-Азиатской (ЕА) и Северо-Американской (СА) литосферных плит. Сейсмическая зона пояса Черского располагается на продолжении хребта Гаккеля в Евразийском бассейне Северного Ледовитого океана и охватывает шельф моря Лаптевых, районы хребта Черского, смежные районы Магаданской области и, включая полуостров Камчатка, соединяется с сейсмическими поясами обрамления Тихого океана [2, 3].

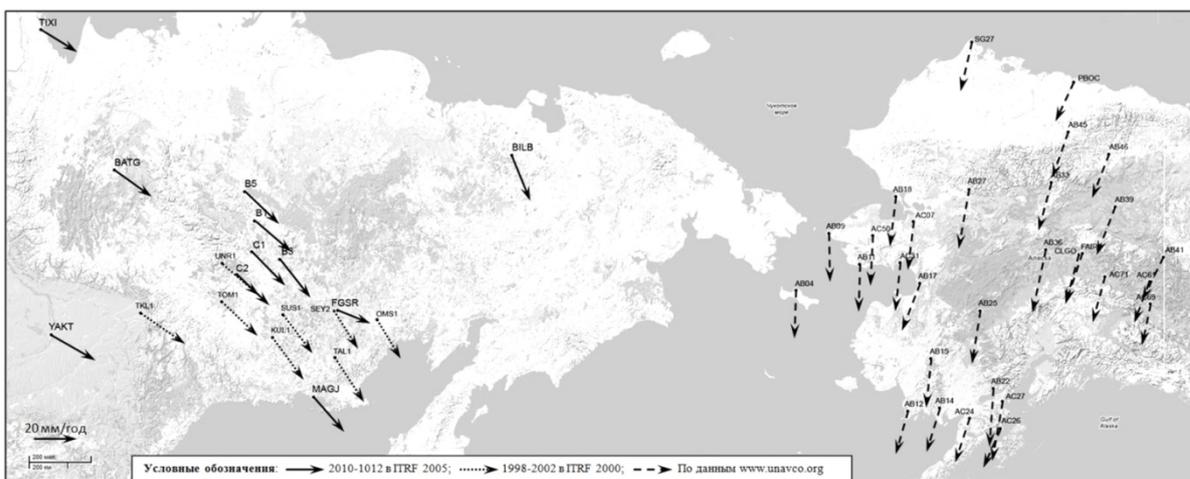
Одной из актуальных проблем современной геодинамики Северо-Восточной Азии является уточнение положения границы между плитами литосферы. Изломанная граница плит ЕА-СА проводится по геоструктурным элементам сеймотектонической зоны хребта Черского. Скорости движения плит оцениваются на основе анализа полосовых магнитных аномалий и геологических данных, а их направление определяется сейсмологическими наблюдениями и ориентацией трансформных разломов.

Развитие глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS) позволяет с помощью непосредственных измерений геодезических параметров получить количественные характеристики современных движений и деформаций

земной коры, выполнить проверку стабильности зоны коллизии литосферных плит, выделенных по геолого-сейсмологическим данным, сравнить геодезические параметры движений, полученные за разные временные интервалы.

Первая серия повторных ГНСС наблюдений на пунктах в районе хребта Черского, выполненная в 1998-2002 гг., позволила сделать вывод о том, что западная ветвь сейсмического пояса хребта Черского является северо-восточной границей Евразии [4]. В 2009-2012 гг. лабораторией спутниковой геодезии и деформометрии ИФЗ РАН были выполнены ГНСС измерения на поясе Черского по проекту «Граница между Евразийской и Северо-Американской плитами литосферы и проблемы глобальной геодинамики» Программы ОНЗ-6 «Динамика континентальной литосферы: геолого-геофизические модели». Для решения данной проблемы в наблюдательную сеть были включены пункты, заложенные в 2003 г., пункты государственной наблюдательной сети в горной системе пояса Черского и ближайшие пункты с постоянной регистрацией сети IGS и NEDA.. При измерениях использованы двухчастотные GPS/ГЛОНАСС приемники Javad Маhog в комплекте с антеннами CR\_3 и RingAnt. Полученные «сырые» данные были обработаны программой Bernese 5.0 с использованием в качестве базовых опорных станций международной геодинамической сети: NRIL (Норильск), YSSK (Южно-Сахалинск), IRKJ (Иркутск), TIXI (Тикси). Пункт YAKT (Якутск) сети IGS был включен в обработку только как определяемый из-за пропусков в измерениях и нестабильности изменения координат во времени. Координаты и скорости опорных станций были выбраны из ITRF 2008 на эпоху начала 2005 года и пересчитаны с учетом среднегодовых скоростей на средний день обрабатываемой эпохи (цикла) измерений.

В ITRF 2008 установлено, что горизонтальные перемещения пунктов происходили со средней скоростью 22,3 мм в год на юго-восток по азимуту 134° в период 2009-2012 гг., 22,1 мм в год по азимуту 132° в период 2010-2012 гг., 22,8 мм в год по азимуту 134° в 2009-2010 гг. На рисунке приведены векторы горизонтальных движений в регионе контакта северо-востока Азии и западной части Аляски по данным за 1998-2002 гг. [4], за 2010-2012 гг. по результатам нашего исследования, для пунктов на территории Аляски по данным UNAVCO ([www.unavco.org](http://www.unavco.org)). Большая часть исследуемой территории испытывала нисходящие движения со скоростью до 8 мм в год в районе хребта Черского.



Скорости горизонтальных движений по данным GPS-измерений 2010-2012 гг., 1998-2002 гг. [4], по современным данным [www.unavco.org](http://www.unavco.org).

Результаты выполненных измерений позволяют оценить скорость накопления деформаций в исследуемом регионе. Скорости линейных деформаций получены по изменениям независимо от определяемых длин линий между пунктами за разные временные интервалы. Значения скоростей линейных деформаций от  $-19 \times 10^{-9}$  в год (укорочения) до  $24 \times 10^{-9}$  в год (удлинения), отнесенные к середине расстояния между пунктами, позволяют получить картину современного деформирования региона.

Таким образом, большей части исследуемой территории свойственно укорочение, при этом наибольшие значения удлинений и укорочений характерны для пояса сейсмической активности.

Анализ движений пунктов исследуемого региона с использованием современных моделей показывает, что пояс Черского относится к Евразийской литосферной плите.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Оксман В.С. Тектоника коллизионного пояса Черского (северо-восток Азии). М.: ГЕОС. 2000. 269 с.
2. Имаев В.С., Имаева Л.П., Маккей К., Козьмин Б.М. Геодинамика отдельных сегментов литосферных плит на северо-востоке Азии // Геофизические исследования. 2009. Т. 10. № 1. С. 43-63.
3. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Сейсмоструктура Якутии. М.: ГЕОС. 2000. 227 с.
4. Стеблов Г.М. Взаимодействие тектонических плит в Северо-Восточной Азии // Докл. РАН. 2004. Т. 394. № 5. С. 689-692.

## ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД

Лужанская Т.А.

e-mail: [tatianaluzhanskaya@gmail.com](mailto:tatianaluzhanskaya@gmail.com)

ГОУ ВПО Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек,  
Кыргызстан

Для оценки опасности потери устойчивости выработок в массивах горных пород, а также для оценки их сопротивления разрушению необходимо знать показатели прочности пород.

Как известно, достаточно полную и наглядную характеристику прочности горных пород дает «паспорт прочности», характеризующий зависимость между нормальными и касательными напряжениями в определенных плоскостях. Эта зависимость описывается огибающей предельных кругов напряжений Мора. Вид огибающей, принимаемой для расчетов, чаще всего устанавливается экспериментально по результатам определений не менее трех прочностных характеристик горных пород при различных объемных напряженных состояниях ( $c$ ). Такой подход требует проведения значительного количества трудоемких экспериментов. Количество последних можно сократить до испытаний образцов только на одноосное сжатие, используя предлагаемую далее конкретизацию критерия Кулона – Мора с учетом установленных свойств указанной огибающей.

В работе [1] на основе концепции скольжения предложены аналитические зависимости для описания предельных характеристик горных пород, базирующиеся только на эксперименте одноосного сжатия.

А именно, полагая в плоскости среза отношение

$$\frac{\sigma_{\theta_0}}{\tau_{\theta_0}} = \frac{(1+c) + (1-c)\sin 2\beta_0}{(1-c)\cos 2\beta_0} = k(c), \quad (1)$$

где

$$k = k(c) = \frac{1}{c_n} [ck_n + (\frac{1}{3} - c)k_0],$$

$$k_0 = \frac{1 + \cos 2\alpha_0}{\sin 2\alpha_0}$$

( $\alpha_0 = (45^\circ - \beta_0)$  - угол среза;  $\beta_0$  - угол, определяющий направление первого скольжения, отсчитываемый от направления действия максимального касательного напряжения  $\tau_{\max}$ ;  $c_n$  - предельное напряженное состояние).

При таком отношении в плоскости среза угол среза  $\beta_0$  при произвольном  $c$  определяется следующим образом:

$$\sin 2\beta_0 = \frac{-(1+c) + k\sqrt{(1+k^2)(1-c)^2 - (1+c)^2}}{(1-c)(1+k^2)}.$$

Согласно (1), выражение для пределов прочности записывается в виде:

$$\sigma_i^s = \sigma_i^s(c) = \frac{2S_0}{(1-c)(\cos 2\beta_0 + k \cdot \sin 2\beta_0)}, \quad (2)$$

где  $\sigma_i^s$  - предел прочности при произвольном напряженном состоянии для  $c \leq c_n$ .

Величина  $S_0$ , определяется из сопоставления с экспериментальными данными. Подобно аналогичному методу выражения пределов прочности [2],  $S_0$  представляется в следующем виде:

$$S_0 = S_0^0 e^{(\xi c + \eta c^2)}, \quad (3)$$

где  $\xi$  и  $\eta$  в общем случае определяются по экспериментальным данным для пределов прочности при каких-либо двух видах напряженного состояния.

При  $c = 0$ , учитывая (2) и (3), получим выражение для  $S_0$ :

$$S_0^0 = \frac{1}{2} \sigma_c^s (\cos 2\beta_0^0 + k_0 \sin 2\beta_0^0) \quad (\beta_0^0 = \beta_0|_{c=0}, k_0 = k|_{c=0}).$$

Параметры  $\xi$  и  $\eta$ , входящие в выражение (3), предлагается определить в первом приближении, используя только эксперимент на одноосное сжатие.

В другом случае- если в плоскости среза принимать отношение

$$\frac{\sigma_0}{\tau_{\theta_0}} = \frac{(1+c)}{(1-c)\cos 2\beta_0} = k_2. \quad (4)$$

Условие (4) расширяет (по сравнению с условием (1)) диапазон изменения угла среза с изменением вида напряженного состояния.

Выражение для пределов прочности, учитывая соотношение (4), представляется в следующем виде

$$\sigma_1^s = \sigma_1^s(c) = \frac{2S_0^s \cos 2\beta_0}{(1-c)(1+k_2 \sin 2\beta_0 \cos 2\beta_0)}. \quad (5)$$

Из (4) можно определить угол среза  $\beta_0$  при произвольном  $c$ :

$$\cos 2\beta_0 = \frac{(1+c)}{(1-c)k_2}.$$

Выражение для определения параметра  $S_0^s$  имеет аналогичный вид (3), однако, для параметра  $S_0^{0s}$ , согласно (5), при  $c=0$  записывается так:

$$S_0^{0s} = \frac{\sigma_c^s (1 + k_0 \sin 2\beta_0^0 \cos 2\beta_0^0)}{2 \cos 2\beta_0^0} \quad (k_0 = k_2).$$

Отношение (1) достаточно близко описывает экспериментально наблюдаемую ориентацию плоскости среза таких материалов как талькохлорит, известняк, известняк Д-6 и песчаник П-0 [2]. Эту группу материалов предлагается выделить в **первую группу**.

Выяснилось, что для большой группы пород, в отличие от первой (судя по тенденции изменения экспериментального значения угла среза), более приемлемым является использование отношения (4) для расчета предельных характеристик. Такие материалы объединим во **вторую группу** – песчаники: выбросоопасный и не опасный по выбросам; песчаники П-03, П-01, П-026, П-0, Д-8; кварцевый диорит Д-2; диабаз.

В **третью группу** выделены материалы (мрамор I и мрамор II), анализ экспериментальных значений пределов прочности которых показывает, что при определенном напряженном состоянии значения пределов прочности резко возрастают. Переход от одного вида напряженного состояния к другому, при котором происходит указанный «скачок» пределов прочности, предлагается учитывать таким образом: до этого напряженного состояния расчет производить согласно зависимости (1), а при больших  $c$  - согласно зависимости (4).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рычков Б.А., Комарцов Н.М., Лужанская Т.А. Об одном методе определения пределов прочности // Вестник КРСУ. 2013. Т.13. № 7.
2. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра. 1979.

### **ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «BLAST MAKER» - НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ**

Долгушев В.Г., Воробьев Д.А., Коваленко В.А.

[e-mail: vorobev@istc.kg](mailto:vorobev@istc.kg)

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета (ИКИТ КРСУ), г. Бишкек, Кыргызстан

Разработка большинства месторождений полезных ископаемых открытым способом связана с необходимостью предварительного рыхления горной массы. В циклических технологиях вскрышных и добычных работ на карьерах значительные

средства затрачиваются на разрушение больших блоков крепких горных пород массовыми взрывами. От качества подготовки каждого взрыва зависит объем вторичных буровзрывных работ (дробление негабаритов, устранение порогов, уступов и т.д.), а также эффективность последующих производственных процессов, таких как экскавация, транспортировка и дополнительное измельчение горной массы.

Для каждого массового взрыва выполняется проект, включающий в себя выполнение ряда технических расчетов и составление схемы расположения взрывных скважин. При проведении расчетов должны быть учтены технологические, геометрические и геологические данные по взрываемому блоку, действующие инструкции и правила по безопасности выполнения буровзрывных работ, а также результаты взрывов на смежных блоках. Из-за большого объема исходных данных и требуемых вычислений разработка проекта на массовый взрыв является достаточно трудоемкой задачей. При этом не исключено появление различного рода случайных ошибок, которые могут существенно снизить качество взрыва. Жесткие временные ограничения на проектирование в условиях реального производства зачастую не позволяют рассмотреть несколько возможных вариантов проведения буровзрывных работ на блоке и выбрать наиболее рациональный из них.

Одним из путей совершенствования технологий при разработке и эксплуатации карьеров является использование автоматизированных систем. В Институте коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета был создан программно-технический комплекс «Blast Maker» для проектирования буровзрывных работ на карьерах горной промышленности. Система «Blast Maker» включает в себя информационно-аналитический программный пакет и набор технических средств по сбору, обработке и передаче данных о свойствах массива горных пород. Сбор данных производится непосредственно с бурового станка в процессе проходки взрывных скважин и передается по радиоканалу в базу данных. Использование уточненной информации о прочностных свойствах разрушаемого массива позволяет производить буровзрывные работы с оптимальными параметрами и высоким качеством дробления горных пород.

По сравнению с имеющимися аналогами (продуктами таких компаний, как Gemcom Software International Inc., Datamine International, Surpac Software International, Mintec Inc., JKTech), программно-технический комплекс «Blast Maker» обладает рядом отличительных особенностей и преимуществ:

- способы и средства сбора информации о массиве горных пород приспособлены для работы в реальном масштабе времени;
- имеется возможность создания и сопровождения цифровых моделей месторождения по энергоемкости бурения и взрываемости пород;
- наличие встроенных средств, позволяющих корректировать и прогнозировать прочностные свойства горных пород на основе оперативной информации, полученной во время бурения взрывных скважин;
- реализованы наборы алгоритмов, позволяющих оценивать влияния детонационных характеристик взрывчатых веществ и физических свойств разрушаемого массива на распределение энергии взрыва;
- созданы надежные модели прогнозирования зон разрушения с учетом главных параметров системы «заряд-среда»;

- встроена мощная подсистема оптимизации параметров буровзрывных работ, позволяющая разрабатывать наиболее оптимальные проекты при заданных технических и экономических характеристиках, таких как:
  - минимизация себестоимости общих карьерных затрат;
  - требования к качеству дробления породы и разлету кусков;
  - требования к расходу взрывчатых веществ и бурового инструмента;
  - требования к временным характеристикам процессов обустройства блока и черпания горной массы.
- реализованы оригинальные алгоритмы расстановки взрывных скважин на выбранном блоке с учетом зон неоднородностей и конфигурации блока.
- разработана мобильная система проектирования буровзрывных работ, позволяющая вести оперативный контроль технологических параметров буровзрывных работ.

Применение программно-технического комплекса «Blast Maker» для проектирования буровзрывных работ на карьерах горной промышленности позволяет:

- детально учитывать исходную горно-геологическую информацию о свойствах вмещающих пород в результате оперативной обработки информации, получаемой с борта бурового станка;
- моделировать взаимодействия элементов системы "Заряд-среда" (конструкция заряда, тип и количество ВВ, способ и средства инициирования) с целью оптимального насыщения разрушаемого массива энергией ВВ;
- наглядно представлять технические решения путем использования развитых средств компьютерной графики;
- повысить оперативность управления оборудованием и процессами на карьере;
- создать условия адаптивного управления параметрами буровзрывных работ.

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ОЦИФРОВКЕ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ КАДАСТРОВЫХ КАРТ**

А. Т. Гасанова

Тел. +996 700 13 69 13; e-mail: [al.gasanova@caiag.kg](mailto:al.gasanova@caiag.kg)

Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г.  
Бишкек, Кыргызстан.

ГИС системы применяются в кадастре, картографии, геологии, метеорологии, землеустройстве, экологии, муниципальном управлении, транспорте, экономике, обороне и во многих других областях. Тем самым упрощаются задачи в создании цифровых кадастровых карт городских и сельских территорий. Данная методика была применена в рамках проекта Всемирного Банка: «Массовая оцифровка и обновление городских и сельских карт».

Задачами проекта являются: сканирование растровых карт-материалов; GPS-съёмка наземных контрольных точек; геопривязка растровых карт-материалов; векторизация геопривязанных растровых карт. В нашей работе мы создали принцип организации географических данных.

Картографическая продукция была выполнена в следующих масштабах:

- 1:2 000 (карты городской местности);
- 1:10 000 и 1:25 000 (карты сельской местности).

Картографическая продукция соответствует Всемирной геодезической системе координат 1984 г. (WGS84-UTM- метрическая). WGS-84 является трехмерной системой координат для позиционирования на Земле, и в отличие от локальных систем является единой системой для всей планеты.

Сканирование картографического материала производилось при помощи специального оборудования - высокоточного протяжного планшетного сканера формата.

В ходе сканирования бумажных карт, во избежание искажений карт, допустимое растяжение устанавливалось 2 миллиметра на 50 сантиметров бумажной карты; в данном случае растровые изображения имели правильную ориентацию и контраст.

Далее проводилась привязка отсканированных растров на местности. Привязка производится в программном обеспечении ArcGIS при помощи встроенных инструментов, а именно в приложении ArcMap.

Геопривязка осуществлялась в условной метрической системе координат, которая обеспечивает правильные размеры и площадь объектов векторизации. Привязка раstra в проекте производится путем добавления контрольных точек. Она выполнена по результатам полевой GPS-съёмки. Все растровые изображения отсканированных карт трансформированы при помощи привязки как финальный продукт. Результаты полевой GPS-съёмки представлены в системе координат Kurg-06.

При осуществлении этапа работ по геопривязке применялся метод конфляции с помощью стандартных инструментов (rubber sheeting, проективная трансформация, пространственная привязка аффинным преобразованием, повторная выборка растровых изображений карт) программного обеспечения ArcGIS.

Затем производилась векторизация (оцифровкой) - преобразование растрового изображения в векторное (цифровое). Векторизация проводилась в ArcGIS. Все карты векторизованы в исходном масштабе (рис.1).

Каждый комплект свойств карт (границы, пункты, названия улиц, номера участков и т.д.) был векторизован в отдельном слое.

При векторизации растровых изображений были внесены в структурные данные атрибуты и названия /надписи для каждого слоя. Также были векторизованы все углы границ каждого земельного участка, как указано на сканированной версии кадастровых индексированных карт. Была проведена проверка всех секторов после оцифровки растровых изображений, и затем

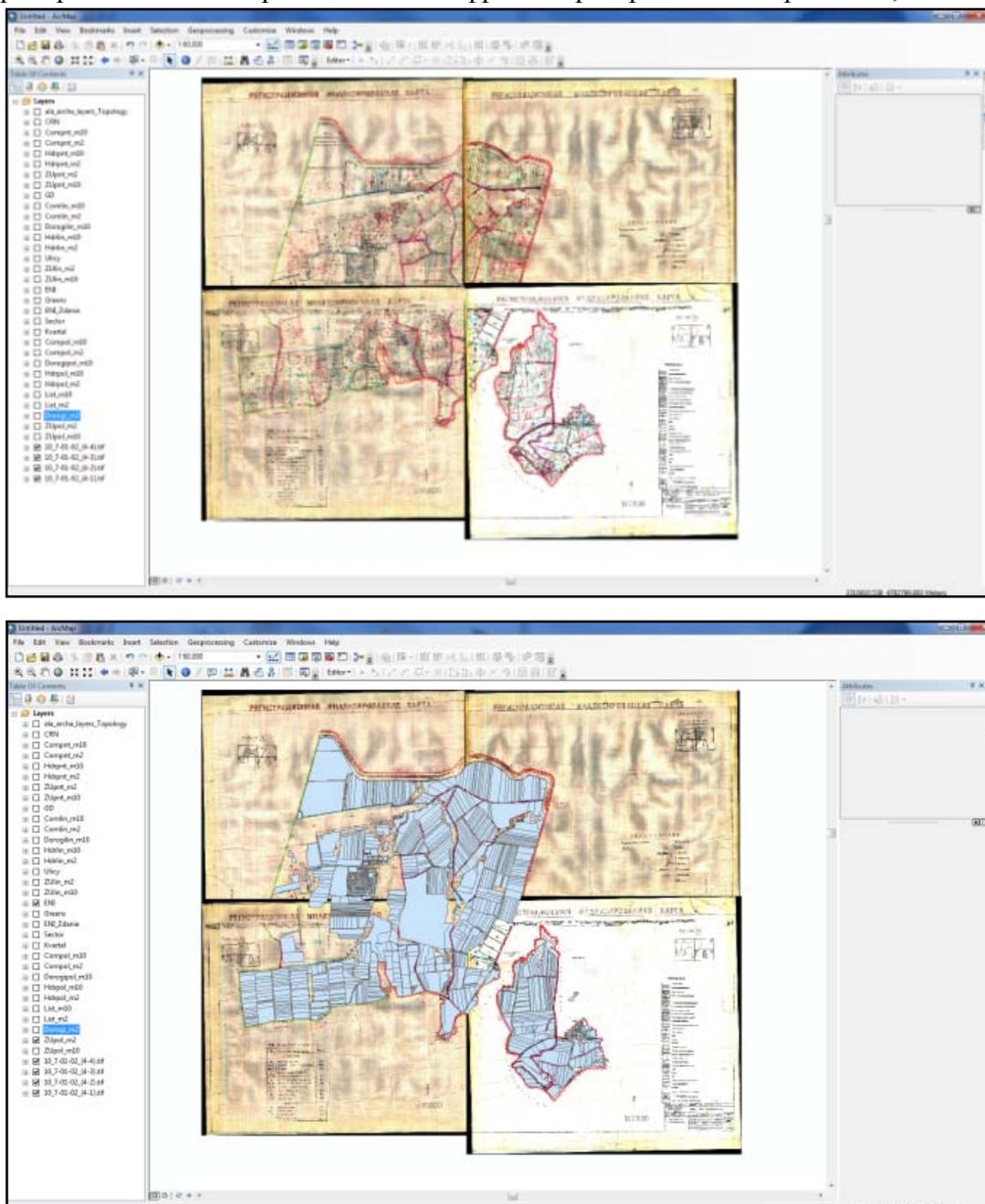


Рис. 1. Векторизация растровых карт (LOT4, район Аламедин, сектор Ала-Арча) до и после.

исключены наложения, пробелы, пересечения, двойные линии, петли и т.п. В результате векторные «изображения» не выходят за линию растрового изображения.

Полигональные объекты были замкнуты и не имеют пересечений (наложений) и пустот (пробелов) между смежными полигонами.

В заключение хотелось бы отметить основные принципы, которые соблюдались в ходе работы:

- принцип **системности** – при декомпозиции системы должны быть установлены такие связи между структурными элементами, которые обеспечивают цельность ГИС и ее взаимодействие с другими системами;
- принцип **развития** – система должна создаваться открытой, с учетом возможности пополнения и обновления функций и состава системы;
- принцип **совместимости** – должны быть реализованы интерфейсы для взаимодействия с другими системами;
- принцип **унификации** – должны быть рационально применены готовые проектные и типовые решения, в первую очередь программное обеспечение;
- принцип **эффективности** – достижение рационального соотношения между затратами на создание ГИС и целевыми эффектами;
- принцип **взаимодействия** – подключение к процессу проектирования будущих пользователей и обеспечение их семантической совместимости;
- принцип **GPS-корректировки** опорных точек.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика. 1993. 288 с.
2. Шайтура С.В. Геоинформационные системы и методы их создания. Калуга: изд-во Н. Бочкаревой. 1998. 252 с.

#### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД АО «ССГПО» И ГОРОДА РУДНОГО В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ И РЕКУ ТОБОЛ

Едигенов М.Б.

тел.: 8-714-2- 50-17-11; факс: 8-714-2- 50-11-55; e-mail: [edigenov@mail.ru](mailto:edigenov@mail.ru)  
ТОО «Научно-производственная фирма Геоэкос», г. Костанай, Казахстан.

Одной из серьезных современных проблем разработки и добычи рудных месторождений является проблема утилизации рудничных вод и их воздействие на окружающую среду [1]. Работы по оценке воздействия загрязненных промстоков Васильевских озер на подземную гидросферу и р. Тобол выполнены в соответствии с техническим заданием и проектом «Оценки воздействия поверхностных вод Васильевского на подземные воды и р. Тобол», согласованным в ТУ «Севказнедра» (21 марта 2004 года). Обоснованием постановки этих работ послужил второй этап государственной экологической экспертизы, где наряду с многочисленными предложениями вариантов золошлакоскладирования специалистами Тобол-Торгайской бассейновой инспекции выражена озабоченность по поводу постоянно ухудшающегося качества воды в Амангельдинском водохранилище, являющемся источником хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Костаная. Стационарная режимная сеть скважин вокруг Васильевского накопителя-испарителя не создана, поэтому возникла необходимость в изучении процессов донной фильтрации и миграции загрязняющих веществ в реку Тобол.

Оценка воздействия выполнена на основании проведенных буровых, опытно-гидрогеологических работ на территории, примыкающей к Васильевскому накопителю, технологического накопителя-испарителя, принадлежащего АО «ССГПО».

В период эксплуатации Соколовского и Сарбайского месторождений железных руд создана и действует режимная сеть практически всей промышленной площадки, охватывающая территории, прилегающие к карьерам, хвостохранилищу и Сарбайскому накопителю рудничных вод. Территория расположения Васильевского накопителя изучалась в гидрогеологическом отношении в различные периоды, при этом стационарная режимная сеть не была создана ввиду наличия достаточной геологической информации о породах, слагающих ложе накопителя и сопредельные территории.

Работы, проводимые по производственному мониторингу после создания режимной сети вокруг Васильевского накопителя в течении 4 лет (2004-2008 гг.), позволяют зафиксировать сезонные и техногенные изменения уровня режима и геохимического фона подземных и поверхностных вод.

Одной из задач мониторинга горнорудных объектов в современных условиях являются наблюдения за развитием уровня режима подземных вод в глубину и ширину. Существующая режимная сеть месторождений, а также пункты ГМПВ находятся в зоне активного нарушения режима подземных вод на расстояниях 5-10 км от карьеров и служат основой для управления дренажными системами.

Многолетнее складирование рудничных и хозяйственно-фекальных стоков в Васильевскую группу озер к настоящему времени привело к накоплению порядка 300 млн м<sup>3</sup> воды на площади более 100 км<sup>2</sup>. В то же время развитие депрессионной воронки в эоцен-меловом водоносном комплексе привело к существенному снижению напора и созданию дополнительного гидродинамического перепада давления из Васильевского накопителя на подземную гидросферу. В этих условиях могут быть активизированы процессы перетекания и усиления фильтрации поверхностных вод через глинистые толщи, что является объектом повышенного внимания со стороны геологической и экологической службы АО «ССГПО» и природоохранных органов.

До недавнего времени район Васильевского накопителя не был охвачен в достаточной мере стационарными режимными наблюдениями в пределах радиуса воздействия как карьеров, так и самого накопителя. Задача исследований состояла в создании стационарной режимной сети, в этажнорасположенных водоносных горизонтах, с целью изучения перераспределения напоров и процессов фильтрации в результате многолетнего осушения водоносных толщ и складирования огромных объемов рудничных и хозфекальных стоков на дневной поверхности.

Естественно, что формирование подземной составляющей речного стока как по объему, так и по качеству не может быть однозначно выделено только за счет фильтрации из Васильевского накопителя. Поставленная задача должна быть решена с учетом комплексного воздействия ряда объектов АО «ССГПО» таких как хвостохранилище, золоотвал, Соколовский накопитель, очистные сооружения г. Рудного, существенно влияющих на качество речного стока. Выполненные по проекту виды и объемы работ позволили решить поставленную задачу и контролировать в дальнейшем процессы перераспределения напоров в слоистых водоносных толщах в результате создания стационарной режимной сети скважин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов В.В., Махмутов Т.Т., Едигенов М.Б. и др. Гидрогеология и охрана окружающей среды горнорудных районов Северного Казахстана. М.: Недра. 1992. 270 с.
2. Дейнека В.К. Гидрогеология Торгайского прогиба. Костанай. 2005. 218 с.
3. Дейнека В.К. Река Тобол в Казахстане. Костанай. 2010. 332 с.
4. Дейнека В.К. Гидрогеохимия Торгайского прогиба. Костанай. 2013. 170 с.
5. Едигенов М.Б. Гидрогеология рудных месторождений Северного Казахстана. Костанай. 2013. 308 с.
6. Плотников Н.И., Рогинец И.И. Гидрогеология рудных месторождений. М.: Недра. 1987.
7. Скабалланович И.А., Седенко М.В. Гидрогеология, инженерная геология и осушение месторождений. М.: Недра. 1973.

### **ПРОГНОЗЫ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВАСИЛЬЕВСКОГО НАКОПИТЕЛЯ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА В ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И РЕКУ ТОБОЛ**

Едигенов М.Б.

тел.: 8-714-2- 50-17-11; факс: 8-714-2- 50-11-55; e-mail: [edigenov@mail.ru](mailto:edigenov@mail.ru)  
ТОО «Научно-производственная фирма Геоэкос», г. Костанай, Казахстан.

Фильтрационная связь поверхностных и подземных вод всей акватории Васильевского накопителя в целом и в отдельных его частях, носит природный, «вековой» характер и не имеет сколько-нибудь серьезных уклонов подземных вод, что позволяет отнести рассматриваемый участок к зоне затрудненного водообмена (застойного режима).

Процессы подтопления прилегающих к накопителю земель характерны только для верхней гидродинамической зоны неогеновых осадков, не имеющей связи с ниже залегающим локально обводненным олигоценым водоносным горизонтом. Связанная с Васильевским накопителем «подвешенная» линза подземных вод развита на расстояниях не более 500 м от уреза воды и не имеет выхода в долину реки Тобол. В зависимости от водности года движение подземных вод направлено то в сторону накопителя, то от него [1, 5]. Это подтверждается и гидрогеохимическими анализами, проведенными в мае-июне 2004 г. и ранее, а также в 2002 и 2003 гг. Кроме того, разница в уровнях между поверхностными водами озер накопителя-испарителя и подземными водами, вскрытыми скважинами, расположенными в радиусе не более 50 м от уреза воды, составляет 5-6,6 м с восточной стороны накопителя и 0,6 – 3,1 м - с западной. Как видно из приведенных данных, гидравлического смыкания между поверхностными водами накопителя и подземными водами олигоцена не происходит.

Проведенные опытно-фильтрационные работы позволили уточнить гидрогеологические параметры водоносных горизонтов, используемые для оценки

величины возможных фильтрационных потерь поверхностных вод накопителя в подземные воды и в долину р. Тобол.

Единственным коллектором, по которому возможен переток фильтрующихся вод из накопителя, является олигоценый водоносный горизонт, залегающий на региональном водоупоре исследуемой территории, представленным глинами чеганской свиты. Средний коэффициент фильтрации олигоценых отложений в районе, прилегающем к накопителю, по данным проведенных работ, равен 2,45 м/сут (западнее накопителя – 0,614 м/сут, восточнее – 2,875 м/сут), но, как было сказано выше, он почти полностью изолирован от поверхностных вод и локальное инфильтрационное питание его не установлено, что подтверждают и результаты проведенных работ. Химический анализ вод накопителя и олигоценого водоносного горизонта указывает на их существенные различия. Уровни вод в скважинах также разнятся от зеркала поверхностных вод накопителя, что также подтверждает отсутствие гидравлической связи между ними.

Проведенные гидроэкологические работы в сочетании с анализом результатов ранее проведенных исследований в районе Васильевского накопителя и на прилегающих к нему площадях позволили сделать следующие выводы:

- активного перетока техногенных вод из накопителя в подземные воды не наблюдается;
- объем фильтрационных потерь соизмерим с первыми долями процентов;
- сформированная Васильевским накопителем верховодка является локальной и не выходит за пределы границы СЗЗ.

Анализ гидрогеологических данных, относящихся ко всему району промплощадки АО «ССПГО», позволил подтвердить следующие закономерности:

- фильтрационная связь поверхностных и подземных вод всей акватории Васильевского накопителя в целом носит природный, «вековой» характер, а рассматриваемый участок относится к зоне затрудненного, застойного водообмена;
- связь подземных вод с поверхностными является затрудненной из-за наличия в разрезе выдержанных глинистых пачек мощностью до 10 м (глины свиты турме) и до 25 м (чеганские глины), залегающих в верхней части разреза;
- в природных условиях существовал естественный поток подземных вод эоцен – мелового комплекса, направленный с СЗ на ЮВ с разгрузкой в долину р. Тобол. При работе дренажных систем Сарбайского и Соколовского карьеров и СПР сформировался уклон в сторону этих объектов.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что размещение золошлаковых отходов, а также хозяйственно-фекальных стоков г. Рудного не окажет серьезного влияния на подземные воды района и р. Тобол.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Веселов В.В., Махмутов Т.Т., Едигенов М.Б. и др. Гидрогеология и охрана окружающей среды горнорудных районов Северного Казахстана. М.: Недра. 1992. 270 с.
2. Дейнека В.К. Гидрогеология Торгайского прогиба. Костанай. 2005. 218 с.
3. Дейнека В.К. Река Тобол в Казахстане. Костанай. 2010. 332 с.
4. Дейнека В.К. Гидрогеохимия Торгайского прогиба. Костанай. 2013. 170 с.
5. Едигенов М.Б. Гидрогеология рудных месторождений Северного Казахстана. Костанай. 2013. 308 с.

6. Плотников Н.И. Рогинец И.И. Гидрогеология рудных месторождений. М.: Недра. 1987.
7. Скабалланович И.А., Седенко М.В. Гидрогеология, инженерная геология и осушение месторождений. М.: Недра. 1973.

## **ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ**

Коваленко В.А., Райымкулов М.А.

тел.: 0554 143184; e-mail: [rmarat@istc.kg](mailto:rmarat@istc.kg)

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета (ИКИТ КРСУ), г. Бишкек, Кыргызстан

Для сохранности подземных сооружений при массовых взрывах большое значение имеет правильное определение предельно допустимых параметров сейсмического воздействия, сейсмобезопасных расстояний и параметров взрывных работ. С одной стороны, неправильное определение параметров может вызвать повреждения сооружений, с другой стороны - снижение массы и количества зарядов вызывает значительное удорожание буровзрывных работ. Схожее положение в настоящее время сложилось на разрезе «Заречный». Для оценки сейсмического воздействия открытых горных работ на близлежащие подземные горные выработки наряду с экспериментальными исследованиями предлагается применение численного моделирования.

Разрез «Заречный» по данным геологической службы в целом характеризуется довольно простой тектонической обстановкой и геологическим строением [1]. Состав пород довольно разнообразный и характеризуется породами от аргиллитов до песчаников. Наибольшим распространением в отложениях участка пользуются алевролиты, содержание которых достигает 61,3%. Содержание песчаников колеблется в пределах от 18,4% до 27,2%. Аргиллиты представлены слабо и имеют второстепенное значение. Наиболее мощными являются пласт 78, а также пласт 73, разрабатываемый шахтой.

Для проведения вычислительных экспериментов разработана цифровая модель блока размером 1000x800x600 м. со скважинами – 40 шт., глубиной 10 м., с учетом физико-механических свойств пород. Под взрываемым блоком на глубине 70 м. спроектирована шахта. Разбиение пространственной модели массива на конечные элементы осуществляется с использованием специального редактора. С помощью данного редактора были заданы области сгущения конечно-элементной сетки вокруг скважин и подземной выработки, что позволило в последующем получить более точные расчетные данные в области сгущения сетки. Конечно-элементная модель исследуемого участка состоит из 80 тыс. узлов и 5 млн. тетраэдральных элементов. Задание геологической структуры

модели и динамических нагрузок осуществлялось в специально разработанном интерактивном редакторе *ImpactMaker*. Данные для моделирования были предоставлены геотехнологической службой разреза. Модель разбита на геологические домены, каждому из которых присвоен определенный тип породы с заданными физико-прочностными характеристиками: удельная плотность, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел текучести, вязкость, коэффициент пластического упрочнения и т.д.

Расчет временных последовательностей абсолютных смещений каждого из узлов конечно-элементной модели под действием динамических нагрузок осуществлялся решением пространственно-дискретизированных уравнений структурной динамики с использованием явных методов:

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K] \{u\} = \{f\}, \quad (1)$$

где:  $\{\ddot{u}\}$ ,  $\{\dot{u}\}$ ,  $\{u\}$  - векторы ускорений, скоростей и смещений;  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$  - матрицы масс, демпфирования и жесткости;  $\{f\}$  - вектор нагрузок.

Метод иерархической декомпозиции модельной области и технологии параллельных вычислений, применяемые в программе *AdventureImpact*, обеспечивают высокую производительность при использовании на кластерных системах. В качестве входных данных, определяющих физико-механические свойства горных пород, используются модуль Юнга, коэффициент Пуассона, удельная плотность породы и величина динамической вязкости. Выходными данными программы являются величины смещений в узлах конечно-элементной модели для различных моментов времени.

Для сравнения сейсмического воздействия при различных схемах взрывания была проведена серия численных экспериментов: выбраны следующие способы инициирования заряда: мгновенный, КЗВ порядной и поскважинный. Для КЗВ интервалы замедления приняты 25 мс в соответствии с применяемым временем замедления на производстве.

В результате проведенных расчетов были получены диаграммы смещений, скоростей и ускорений в выбранной точке на подземной выработке под взрываемым блоком на минимальном расстоянии от взрываемого блока – 60 м. Также были получены расчеты распределения максимальных значений смещений, скоростей и ускорений вдоль подземной горной выработки, что дает более информативную картину о распределении сейсмического воздействия.

Проведенные предварительные численные эксперименты сейсмического воздействия массовых взрывов на подземные выработки с учетом предельных значений скоростей смещений [2, 3] позволили получить следующие выводы:

- вычислительный метод позволяет оценивать сейсмическое воздействие массовых взрывов на подземные выработки взрываемого блока при различных схемах взрывания;
- вычислительное моделирование позволяет получать сведения о сейсмическом воздействии как в любой точке массива в любой момент

времени, так и получать сведения о сейсмическом воздействии на весь исследуемый массив;

- наиболее щадящим оказалось поскважинное взрывание, поскольку значения смещений, скоростей и ускорений при поскважинном взрывании меньше, чем при мгновенном взрывании и КЗВ порядном.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Заключение экспертизы промышленной безопасности № 42-2009 в части анализа риска горных производств и объектов «Оценка сейсмического действия массовых взрывов разреза «Заречный» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС» на подземные горные выработки шахты «Талдинская-Западная-2» ОАО «СУЭК-КУЗБАСС»/ КУЗБАСС-НИИОГР. Кемерово. 2009.
2. Богацкий В.Ф. Прогноз и ограничение сейсмической опасности промышленных взрывов // В сб. Взрывное дело. Сейсмика промышленных взрывов. № 85/42. М.: Недра. 1983. С. 201-213.
3. Методические указания по проектированию и производству массовых взрывов при возведении подземных сооружений. АН СССР. Апатиты. 1990.

## ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕДНИКА ЮЖНЫЙ ЭНИЛЧЕК

Шакиров А.Э.

тел. 0312 555-454 (317); факс 0312 555-222; e-mail: [a.shakirov@caiag.kg](mailto:a.shakirov@caiag.kg)  
Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), г.  
Бишкек, Кыргызстан

В течение многих лет ученых интересовал вопрос о причинах изменения направления движения ледника Южный Энилчек в сторону ледника Северный Энилчек. По этому поводу высказывались разные предположения. Одной из причин поворота ледника считалось предположение, связанное с увеличением ширины долины, вследствие чего ледник двигался по пути наименьшего сопротивления. Другая причина связана с отступлением ледника Северный Энилчек и образованием мертвого льда по правому борту долины, ниже слияния двух ледников, который, возможно, стал играть роль упора для движущихся северных продольных сегментов ледника Южный Энилчек и явился причиной их поворота в сторону образовавшегося озера Мерцбахера.

В июле-августе 2013 г. на участке слияния ледников Южный и Северный Энилчек в районе озера Мерцбахера Шакировым А.Э. и Усубалиевым Р.А. были проведены площадные магнитометрические исследования с целью подтверждения наличия разрывных структур и предполагаемого ригеля под ледником, выявленных в результате профильных магнитометрических измерений в предыдущие годы [1].

Магнитометрические измерения были выполнены на площади 4 кв. км. В качестве измерительных приборов на контрольном пункте и на профилях использовались протонные магнитометры ММП-203. Для топографической привязки точек наблюдений использовались мобильные GPS-приемники

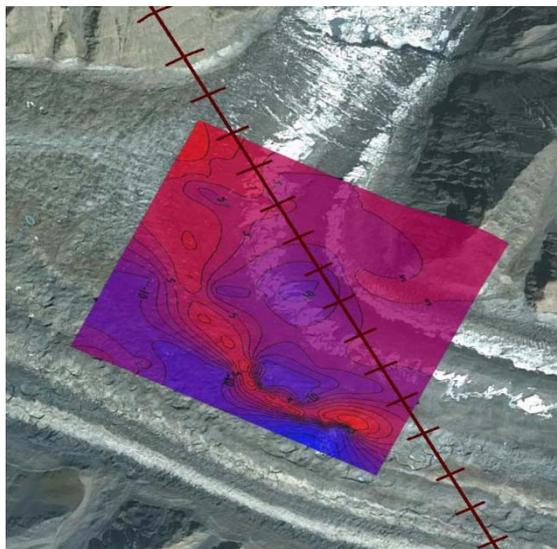


Рис. 1. Космоснимок площади исследования с наложенной картой аномального магнитного поля ( $\Delta T$ , нТл) и линеаментом.

«Garmin» [3].

Троговая долина ледника Южный Энилчек представлена преимущественно андезитовыми порфиритами ( $\alpha=1000-5000 \times 10^{-6}$  ед.СГС) силурийской системы ( $S_2ld_2$ ). На основе анализа карты аномального магнитного поля можно предположить, что интенсивные положительные аномалии приурочены к их неразрушенным участкам. В то время как отрицательные аномалии приурочены к разрушенным участкам.

Ледник Южный Энилчек при своем движении, достигнув регионального линеамента (рис.1), выделенного в 1988 году на основе дешифрирования космических снимков Омуралиевым М.О. и инструментально подтвержденного в 2011 году Шакировым А.Э. и Усупаевым Ш.Э., начал вспахивать ослабленные трещиноватые горные породы, образуя ванны выпахивания и, соответственно, ригель, который и стал барьером на пути движения его правых потоков [1].

На рис.1 показано, как интенсивная положительная аномалия дугообразной формы, вызванная плотными, не разрушенными коренными породами ложи ледника, интерпретируемая как ригель, совпадает в плане с мореной, имеющей также дугообразную форму. Форма ригеля также совпадает с направлением движения правых потоков ледника Южный Энилчек, поэтому можно предположить, что этот ригель является упором при движении ледника и вызывает его поворот в сторону озера Мерцбахера.

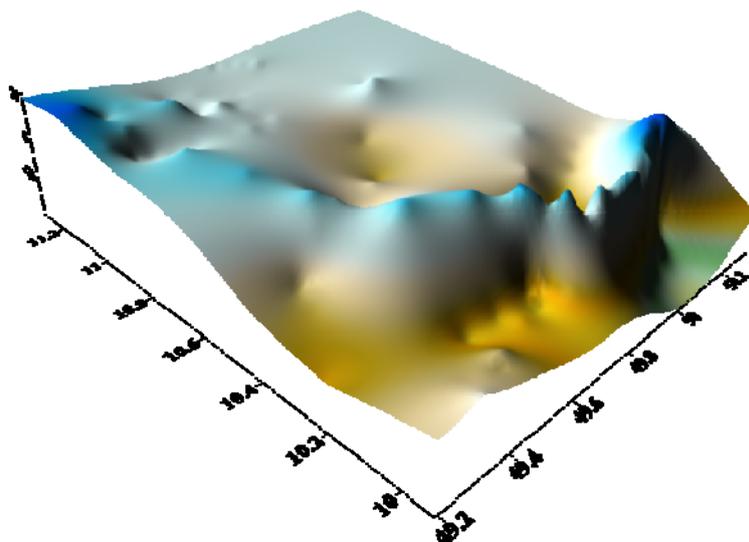


Рис. 2. 3D – изображение аномального магнитного поля площади

**Выводы.** В результате площадной магнитометрической съемки выделена интенсивная положительная аномалия дугообразной формы (рис.1, 2), интерпретируемая автором как ригель, также дугообразной формы, который является упором при движении ледника Южный Энилчек и вызывает изменение его направления в сторону озера Мерцбахера.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шакиров А.Э., Усупаев Ш.Э. Геофизическое зондирование ледника Южный Энилчек в районе высокогорного прорывоопасного озера Мерцбахера. Коллективная монография: Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики (издание восьмое с изменениями и дополнениями). Бишкек: изд-во МЧС КР. 2012. С. 679-683.
2. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Теоретические основы магнитометрического метода исследования земной коры и геомагнитные измерения. Изд-во Ленинградского университета. 1963. 456 с.
3. Инструкция по магниторазведке. М-во геологии СССР. Л.: Недра. 1981. 263 с.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ СЕЙСМОСТАНЦИИ REFTEK 130 DAS

Полинчук А.Ю., Закупин А.С.

тел.: +996 312 613-140; факс: +996 312 611-459; e-mail: [polinchukbox@gmail.com](mailto:polinchukbox@gmail.com)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция  
Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, Киргизия

### **Введение**

Известно, что Тянь-Шань относится к одному из самых сейсмоактивных регионов мира. Поскольку Кыргызстан занимает территорию Центрального и Западного Тянь-Шаня, разрушительные землетрясения представляют серьёзную угрозу для этого региона. В связи с этим исследование сейсмического режима в данном регионе является актуальной задачей. Сейсмическая сеть KNET [1], которая включает в себя 10 цифровых широкополосных станций и расположена на территории Северного Тянь-Шаня, позволяет регистрировать локальную сейсмичность. Станции сети пишут сейсмические данные с частотой 100 Гц. Обработка данных сети KNET осуществляется программами пакета Antelope [2]. В 2013 году на территории Научной станции РАН была установлена сейсмическая станция REFTEK DAS-130 [3] для исследования изменения локальной сейсмичности при электромагнитном зондировании. Эта станция позволяет получать данные с частотой 200 Гц. Поскольку станция не включена в сеть KNET и ее данные не могут быть обработаны лицензионным пакетом Antelope, была поставлена задача создания специализированного программного обеспечения для визуализации и обработки сейсмических данных формата PASSCAL [4].

### **Разработка программного обеспечения**

#### ***Выбор средств, языка программирования и стандарта написания кода.***

В качестве языка программирования был выбран C#, поскольку он хорошо зарекомендовал себя как язык для написания настольных приложений и широко распространён благодаря качественной, исчерпывающей документации и богатой библиотеке компонентов. Среда программирования Visual studio 2012 позволяет эффективно и быстро строить программный код. В качестве стиля написания кода был выбран стандарт [5], разработанный командой Dotnetspider, который базируется на основе лучших практик программирования, опубликованных в различных статьях на сайте dotnetspider.com.

Для обеспечения надёжной сохранности и лёгкого доступа к коду было принято решение о работе в системе управления версиями, в качестве которой была выбрана система Subversion [6], представляющая собой различные инструменты для доступа к коду в различное время его написания: отправка последних изменений в систему управления версиями, сравнение различных версий кода, скачивание кода заданной версии и т.д.

***Разработка кода.*** При разработке программного обеспечения (ПО) особое внимание было уделено качеству программного кода. С учётом спецификации формата данных PASSCAL, а также требований к программному обеспечению, была продумана и разработана диаграмма классов, изображённая на рис. 1.

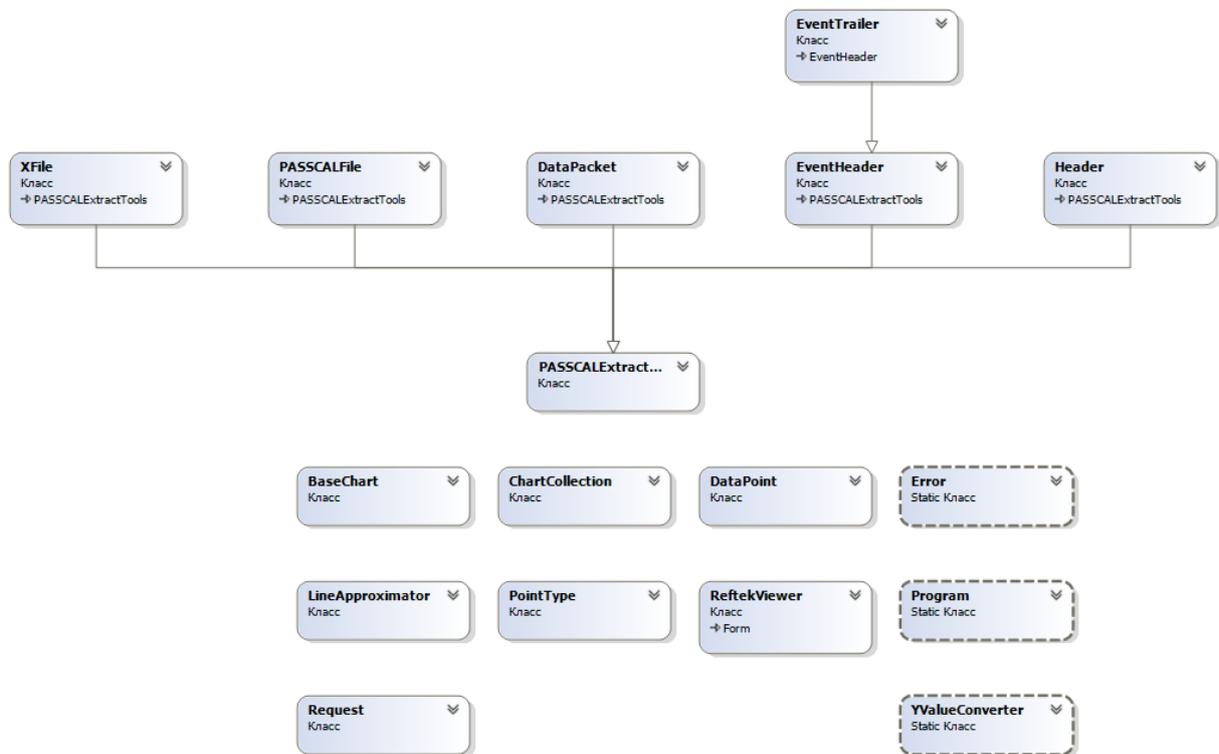


Рис. 1. Диаграмма классов.

Для извлечения данных различного типа (дата-время, строка, целочисленное значение, дробное значение) из двоичного файла был написан класс `PASSCALEXTRACTTools`, реализующий перечисленные функции. Поскольку двоичные данные файла представляют собой совокупность пакетов различного типа, были написаны классы для извлечения и хранения этих типов: `EventHeader`, `EventTrailer`, `DataPacket`, содержащие: критическую информацию о начале нового события, критическую информацию о конце события и сами сейсмические данные соответственно. Так как все типы пакетов содержат в себе единый заголовок, был написан отдельный класс `Header`, содержащий методы извлечения данных и непосредственно сами данные о заголовке пакета. Класс `PASSCALFile` был разработан для чтения и хранения совокупности пакетов целого двоичного файла, а также предоставления методов доступа к данным. Класс `XFile` предназначен для работы с бинарными файлами, осуществления выборки данных из различных файлов, а также для сохранения результатов обработки данных в текстовый файл. Класс `ChartCollection` спроектирован для визуализации данных и представляет собой коллекцию графиков и методы управления этими графиками. Класс-контейнер `Request` предназначен для формирования и хранения критериев выборки с целью дальнейшей передачи функции выборки класса `XFile`. При осуществлении выборки пользователем происходит считывание критериев выборки с формы пользовательского интерфейса. С целью ведения лог-файла, а также отображения ошибок был разработан класс `Error`. Вся работа с перечисленными классами осуществляется в классе `ReftekViewer`.

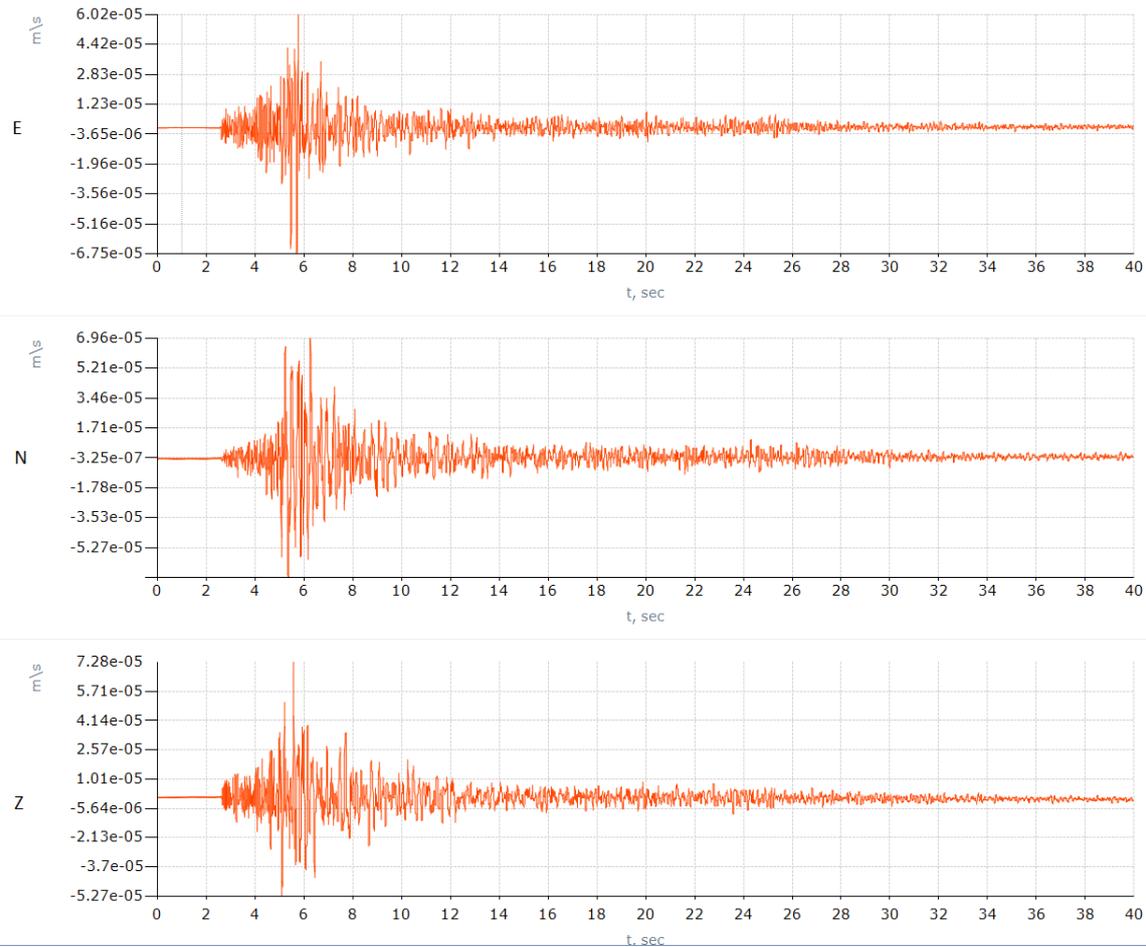


Рис. 2. Сейсмическая запись землетрясения. Интервал вырезки записи волновой формы по времени: 02.01.2014 18:36:01 - 02.01.2014 18:36:39, по компонентам E, N, Z.

### Результаты работы

При запуске программы пользователю предоставляется единственный выбор действия: открыть каталог с данными. При открытии каталога выполняется анализ содержащихся в нём файлов, после чего строится дерево, отображающее непрерывность данных по времени, по критериям номера цифровой станции и потока данных. На рис. 2 представлена выборка данных за период 31.01.2014 00:36:05 - 31.01.2014 00:36:39 по всем трём компонентам (*E-east-west, N-north-south, Z-vertical*).

Благодаря продуманному интерфейсу пользователь имеет возможность группировать, перетаскивать, скрывать или отображать элементы управления удобным ему способом. Для навигации по времени пользователю предоставлен инструмент для ввода даты начала и конца временного отрезка, а также инструмент для смещения интервала времени относительно текущего на шаг, заданный пользователем.

## **Заключение**

В данной работе было разработано программное обеспечение для чтения и визуализации сейсмических данных формата PASSCAL. ПО предоставляет возможность масштабирования графиков, произвольной выборки данных по различным критериям и сохранения полученных результатов в текстовый файл. Благодаря следованию стандарта стиля написания кода и ведению системы контроля версий, программный код легко узнаваем и может быть с лёгкостью адаптирован в будущем под другие разработки. В дальнейшем планируется расширить разработанный программный продукт не только функциями обработки данных, но и реализовать режим пакетной обработки данных с целью автоматической регистрации локальных сейсмических событий.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Сычева Н.А., Юнга С.Л., Богомолов Л.М., Мухамадиева В.А. Сейсмотектонические деформации земной коры Северного Тянь-Шаня (по данным определений механизмов очагов землетрясений на базе цифровой сейсмической сети KNET) // Физика Земли. № 11. 2005. С. 62-78.
2. Antelope. URL: <http://antelopeusersgroup.org/> (дата обращения: 20.02.2014).
3. Reftek DAS-130. URL: <http://www.reftek.com/products/seismic-recorders-130-01.htm> (дата обращения: 20.02.2014).
4. 130 Recording Format Specification For 130 CPU Firmware v.2.7.0 (Passcal Compilant). Dallas: Refraction Technology, Inc. 2005. 42 p.
5. C# Coding Standards & Best Practices URL: <http://www.dotnetspider.com/tutorials/BestPractices.aspx> (дата обращения: 20.02.2014).
6. Официальный сайт системы контроля версий Subversion. URL: [www.xpdev.com](http://www.xpdev.com) (дата обращения: 20.02.2014).

## **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ГЕОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ КОРЫ**

Плисовицкая Е. А., Бобровский В. В., Брагин В. Д.  
тел.: 0551 020-862; e-mail: [evgenia\\_1109@mail.ru](mailto:evgenia_1109@mail.ru)  
НС РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

## **Введение**

Для изучения связей между вариациями геомагнитного поля Земли и другими процессами, происходящими в земной коре в НС РАН, начиная с 1982 года проводится геомагнитный мониторинг земной коры по сети стационарных и рядовых пунктов. Мониторинг проводится с помощью магнитовариационных станций МВ-07. Станции МВ-07 размещены на семи стационарных измерительных пунктах, расположенных на территории БГП, и обеспечивают непрерывные измерения магнитного поля Земли в пунктах их установки. Кроме этого имеется одна мобильная станция, с помощью которой один раз в неделю

дополнительно проводятся измерения магнитного поля в 15-ти пунктах на территории БПП.

Для обработки получаемых с указанных выше измерительных пунктов данных было разработано специальное программное обеспечение, состоящее из нескольких программ для предварительной обработки данных и база геомагнитных данных. Пакет ПО и база данных, написанные в 80-х годах, работают под управлением устаревшей системы MS DOS. В связи с внедрением современных магнитовариационных станций POS-1 в технологию геомагнитного мониторинга и отсутствием возможности дальнейшего использования устаревшего программного обеспечения возникла острая необходимость в создании нового программного продукта, обеспечивающего обработку и использование данных, получаемых как от станций MB-07, так и от новых POS-1.

### **Методика и алгоритмы первичной обработки геомагнитных данных**

Основной целью первичной обработки геомагнитных данных является построение временных рядов среднесуточных статистических моментов разностей магнитного поля, измеряемого на различных станциях.

На каждой станции выполняются измерения полного вектора магнитного поля Земли, эти данные являются первичными [1]. Для выделения вариаций магнитного поля на фоне большой региональной компоненты, устранения помех используется разностная методика, подразумевающая вычисление разностей между одной (опорной) и всеми остальными станциями. В качестве опорной станции используется стационарный измерительный пункт Ак-Суу. Так как опорная станция участвует во всех проводимых измерениях, к ней предъявляются повышенные требования по полноте и точности данных. Для восстановления недостающей или осложненной сильными помехами информации при сбоях оборудования применяется алгоритм восстановления по данным ближайшей станции.

Перед расчетом среднесуточных параметров производится проверка данных на наличие ступеней. Ступени – это резкое изменения уровня магнитного поля в течении длительного времени, происходящее без изменения общей картины хода магнитного поля. При обнаружении ступени вычисляется корректирующий коэффициент, позволяющий исключить возникшую ступень из дальнейшей обработки.

Формирование суточных временных рядов разностей полного вектора магнитного поля происходит следующим образом. Берутся первичные данные за определенные сутки по двум станциям (опорной и рассматриваемой) и корректирующие коэффициенты ступеней для этих станций. Разность магнитного поля вычисляется по следующей формуле:

$$Diff_i = (Curr_i - K\_curr_i) - (Base_i - K\_base_i),$$
$$i \in [t_1, t_2],$$

где:

$[t_1, t_2]$  - промежуток времени - сутки, на которых вычисляется разность;

$Diff_i$  - значение разности в момент  $i$ ;

$Curr_i$  и  $Base_i$  - значения первичных данных рассматриваемой и опорной станций, соответственно, в момент времени  $i$ ;

$K_{curr_i}$  и  $K_{base_i}$  - корректирующие коэффициенты ступеней в момент времени  $i$  для рассматриваемой и опорной станций, соответственно.

Расчет среднесуточных статистических моментов разности включает в себя вычисление среднего и медианного значения разностей магнитного поля за сутки, а также среднеквадратичного отклонения от среднего.

**Среднее значение** вычисляется как среднеарифметическое значение разностей магнитного поля за одни сутки.

**Медианное значение** вычисляется следующим образом: на первом этапе производится сортировка суточных значений разностей магнитного поля  $Diff_i$  по возрастанию. Далее в качестве медианного значения берется срединный отсчет массива отсортированных разностей. В случае четного числа элементов в данном массиве в качестве медианного значения берется среднее арифметическое значение двух срединных отсчетов.

**Среднеквадратичное отклонение** вычисляется как среднеквадратичное отклонение разностей магнитного поля от среднего значения за одни сутки.

### Описание программного обеспечения и базы геомагнитных данных

В новом пакете ПО реализованы ниже перечисленные дополнительные возможности улучшающие качество и эксплуатационные характеристики системы:

- реализованы методы и алгоритмы первичной обработки геомагнитных данных на современной технической базе;
- выполнена поддержка магнитовариационных станций старого (МВ-07) и нового (POS-1) поколений;
- разработана современная база данных, позволяющая повысить быстродействие и точность обработки данных;
- осуществлена возможность экспорта данных в стандартные форматы (ASCII, Excell и др.) для дальнейшего использования и обработки сторонним программным обеспечением;
- обеспечена возможность настройки и экспорта графической информации в стандартные графические форматы (JPEG, GIF, BMP, TIF и др.);
- разработано дополнительное программное обеспечение для переноса данных геомагнитных наблюдений, полученных ранее с помощью старого программного обеспечения, в новую базу данных с целью создания единой системы хранения геомагнитных данных.

На рис. 1 приведена упрощенная структурная схема программного обеспечения первичной обработки данных геомагнитного мониторинга **MAGnito**. Рассмотрим упрощенный алгоритм работы программы. Для добавления данных в базу геомагнитных данных необходимо открыть файл с первичными данными магнитовариационной станции POS-1 или МВ-07. В **блоке чтения файлов с первичными данными** программа считывает из файла всю информацию и предоставляет ее оператору в виде графика магнитного поля (нТ). В данном блоке производится анализ данных на целостность и непрерывность, а также их

восстановление (коррекция) в случае появления сбоев. После прочтения и анализа файла первичных данных оператор выполняется запись данных в базу геомагнитных данных **DataMAG**. Далее в **блоке построения суточных временных рядов разностей** выполняется расчет разности магнитного поля между опорной и текущей станциями. Первичную обработку оператор может производить только с первичными данными, ранее записанными в базу **DataMAG**. Если при первичной обработке оператор обнаруживает утерю данных по какой-либо станции, он может восстановить их по близлежащей станции с помощью **блока восстановления данных**. Также при первичной обработке оператор может обнаружить ступень в ходе расчета разности магнитного поля, он

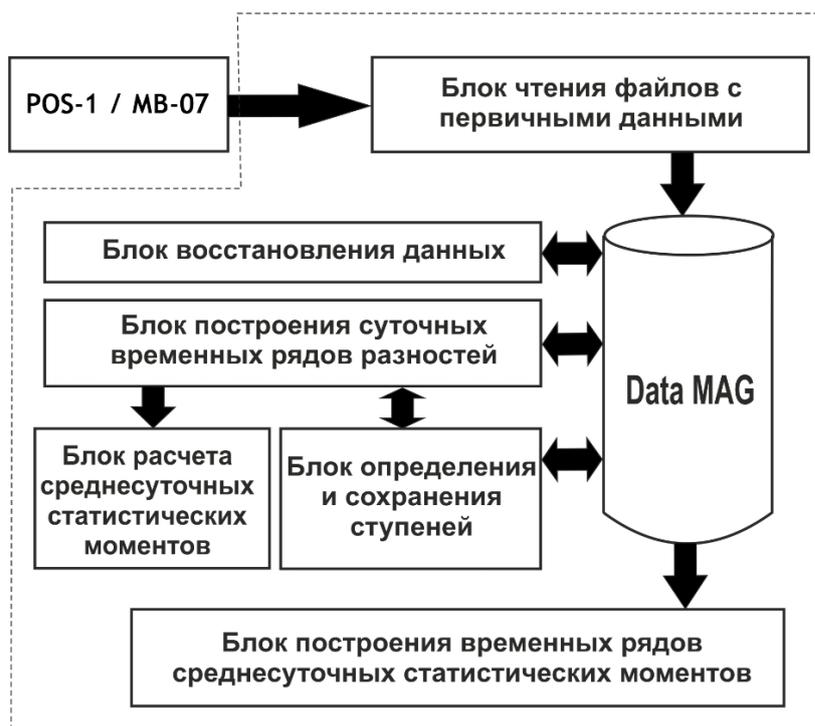


Рис. 1. Структурная схема программы **MAGnito**.

может ее обработать с помощью **блока определения и сохранения ступеней**.

Сформировав суточный временной ряд разности магнитного поля, оператору необходимо записать в базу геомагнитных данных среднесуточные параметры: среднее, медиану и среднеквадратичное отклонение, которые были вычислены с помощью **блока расчета среднесуточных статистических моментов**. Оператор может посмотреть временной ряд какого-либо среднесуточного параметра по любой станции с помощью **блока построения временных рядов среднесуточных статистических моментов**. При этом оператор может настроить параметры отображения любого из графиков и выполнить сохранение данных в одном из стандартных форматов (ASCII, Excell, JPEG и др.). На рисунке 2 приведены результаты вычисления среднесуточных

статистических моментов в пунктах Ак-Суу-Шавай за период с 01.01.2001 г. по 01.01.2008 г.

Основными требованиями, предъявляемыми к СУБД, используемой для реализации базы геомагнитных данных **DataMAG**, являлись:

- возможность хранения достаточно больших объемов первичных данных;
- скорость работы;
- точность представления данных с плавающей точкой;
- возможность создания резервных копий данных и их восстановление.

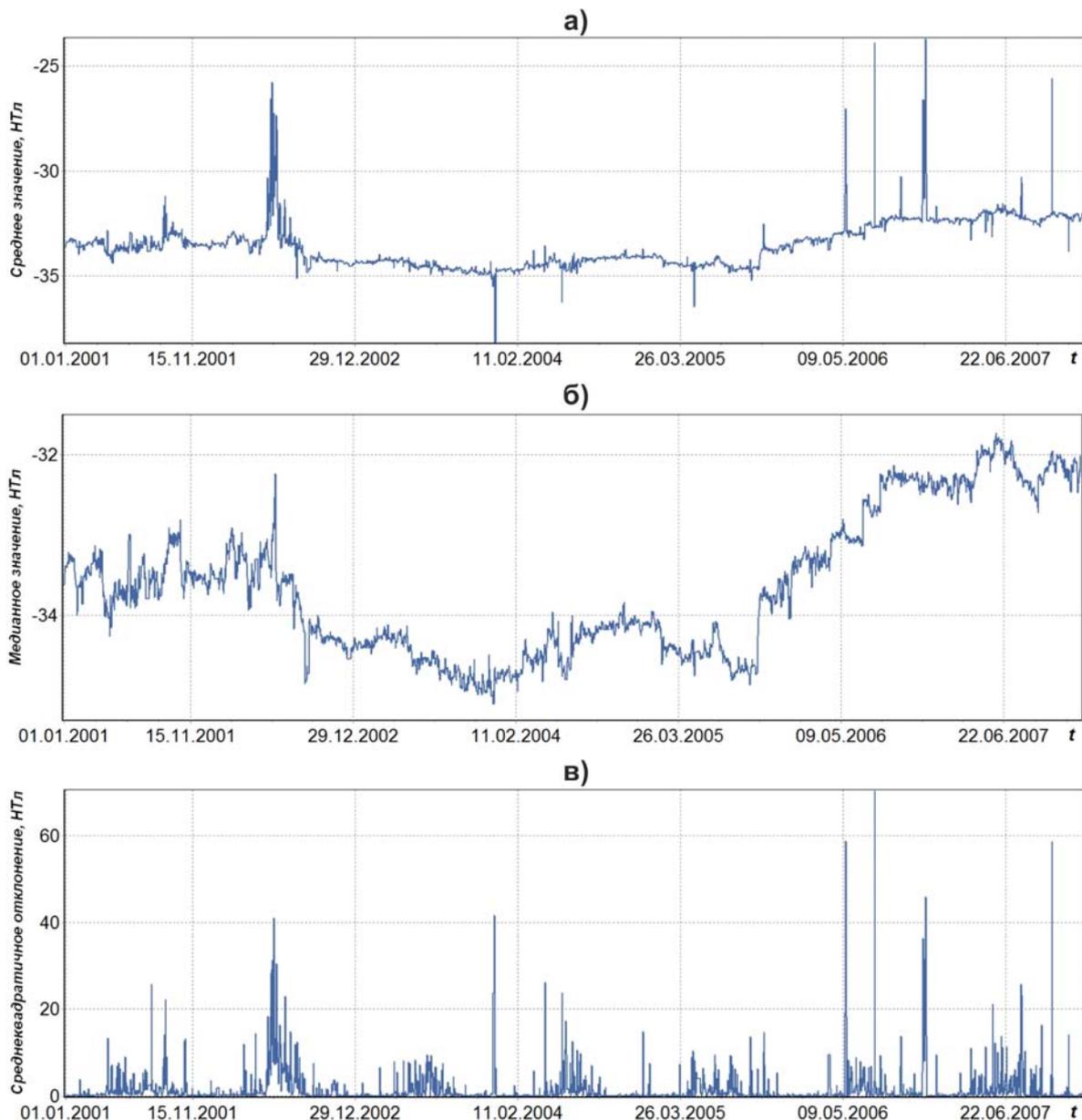


Рис. 2. Временные ряды среднесуточных статистических моментов в пунктах Ак-Суу-Шавай : а) среднего значения; б) медианы; в) среднеквадратичного отклонения за 7 лет.

База данных была разработана с помощью СУБД MySQL 5.5, которая распространяется по GNU General Public License и является мощным инструментом организации баз данных и удовлетворяет всем вышеперечисленным требованиям.

На рисунке 3 приведена структура базы данных **DataMAG**. Помимо данных мониторинга в базе хранятся данные об измерительных пунктах с возможностью добавления и редактирования их. Основной прирост к базе (99%) дает таблица первичных данных. По приближенным подсчетам максимальный прирост – 50 Мб в год. Максимальный размер таблиц (до 8 млн Тб) и высокая скорость работы СУБД позволяет обеспечить хранение как первичных данных, так и результатов обработки в течение длительного времени [2].



Рис. 3. Структура базы данных **DataMAG**.

### Выводы

В результате выполненных работ по модернизации программного обеспечения системы геомагнитного мониторинга земной коры фактически создана новая система первичной обработки и хранения данных геомагнитного мониторинга земной коры.

Также выполнены работы по полному переносу данных из старой базы данных за 30 лет в новую базу геомагнитных данных **DataMAG**.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трапезников Ю.А., Брагин В.Д., Зубович А.В. и др. Отчет о результатах проведения опытно-методических электромагнитных прогностических наблюдений в пределах сейсмогенных зон Средней Азии в 1991-1993 гг. Бишкек. 1994. С.68-84.
2. MySQL. Справочник по языку: Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильямс". 2005. 432 с.

### **ТИПЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОМЕХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГЕОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА**

Лазарева Е.А.

тел.: 0312 613-140; факс: 0312 611-459; e-mail: [lazareva@gdirc.ru](mailto:lazareva@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки (ФГБУН) Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке (НС РАН), г. Бишкек, Кыргызстан

Задачей режимных геомагнитных наблюдений на Научной станции является выявление связи вариаций локального магнитного поля с деформационными процессами земной коры и вариациями других геофизических полей [1]. Для этой цели на семи режимных станциях ведутся круглосуточные наблюдения вариаций модуля полного вектора геомагнитного поля. Помимо стационарных станций наблюдения проводятся на рядовых пунктах, посещаемых передвижными станциями.

Электромагнитная обстановка, в которой функционируют технические средства, обусловлена наличием огромного числа отдельных источников помех. В качестве источника помех (передатчика помех) может выступать прибор или физический процесс, при этом различают внутренние и внешние источники помех. В качестве электромагнитной помехи, проявляющейся в ухудшении рабочих показателей технических средств (магнитометров), вызванном электромагнитным возмущением, может фигурировать практически любое электромагнитное явление в широком диапазоне частот. Источники и приемники помех могут характеризоваться различными физическими принципами передачи энергии электромагнитных процессов от источника к приемнику помех (табл.1) [2].

Таблица 1. Механизмы связи источников и приемников помех

<b>Электромагнитное окружение</b> (источники помех)			
<b>Гальваническая связь</b> (по проводам или при разряде атмосферного и статического электричества)	<b>Емкостная связь</b> (через электрическое поле)	<b>Магнитная связь</b> (через магнитное поле)	<b>Электромагнитная связь</b> (через излучение)
<b>Приемник</b> (рецептор помех)			

Изменение хода магнитного поля может быть связано как с естественными причинами, так и с причинами, имеющими техногенный характер. Эти факторы, в свою очередь, вызывают помехи и погрешности в ходе магнитного поля. Естественные помехи образуются электромагнитными процессами и явлениями, которые объективно происходят в различных оболочках Земли и космосе и непосредственно не связаны с деятельностью человека. Искусственные или индустриальные помехи обусловлены электромагнитными процессами и явлениями в различных технических системах, созданных человеком.

Геомагнитное поле, измеренное на различных станциях, характеризуется такими естественными изменениями в ходе, как: солнечно-суточная (Sq) и лунно-суточная вариации, магнитные бури, неидентичность протекания внешних вариаций в различных точках земли, а также электромагнитные помехи типа грозových разрядов. Изменения в ходе магнитного поля, связанные с техногенным характером, можно отнести к внешним факторам, обуславливающим помехи и погрешность в ходе геомагнитных наблюдений. К ним относятся: импульсные помехи, гармонические помехи, влияние работы электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ), используемой на Научной станции для возбуждения электромагнитного поля в земной коре, техногенные помехи в зоне чувствительности магнитометра, вызывающие ступенчатое изменение поля, всплесков сетевого напряжения и искрящих контактов.

В процессе обработки результатов измерений, основанной на общепринятом разностном методе, в специальной программе для обработки геомагнитных наблюдений проводится удаление помех и выделение полезного сигнала.

Ход магнитного поля по станции Ак-Суу за период с 8 по 13 ноября 2006 года приведен на рис.1, из которого видно, что изменения в ходе связаны с естественными, природными факторами. Это пример Sq-вариации и изменения магнитного поля вследствие влияния солнечной активности – геомагнитная буря. Если ход магнитного поля условно разделить на временные участки, то можно увидеть, как периоды спокойной солнечной активности (08.11.2006) сменяются

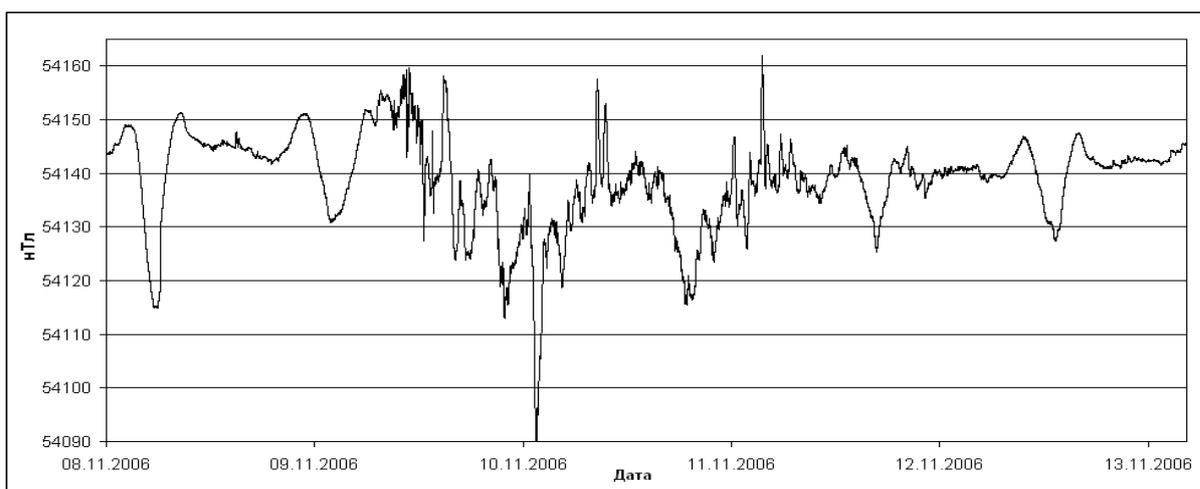


Рис.1. Ход магнитного поля по станции Ак-Суу.

резким возмущением (9.11.2006 – 11.11.2006) – наблюдается Dst-вариация во время магнитной бури, в этот период Sq-вариация выделяется не отчетливо, а значения поля изменяются до нескольких десятков нТл. Начиная с 12.11.2006 Sq-вариация снова видна в ходе геомагнитного поля и изменения не столь очевидны, как при магнитной буре. Такого рода непериодические изменения в ходе магнитного поля учитываются, так как важны для последующей обработки данных, и поэтому их нельзя исключать при проведении анализа.

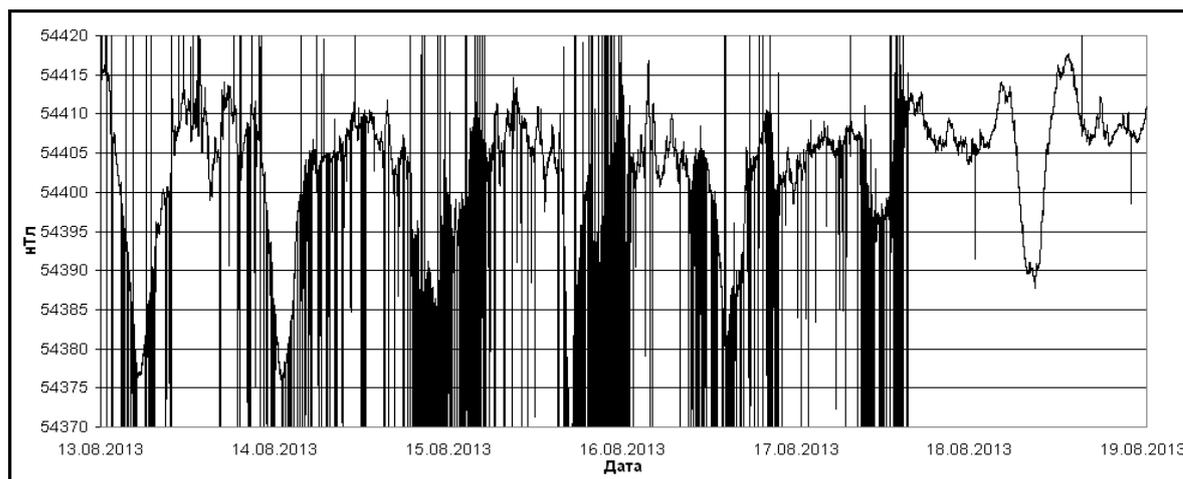


Рис.2. Ход магнитного поля по станции Таш-Башат с импульсными помехами.

Перемещение железа и других металлов в зоне чувствительности датчика магнитометра, а также смещение самого датчика могут также привести к погрешности измерения и создать импульсные помехи. Примеры изменения хода магнитного поля, связанные с техногенными помехами (строительные работы, сварочные работы и т.п.) представлены на рис.2.

Для того чтобы устранить такого рода помехи, в программе для обработки геомагнитных данных предусмотрена функция восстановления хода магнитного поля по другой (наиболее близкой) станции. Для этого оператор выводит графики с установлением временного интервала по станции, ход магнитного поля которой нужно восстановить, и станции, по ходу магнитного поля которой будет произведено восстановление. В случае, если восстановление по ближней станции невозможно, то выбранный оператором временной интервал (бракованный, с помехой) удаляется [4].

К основным источникам гармонических помех относятся преобразовательные и выпрямительные установки, а из бытового оборудования наиболее сильными источниками гармонических помех являются телевизоры. Определенный уровень гармонических помех может создавать и оборудование энергосистем: вращающиеся машины, трансформаторы. Пример гармонических помех приведен на рис. 3(а) и разности – рис. 3(б) по станции Карагай-Булак за 11 июля 2013 года.

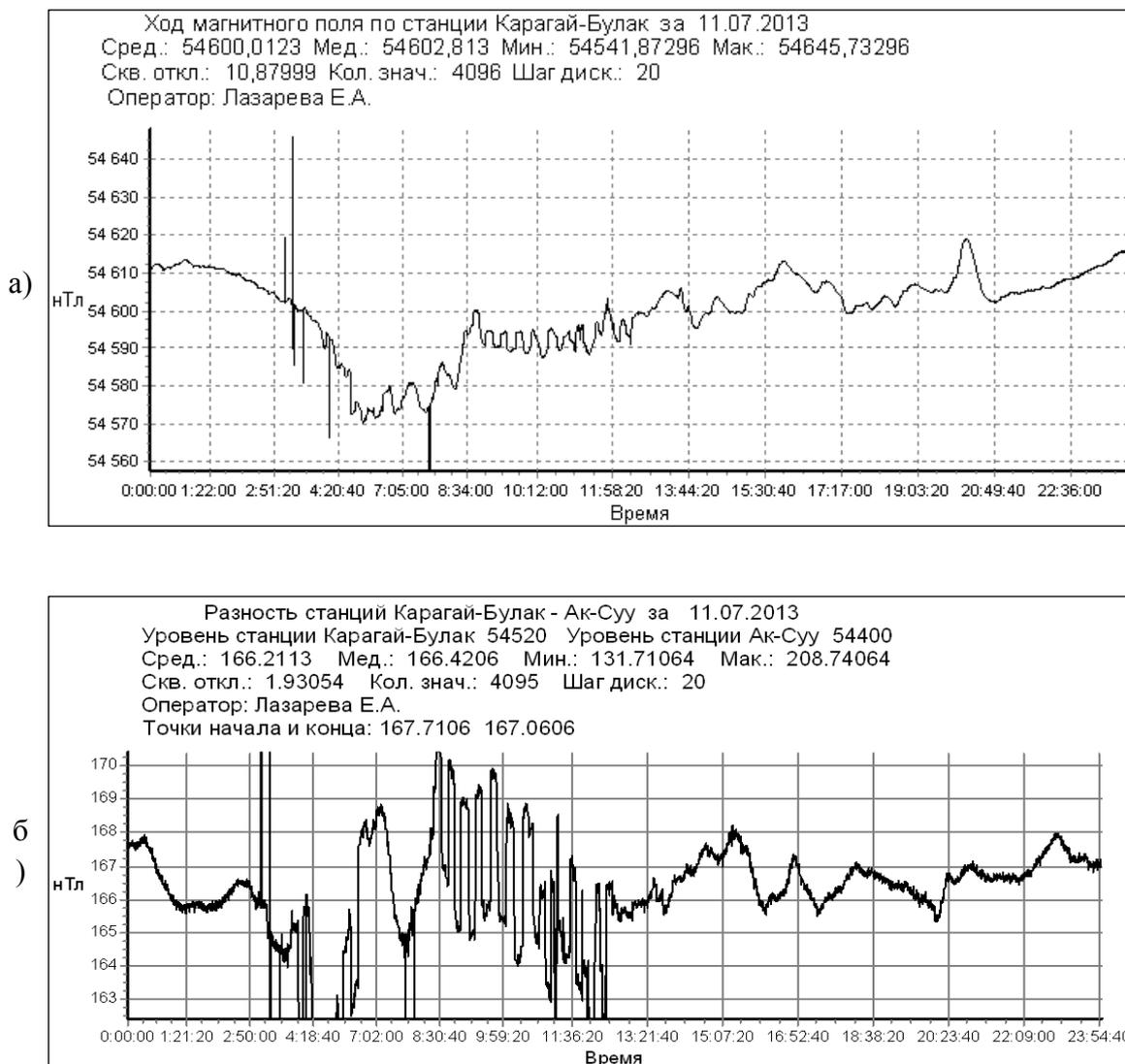


Рис. 3. Суточный ход магнитного поля по станции Карагай-Булак (а) и разность станций Карагай-Булак – Ак-Суу (б).

Влияние работы электроразведочной генераторной установки (ЭРГУ), используемой на Научной станции для возбуждения электромагнитного поля в земной коре, хорошо прослеживается на графиках магнитного поля близко расположенных станций – Чонкурчак (31 км) и Таш-Башат (28 км).

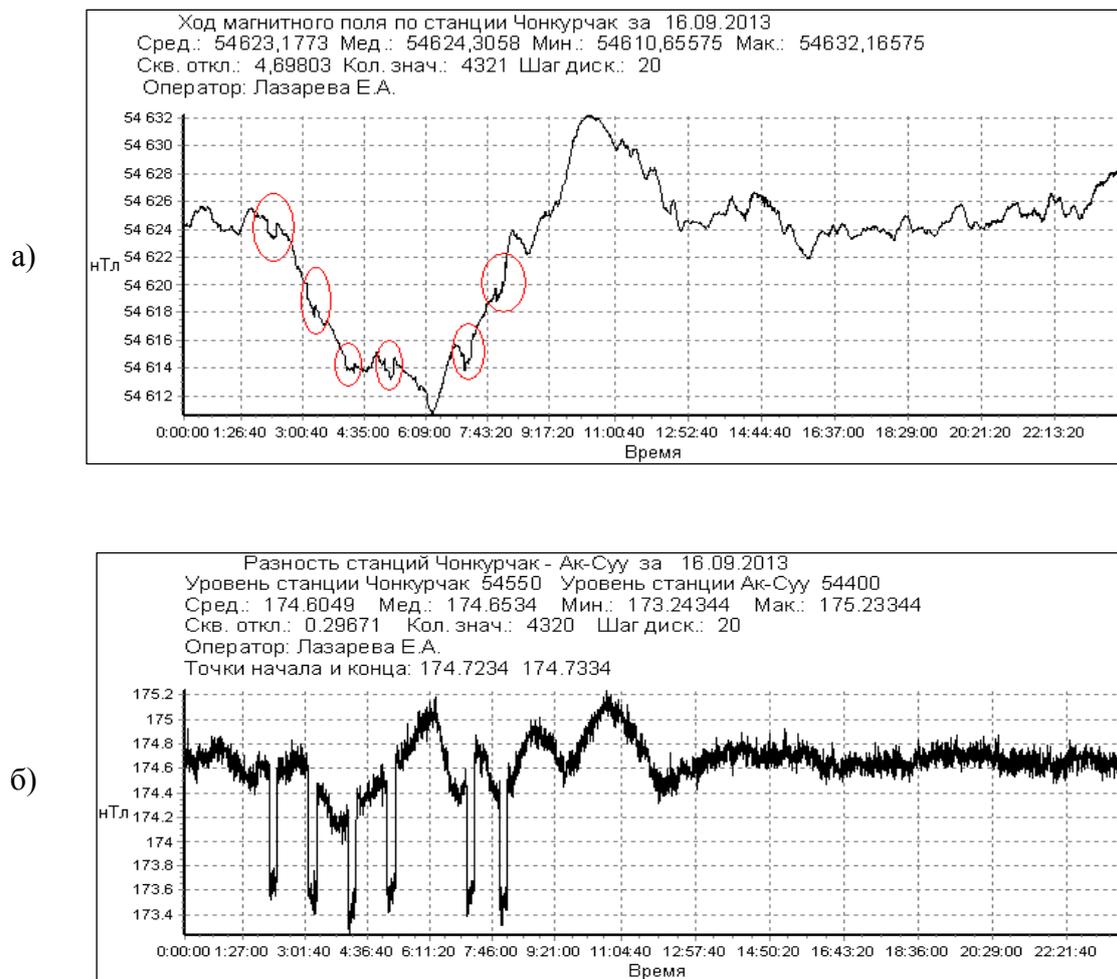


Рис. 4. Ход магнитного поля с помехами, вызванными работой ЭРГУ (а), и разность станций Чонкурчак – Ак-Суу с помехами, вызванными работой ЭРГУ (б).

На рис. 4а и рис. 4б представлены ход магнитного поля и ход разности по станции Чонкурчак при работающей установке. Для сравнения на рис. 5а и рис. 5б приведены примеры магнитограмм хода магнитного поля и хода разности в выходные дни, когда нет сеансов работы ЭРГУ. Из магнитограмм видно, что искажение хода геомагнитного поля выглядит в виде П-образных отклонений, соответствующих по времени сеансам работы установки ЭРГУ.

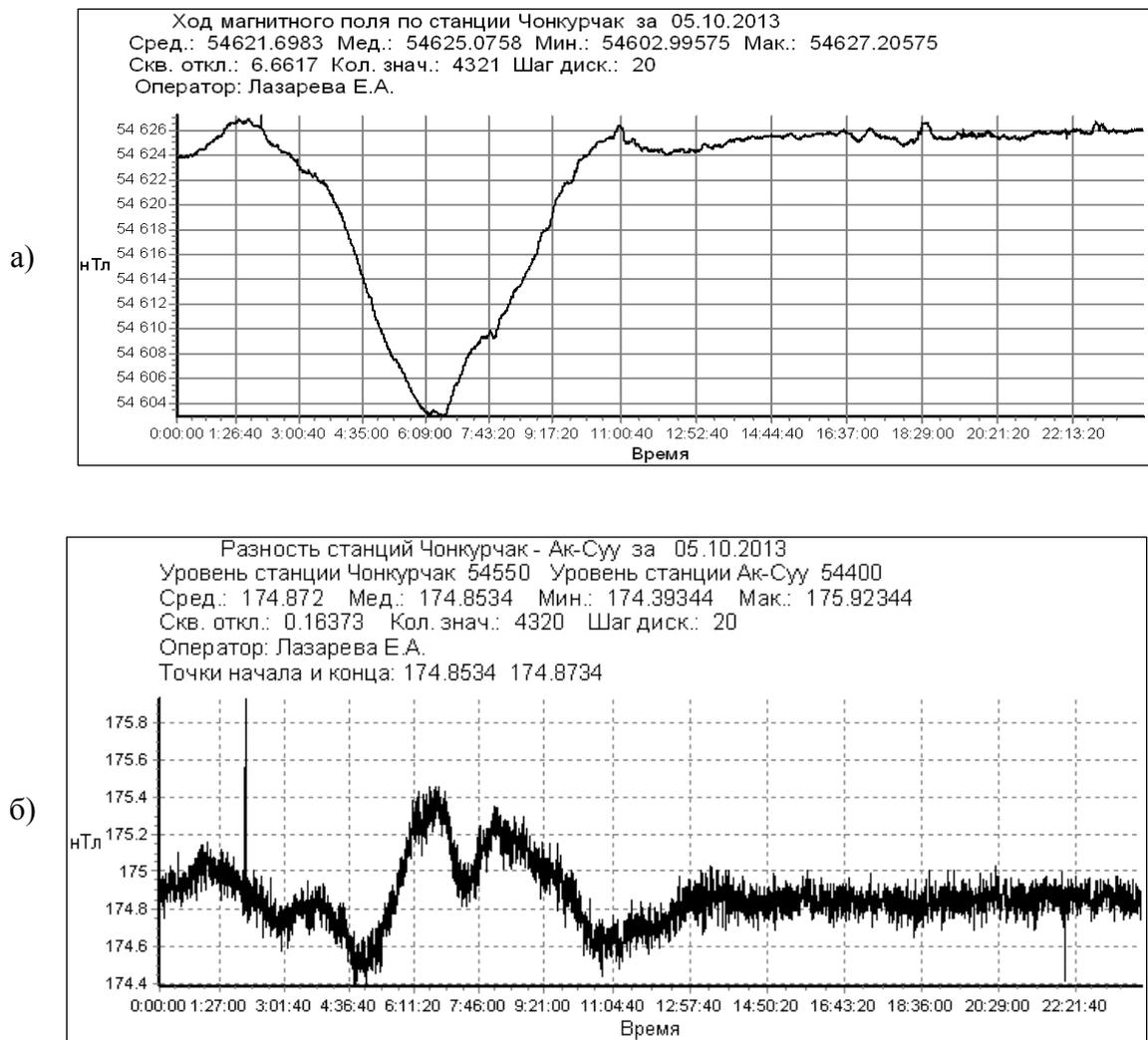


Рис.5. Ход магнитного поля по станции Чонкурчак в выходные дни (а) и ход разности по станции Чонкурчак в выходные дни (без сеансов работы ЭРГУ) (б).

Прохождение техногенной помехи может вызвать и ступенчатое изменение поля, как показано на рис. 6, где можно определить время и величину ступени для последующей коррекции ряда.



Рис.6. Магнитограмма со ступенчатым искажением

Наличие ступени в ходе магнитного поля определяется несоответствием значений в начале и в конце ряда. Для этого в программе производится корректировка ряда с устранением ступенчатого изменения поля. После редактирования ряда данные вносятся в базу ступеней (наименование станции, дата и время, величина ступени), а исправленные значения записываются в базу данных [4].

В заключение можно сказать, что приведенные выше типы погрешностей не охватывают всё многообразие электромагнитных помех, а представляют лишь наиболее распространенные из них при обработке геомагнитных данных. Различные виды изменения в ходе магнитного поля, как естественные, так и техногенные, выявляются и при необходимости корректируются для последующей обработки и анализа геомагнитного поля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Трапезников Ю.А., Брагин В.Д. и др. Отчет о результатах проведения опытно-методических прогностических наблюдений в пределах сейсмогенных зон Средней Азии в 1991-1993 гг.
2. ГОСТ Р 51317.2.5-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Классификация электромагнитных помех в местах размещения технических средств. 2001 г.
3. Чечкин С.А. Основы геофизики. Ленинград: Гидрометеиздат. 1990 г.
4. Бобровский В.В., Плисовицкая Е.А. Программа для обработки данных геомагнитных наблюдений ИС РАН 09.000.000 ИЭ. 2012 г.

## МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ И МАНГИТОВАРИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПАМИРО-АЛАЙСКОМ РЕГИОНЕ

Матюков В.Е.

тел.: +996550018386 [vitaliy@gdirc.ru](mailto:vitaliy@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение Научная станция  
Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызстан

Памиро-Тянь-Шаньский регион в Центральной Азии представляет собой одно из лучших мест в мире для изучения современных деформационных процессов в литосфере наиболее масштабных и активных внутриконтинентальных орогенов. Современное поперечное сокращение Тянь-Шаня, по данным GPS, происходит со средней скоростью 20 мм/год [1], скорость меридиональной составляющей сокращения Памира также составляет около 20 мм/год [2].

Особый интерес вызывает круг вопросов, связанных с динамическим взаимодействием горных систем Тянь-Шаня и Памира. Территория области сближения Памира и Тянь-Шаня получила название Памиро-Алайской зоны [3]. Эта зона включает в себя Заалайский хребет и высокогорную Алайскую долину с примыкающим к ней на севере Алайским хребтом. На сегодняшний день основные представления о строении этой сложнопостроенной области получены в результате проведения структурно-геологических, палеомагнитных, сейсмических, сейсмологических исследований и изучения современных движений земной коры методами наземной и космической геодезии. Эти представления, в первую очередь, надежно определяют характеристики приповерхностных структур, и крайне мало результатов последних лет, связанных с детальным изучением глубинного строения Памиро-Алайской зоны. В этой ситуации ценную информацию могут дать детальные магнитотеллурические зондирования.

### Профиль «TIPAGE-ALAI»

Базовым профилем регионального масштаба является профиль «TIPAGE», выполненный совместными усилиями Научной станции и Центра наук о Земле, GFZ г. Потсдам, Германия в рамках мульти-дисциплинарной программы изучения геодинамики Памира и Тянь-Шаня (TIPAGE) [4,5]. Был пройден магнитотеллурический профиль длиной около 350 км от Афгано-Таджикской границы на юге через Памирское плато, Алайскую впадину и Южно-Тянь-Шаньскую горную гряду до г. Ош. Исследования вдоль этого профиля предоставляют возможность получения новой информации о глубинном строении литосферы зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня в меридиональной полосе 39-40.4° с.ш. и 73.1-73.7° в.д.

Для проведения исследований был выбран сегмент регионального профиля «TIPAGE» длиной 170 км от оз. Кара-Куль до г. Ош. Здесь и далее на этот участок профиля «TIPAGE» будем ссылаться как на профиль «TIPAGE-ALAI» (рис. 1).

В результате выполнения такого комплекса зондирований на гетерогенной сети наблюдений профиля «TIPAGE-ALAI» был сформирован многокомпонентный ансамбль оценок передаточных операторов (импеданса и типпера), включающий одноточечные (local) и двухточечные (remote reference)

оценки передаточных функций в объединенном диапазоне периодов  $T = 0.001-10000$  с.

Двумерная инверсия магнитотеллурических и магнитовариационных данных, полученных на профиле «TIPAGE-ALAI», выполнялась с помощью программы Rodi–Maskie [6].

Входной многокомпонентный ансамбль инвертируемых данных профиля «TIPAGE-ALAI» включал в себя наблюдаемые значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса для двух поляризаций электромагнитного поля, а также значения геомагнитного типпера в  $(Re, Im)$  представлении, заданные в 78 пунктах профиля длиной около 170 км для 30 периодов зондирования в интервале от 1000 Гц до 2000 с.



Рис. 1. Карта-схема расположения магнитотеллурических профилей «Дараут-Курган», «TIPAGE-ALAI» и «Нура», пересекающих Алайскую впадину. Синие кружки - пункты МТЗ-МВЗ; синие линии – профили МТЗ-МВЗ (с запада на восток: «Дараут-Курган», «TIPAGE», «Нура»); красные кружки – ближайшие населенные пункты; красные линии – основные разломы: ГПН – Главный Памирский надвиг (Заалайский разлом).

Сеточная аппроксимация модели состояла из 228 горизонтальных узлов и 128 слоев с латеральными изменениями по размеру меньшими, чем коэффициент 1.07 между любыми соседними ячейками, для того, чтобы удовлетворить ограничениям программы 2D-инверсии. Большинство слоев предназначены для адекватного представления в модели топографического рельефа, изменения высот которого вдоль линии профиля составляют около 1.5 км. Такая детальная аппроксимация рельефа необходима для обеспечения подбора данных на высоких частотах (от 100 Гц).

После нескольких тестовых расчетов инверсии было определено значение параметра регуляризации  $\tau = 3.0$ .

Пределы погрешностей (весовые коэффициенты) инвертируемых данных были установлены следующим образом: модуль кажущегося сопротивления (TE-мода) – 30%, модуль кажущегося сопротивления (TM-мода) – 30%, фаза импеданса (TE-мода) – 5°, фаза импеданса (TM-мода) – 5°, типпер (Hz) – 0.1%.

Стартовая модель для 2D-инверсии представляет собой однородную среду 100 Ом·м до глубин 100 км, ниже распределение сопротивления – горизонтально-слоистое. Следует отметить, что плотность и геометрия сеточной аппроксимации в процедуре автоматизированной инверсии, а также включение всех ячеек разбиения в оптимизационный подбор обеспечивают плавность построения геоэлектрических структур и отсутствие ограничений для различных гипотез о глубинном строении региона исследования. Далее была выполнена совместная бимодальная 2D-инверсия многокомпонентного ансамбля данных, включающего амплитуды кажущегося сопротивления, фазы импеданса и типперы, для профиля «TIPAGE-ALAI».

В результате выполненных 300 внутренних итераций в процессе совместной параллельной инверсии всего входного ансамбля данных погрешность подбора по всем компонентам (RMS-невязка) составила 1.52.

Геоэлектрическая модель по профилю «TIPAGE-ALAI» представлена на рис. 2.

В южной части разреза (в районе оз. Кара-Куль) выделяется проводник (1) с сопротивлением до 2-3 Ом·м на глубинах от 15 до 30 км. Под Заалайским

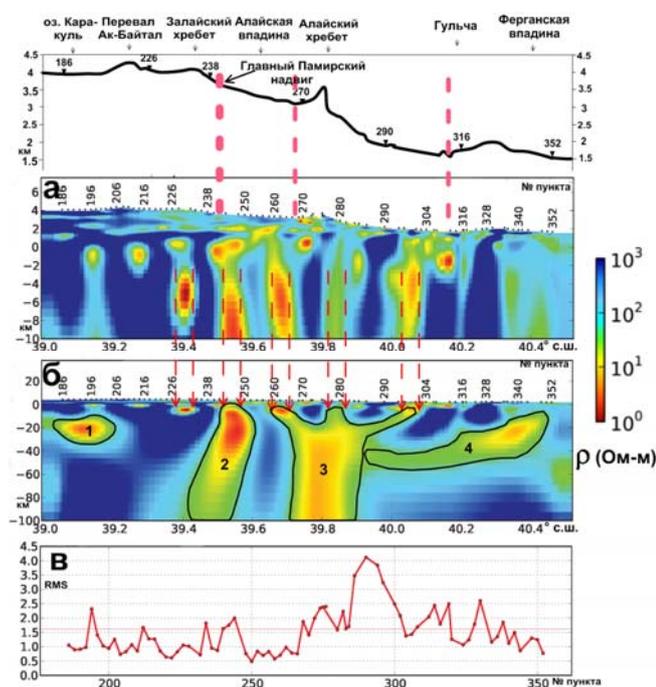


Рис. 2. Геоэлектрический разрез региональной профильной 2D-модели «TIPAGE-ALAI»: а – верхняя часть разреза, б – полный разрез, в – распределение погрешности подбора данных по всем инвертируемым компонентам (RMS-невязка) для пунктов профиля.

хребтом выявляется проводящая зона (2), соответствующая Главному Памирскому надвижку. Также определяется мощная субвертикальная проводящая зона (3) под Алайской впадиной, достигающая глубины 100 км и имеющая несколько ответвлений в самой верхней части разреза до глубин 5-10 км. В северной части разреза присутствует субгоризонтальная проводящая структура (4), которая начинается под северным склоном Алайского хребта на глубинах порядка 80 км и заканчивается под Ферганской впадиной, поднимаясь до глубин 15-20 км.

Аналогично проведенной инверсии по профилю «TIPAGE-ALAI» с помощью программы Rodi-Maskie были построены геоэлектрические разрезы по локальным профилям «Дараут-Курган» и «Нура» (рис.3).

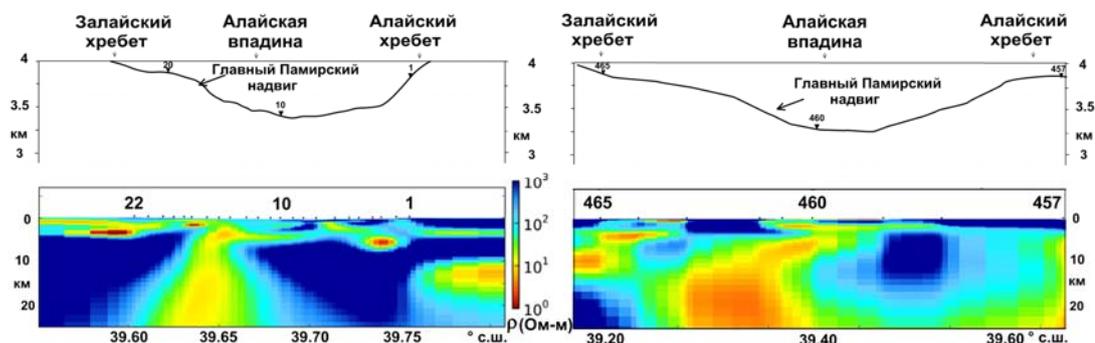


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы вдоль локальных профилей «Нура» (слева) и «Дараут-Курган» (справа).

На всех профильных разрезах трассируется линейная субширотная проводящая структура в интервале глубин 0-25 км, соответствующая зоне Главного Памирского надвига. Причем максимальная электрическая активность (пространственные размеры и проводимость) этого продольного проводника определяется в западном и центральном сечениях (профили «Дараут-Курган» и «TIPAGE»). В восточной части Алайской зоны (сечение по профилю «Нура») наблюдается уменьшение ширины этой проводящей структуры и ее проводимости. Общая субвертикальная направленность проводящей зоны, отвечающей Главному Памирскому надвику, сохраняется практически без изменений во всех трех рассматриваемых сечениях.

### Сейсмичность Памиро-Алайского региона

В правой части рисунка 4 показана карта эпицентров землетрясений с энергетическим классом  $K > 6$ , из которой мы видим, что большая их часть локализуется в узкой полосе вдоль простираения Алайской впадины. В левой части – геоэлектрический разрез 2D-модели «TIPAGE-ALAI» с гипоцентрами землетрясений класса  $K > 11$  (по данным сейсмологической сети ИС НАН КР). Выявлена пространственная корреляция положения гипоцентров землетрясений, произошедших на территории Памиро-Алая, с особенностями геоэлектрической структуры земной коры этого района. Очаги землетрясений локализируются в градиентных зонах вблизи контактов между блоками или телами с контрастными геоэлектрическими параметрами. Исключение составляет проводящая область, соответствующая зоне Главного Памирского надвига и содержащая графитизированные образования. Гипоцентры землетрясений ( $K > 11$ ) распределены внутри всего объема этой области до глубин 40 км.

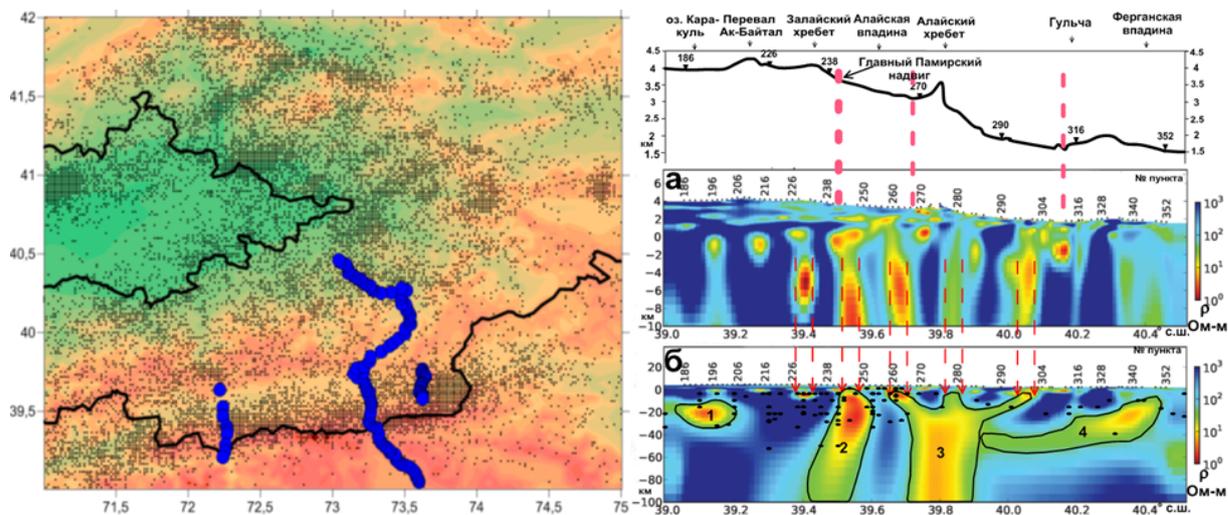


Рис. 4. В левой части рисунка приведена карта распределения эпицентров землетрясений с энергетическим классом  $K > 6$ . В правой части – геоэлектрический разрез профильной 2D-модели «TIPAGE-ALAI»: а – верхняя часть разреза, б – полный разрез. Темными кружками показаны гипоцентры землетрясений  $K > 11$  в полосе шириной  $\pm 50$  км от линии профиля.

### Заключение

Сформулируем наиболее важные результаты проведенных магнитотеллурических исследований в Памиро-Тянь-Шаньском регионе:

1. С помощью двумерной инверсии магнитотеллурических и магнитовариационных данных построена глубинная геоэлектрическая модель литосферы Алайской зоны сочленения Памира и Тянь-Шаня на участке от оз. Кара-Куль до г.Ош профиля «TIPAGE-ALAI».
2. Сопоставлены геоэлектрические разрезы по трем профилям «TIPAGE-ALAI», «Дараут-Курган» и «Нура». Выявлено, что проводящая структура, соответствующая зоне Главного Памирского надвига, имеет протяженное субширотное простирание и отчетливо проявляется на всех трех профилях.
3. В зоне сочленения Памира и Тянь-Шаня выявлена корреляция положения гипоцентров землетрясений и градиентных зон с контрастными геоэлектрическими свойствами.

Автор выражает искреннюю благодарность Рыбину А.К., Баталеву В.Ю., Баталевой Е.А., а также коллегам из Центра наук о Земле (г. Потсдам) О. Ritter, U. Weckmann, P. Sass, W. Korolevski. за помощь и ценные советы при выполнении исследований.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Zubovich F.V, Wang X., Scherba Y.G., Schelochkov G.G., Reilinger R., Reigber C., Mosienko O.I., Molnar P., Michajljow W., Makarov V.I., Li J., Kuzikov S.I., Herring T.A., Hamburger M.V., Hager B.X., Dang Y., Bragin V.D., Beisenbaev R. GPS velocity field for the Tien Shan and surrounding regions // Tectonics. 2010. Vol. 29 (TC6014). P. 1-23.

2. Mohadjer S., Bendick R., Ischuk A., Kuzikov S., Kostuk A., Saydullaev U., Lodi S., Kakar D.M., Wasy A., Khan M.A., Molnar P., Bilham R., Zubovich A.V. Partitioning of India-Eurasia convergence in the Pamir-Hindu Kush from GPS measurements // *Geophys. Res. Lett.* 2010. Vol. 37 (L04305). P. 1-6.
3. Леонов Н.Н. Тектоника и сейсмичность Памиро-Алайской зоны. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 164 с.
4. Sass P., Ritter O., Rybin A., and Batalev V. 2D and 3D inversion of MT data from the continental collision zone in the Pamir and Tien Shan, Central Asia. *Schmucker-Weidelt-Kolloquium Neustadt an der Weinstraße*, 2011. pp. 19-23.
5. Sass P., Oliver R., Muñoz G., Rybin A., Batalev V. Magnetotelluric data from the continental collision zone in the Pamir and Tien Shan, Central Asia // *Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Тезисы докладов Пятого международного симпозиума*. г. Бишкек. 19-24 июня 2011 г. ИС РАН. 2011.
6. Rodi W. L., and Mackie R. L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion, *Geophysics*. 2001. v 66. P. 174-187.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНОГО ТРАКТА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ**

Мясников Д.С.

тел.: (0543) 876584; e-mail: [miasnick-d@yandex.ru](mailto:miasnick-d@yandex.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция  
Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызская Республика.

### **Введение**

Основная задача любой измерительной системы- это получение значений параметров и характеристик контролируемого объекта (процесса) с оценкой погрешности их измерения, которая, по меньшей мере, не должна превышать заданное значение.

В представленной работе рассмотрены некоторые аспекты и особенности решения одной из таких задач применительно к аппаратуре электроразведочного измерительного комплекса, на базе которого обеспечивается электромагнитный мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в сейсмоактивных зонах, в частности, на территории Бишкекского геодинамического полигона.

В настоящее время в ИС РАН активно ведутся работы по созданию современного измерительного комплекса (ЭРК ШПС) для электромагнитных зондирований земной коры с применением метода ЗСБ (зондирование становлением поля в ближней зоне) и шумоподобных зондирующих сигналов (ШПС) [1]. Такой комплекс должен обеспечить повышение технических возможностей проводимых с помощью него научных экспериментов и исследований. В частности, с помощью такого комплекса ожидается многократное повышение глубинности проводимых измерений без увеличения энергозатрат по сравнению с существующими отечественными и зарубежными аналогами, в которых для зондирования применяются обычные периодические последовательности токовых импульсов.

Разработан и изготовлен первый исследовательский экспериментальный образец ЭРК ШПС, состоящий из зондирующей аппаратуры, представляющей собой генератор импульсов тока специальной формы, подаваемых в зондирующую одновитковую индукционную рамку, располагаемую горизонтально на поверхности земли, и приемного измерительного тракта, состоящего из последовательно включенных индукционного датчика сигналов (ИДС), располагаемого вертикально в геометрическом центре зондирующей рамки, блока усиления и фильтрации принимаемых ИДС сигналов (БУФС) и блока управления и регистрации сигналов (БУРС). Основным параметром, измеряемым с помощью этого комплекса - кажущееся электрическое сопротивление горных пород. При этом непрерывно контролируются изменения этого параметра во времени на различных глубинах. Для получения этого параметра в БУРС осуществляется синхронная регистрация зондирующих сигналов и сигналов, получаемых на выходе приемного измерительного канала (выход БУФС). При вычислении  $\rho_k$ , очевидно, необходимо учитывать искажения, вносимые в форму регистрируемых сигналов приемным трактом, т.е. желательно, как можно точнее знать комплексную частотную характеристику измерительного канала, включая датчик сигналов. Для этого в измерительном комплексе ЭРК ШПС предусмотрены соответствующие аппаратные и программные средства, позволяющие с помощью процедуры градуировки измерительного канала оперативно перед каждым измерительным сеансом получать необходимые его характеристики. Для проведения данной процедуры в измерительном комплексе реализован специальный режим регистрации калиброванных градуировочных сигналов и соответствующая их программная обработка.

#### **Градуировка приемного измерительного канала**

С целью снижения влияния промышленных помех на точность получаемых данных градуировка приемного измерительного тракта обычно проводится в полевых условиях, желательно перед проведением каждого измерительного сеанса. На рис. 1 приведена схема подключения блоков ЭРК ШПС для проведения градуировки.

В режиме градуировки в БУРС формируются цифровые управляющие сигналы с фиксированной длительностью импульсов, поступающие по длинной линии связи на вход блока ФГС, который формирует соответствующие прямоугольные токовые импульсы той же длительности в градуировочной катушке индукционного датчика. Под действием этих импульсов внутри объема измерительной катушки индукционного датчика формируются импульсы магнитного поля также прямоугольной формы. Наведенный в измерительной катушке под воздействием переменного магнитного поля сигнал предварительно усиливается и поступает по длинной линии связи на вход БУФС, где подвергается дальнейшему усилению и фильтрации. Далее сигнал с выхода БУФС поступает на один из аналоговых входов БУРС (вход "A\_IN2" на рисунке 1), где он преобразуется в цифровую форму и регистрируется в течение заданного времени. Зарегистрированный сигнал подвергается обработке с помощью специальной программы BBS\_Viewer [2]. Для снижения влияния промышленных и других видов помех, включая собственные шумы измерительного канала, на точность проводимых измерений в программе производится синхронное накопление первичного сигнала и дополнительная фильтрация накопленного с помощью фильтра с переменной длительностью усредняющего окна.

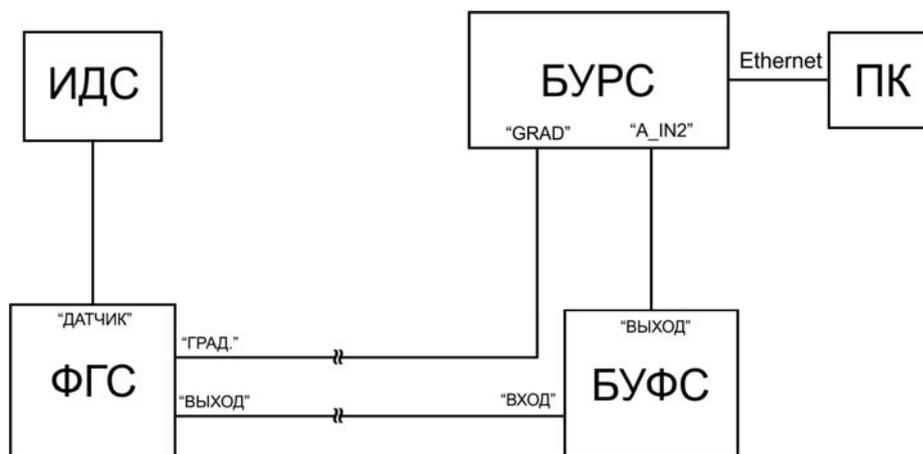


Рис. 1. Схема проведения градуировки измерительного канала:

**ИДС** – индукционный датчик сигналов; **ФГС** – формирователь градуировочных сигналов; **БУФС** – блок усиления и фильтрации сигналов; **БУРС** – блок управления и регистрации сигналов; **ПК** – персональный компьютер.

Важным моментом при проведении градуировки является выбор длительности импульсов градуировочного сигнала. Для этого необходимо соблюдать несколько условий:

- Для наилучшего подавления промышленных помех частотой 50 Гц при синхронном накоплении первичного градуировочного сигнала длительность импульса градуировки должна быть кратной периоду повторения этих помех.
- Для получения достоверной неискаженной формы АЧХ в области высоких частот длительность градуировочного импульса должна превышать длительность переходной характеристики приемного тракта. Так как переходная характеристика по форме приближается к бесконечно убывающей экспоненте, то в первом приближении можно считать, что уровень этой экспоненты к концу градуировочного импульса не должен превышать требуемой погрешности вычисления АЧХ в ВЧ области:

$$e^{-\frac{T_{гр}}{\tau}} < \delta,$$

где  $T_{гр}$  – длительность градуировочного импульса;  $\tau$  – постоянная времени переходной характеристики приемного тракта;  $\delta$  – погрешность вычисления АЧХ в области высоких частот.

С учетом вышеперечисленных условий длительность импульса градуировочного сигнала была выбрана равной 2,56 с, при погрешности, не превышающей 0,02 % от максимума АЧХ.

Немаловажную роль при проведении градуировки играет выбор длительности регистрации. При синхронном накоплении зарегистрированного градуировочного сигнала этот параметр влияет на подавления помех, создаваемых теллурическими токами, протекающими в земной коре, грозовыми разрядами и собственными шумами радиоэлементов измерительной аппаратуры. При условии нормальности плотности распределения вероятности таких помех величина подавления будет прямо пропорциональна  $\sqrt{N}$ , где  $N$  – количество накапливаемых периодов градуировочного сигнала. Так, при длительности

измерительного сеанса 60 сек, длительности градуировочного импульса 2,56 сек количество накапливаемых периодов (импульсов) будет равно 23, а коэффициент подавления помех около 5. Для достижения большего подавления необходимо увеличивать длительность сеанса градуировки.

### **Вычисление частотных характеристик приемного измерительного тракта**

Известно, что АЧХ измерительного канала можно получить, применив прямое преобразование Фурье к его импульсной переходной характеристике (ИПХ)  $g(t)$  [3]. ИПХ представляет собой реакцию измерительного канала при подаче на его вход очень короткого прямоугольного импульса в пределе представляющим собой  $\delta$ -функцию Дирака. Импульсная переходная характеристика связана с переходной характеристикой  $h(t)$ , представляющей собой реакцию измерительного канала на единичный скачок  $1(t)$  (функция Хевисайда):

$$g(t) = \frac{dh(t)}{dt}.$$

Формирование очень коротких импульсов- технически сложная задача, поэтому для получения АЧХ регистрируется реакция измерительного канала на скачок тока (прямоугольные токовые импульсы градуировки), подаваемого в градуировочную катушку индукционного датчика. Далее в программе BBS\_Viewer выполняется дифференцирование полученной переходной характеристики. В результате получается импульсная переходная характеристика измерительного канала, к которой применяется процедура быстрого прямого преобразования Фурье (БПФ). Модуль комплексной функции, полученной в результате БПФ, является искомой АЧХ измерительного канала. Для вычисления параметров АЧХ, таких как частота среза, подавление сигналов за пределами полосы и др., функция АЧХ нормируется.

На рис. 2 представлен график нормированной АЧХ приемного тракта в области частот до 25,6 кГц (частота Найквиста). Важным требованием к АЧХ является ее монотонность в полосе пропускания, то есть отсутствие резонансов и антирезонансов. По графику оцениваются значения верхней частоты среза приемного тракта  $f_{св} = 7,9$  кГц и подавление на частоте  $2f_{св}$  -  $D_{2f_{св}} = -11,46$  дБ.

Выше изложенный метод имеет ограничения, не позволяющие с заданной точностью измерить частотную характеристику приемного тракта в области нижних частот 0 - 2 Гц, т.к. АЧХ в программе обработки BBS\_Viewer вычисляется с помощью БПФ. При этом шаг сетки частот  $\Delta f_d$  определяется частотой дискретизации по времени  $F_d$  и длительностью зарегистрированного (накопленного) сигнала, а точнее количеством дискрет  $n$ , приходящихся на один импульс градуировочного сигнала:

$$\Delta f_d = \frac{2F_d}{n}, \quad n = 2^N,$$

где  $N$  – целое число.

Например, при  $F_d = 51200$  Гц, длительности градуировочных импульсов 2,56 сек величина  $n$  определится как  $n = 2,56 \cdot F_d = 131072 = 2^{17}$ . Тогда  $\Delta f_d = 0,78125$  Гц. Таким образом, на низкочастотную область АЧХ приходится всего 3 отсчета, что явно не достаточно для оценки формы и вычисления параметров АЧХ приемного измерительного тракта в области нижних частот.

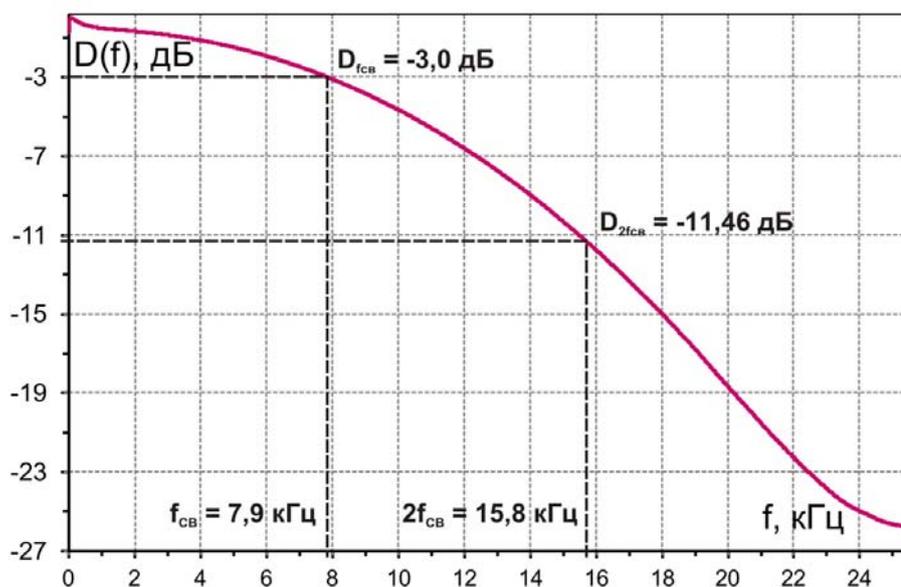


Рис. 2. График нормированной АЧХ приемного измерительного тракта.

Таким образом, для получения более точной формы АЧХ приемного тракта в области низких частот необходимо увеличивать частоту дискретизации градуировочных сигналов. В реализованной версии ЭРК ШПС не представляется возможным обеспечить  $F_d > 51200$  Гц. Поэтому для измерения АЧХ в НЧ области была применена прямая методика. Вместо прямоугольных импульсов на вход градуировочной катушки индукционного датчика подавался синусоидальный сигнал фиксированной амплитуды. Сигнал, наведенный в измерительной катушке датчика под воздействием магнитного поля, усиливался, фильтровался и поступал на вход осциллографа, с помощью которого измерялось значение амплитуды выходного сигнала. Измерения производились при различных частотах входного сигнала в диапазоне от 0,02 до 2 Гц.

По результатам измерений была построена нормированная АЧХ приемного измерительного тракта в области нижних частот путем аппроксимации измеренных значений степенным полиномом шестого порядка, график которого представлен на рисунке 3. По графику аппроксимирующего полинома определяется нижняя частота среза  $f_{сн} = 0,6$  Гц.

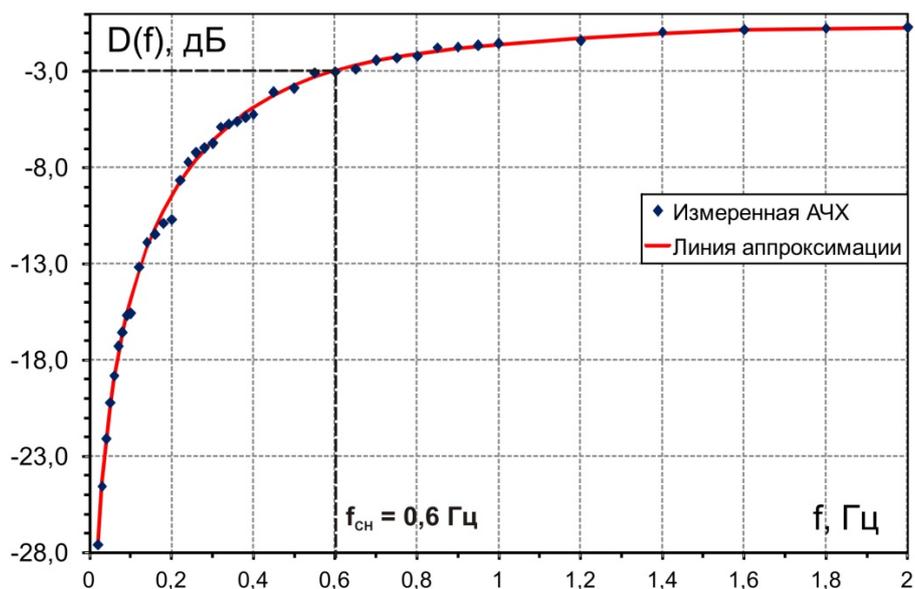


Рис. 3. График АЧХ приемного измерительного тракта в диапазоне частот от 0,02 до 2 Гц.

### Вычисление основных параметров индукционного датчика

По данным градуировки вычисляются коэффициент преобразования и постоянная интегрирования ИДС, являющиеся важными характеристиками индукционного датчика. В качестве исходных данных для вычислений берется зарегистрированный градуировочный сигнал, прошедший процедуру синхронного весового накопления [2]. На рисунке 4 представлена форма накопленного градуировочного сигнала длительностью 2,56 с.

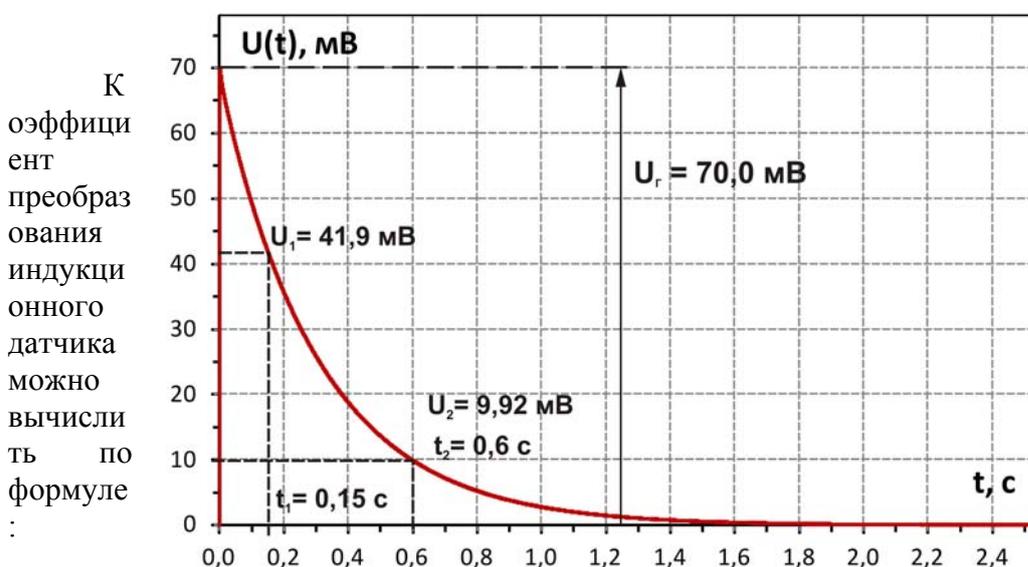


Рис. 4. График накопленного градуировочного сигнала.

(1)

где  $U_{\Gamma} = 0,07$  В – значение амплитуды накопленного градуировочного сигнала, определяемое по графику (рисунок 4);  $B_{\Gamma}$  – индукция магнитного поля, создаваемого градуировочной катушкой, вычисляемая по формуле:

$$B_{\Gamma} = \mu\mu_0 H_{\Gamma}, \quad (2)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная проницаемость вакуума;  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды (для воздуха  $\mu \approx 1$ );  $H_{\Gamma}$  – напряженность магнитного поля, создаваемого градуировочной катушкой, которая связана с протекающим в ней током  $I_{\Gamma}$  выражением:

$$H_{\Gamma} = I_{\Gamma} \cdot P, \quad (3)$$

где  $P$  – постоянная градуировочной катушки, которая определяется как отношение количества ее витков к длине намотки в метрах. Эти параметры известны: количество витков градуировочной катушки разработанного датчика  $n = 62$ , а длина ее намотки  $l = 0,62$  м. Таким образом, получаем:

$$P = \frac{n}{l} = 100 \text{ м}^{-1}, \quad (4)$$

Амплитуда импульсов тока, протекающего в градуировочной катушке, вычисляется по формуле:

$$I_{\Gamma} = \frac{U_{REF}}{R_0 + R_{\Gamma} + R_K}, \quad (5)$$

где  $U_{REF} = 5$  В – напряжение опорного источника, приложенное к контактам цепи градуировочной катушки;  $R_0 = 604$  Ом – сопротивление ограничительного резистора, включенного последовательно в цепь градуировочной катушки;  $R_{\Gamma} = 2,1$  Ом – активное сопротивление градуировочной катушки;  $R_K = 31,3$  Ом – сопротивление открытого электронного ключа, управляющего подачей напряжения  $U_{REF}$ . Подставив (2), (3), (4) и (5) в (1), получим формулу для расчета коэффициента преобразования индукционного датчика:

$$K_{ИДС} = \frac{(R_0 + R_{\Gamma} + R_K)U_{\Gamma}}{\mu\mu_0 P U_{REF}} \quad (6)$$

Подставив в полученное выражение численные значения, получим величину  $K_{ИДС} = 72 \cdot 10^3$  В/Тл = 0,072 мВ/нТл.

Постоянная интегрирования  $\tau$  индукционного датчика определяет максимально возможные регистрируемые времена становления поля, соответствующие максимальным значениям глубин зондирования для данного датчика [1]. Для вычисления  $\tau$  на графике накопленного градуировочного сигнала выбираются две точки на участке соответствующем экспоненциальному закону ( $0,1 \leq t \leq 0,7$  сек)  $t_1 = 0,15$  с и  $t_2 = 0,6$  с. Уровень накопленного градуировочного сигнала в этих точках принимает значения  $U_1 = 41,9$  мВ,  $U_2 = 9,92$  мВ согласно рисунку 4. Составляется система уравнений:

$$\begin{cases} U_1 = U_0 e^{-\frac{t_1}{\tau}} \\ U_2 = U_0 e^{-\frac{t_2}{\tau}} \end{cases}$$

Решая систему, получим:  $U_0 = U_2 e^{\frac{t_2 - t_1}{\tau} \ln \frac{U_1}{U_2}}$ ,  $\tau = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{U_1}{U_2}}$ .

Подставив значения  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $U_1$ ,  $U_2$  в полученные выражения, найдем значения  $U_0 = 67,73$  мВ и  $\tau = 0,312$  с. Таким образом, согласно ранее проведенным

теоретическим расчетам [1], разработанный датчик с 5 - ти процентной точностью способен измерять сигналы становления поля до времен 0,0312 секунд. Это, при удельном электрическом сопротивлении горных пород эквивалентного однородного слоя  $\rho = 319$  Ом·м, вычисленном для территории Бишкекского геодинамического полигона [4], соответствует максимальной глубине зондирования  $\approx 2,3$  км.

### **Выводы**

Процедура градуировки приемного измерительного канала ЭРК ШПС, проводимая с помощью специально разработанных программно-аппаратных средств, входящих в состав комплекса, позволила автоматизировать процесс измерения основных характеристик и параметров приемного тракта.

Вычисляемая в процессе градуировки комплексная частотная характеристика измерительного канала обеспечивает учет искажений, вносимых в форму регистрируемых сигналов приемным трактом, и получение более достоверных данных о глубинном электрическом разрезе земной коры в пункте измерения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Плисовицкая Е.А. Отчет (промежуточный) по НИР “Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей” // ИС РАН. 2012. Гос. рег. № 0120.0713073. 146 с.
2. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Плисовицкая Е.А., Копылов Е.Ю. Отчет (промежуточный) по НИР “Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей” // ИС РАН. 2013. Гос. рег. № 0120.0713073. 145 с.
3. Гутников В.С. Фильтрация измерительных сигналов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. 1990. 131 с.
4. Ильичев П.В., Бобровский В.В., Мясников Д.С., Лашин О.А., Плисовицкая Е.А. Отчет (промежуточный) по НИР “Разработка аппаратно-программных средств и основ технологий электромагнитного мониторинга геодинамических процессов в сейсмоактивных зонах и оценки их опасностей” // ИС РАН. 2011. Гос. рег. № 0120.0713073. 137 с.

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНИХ АМПЛИТУД ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ

Лашин О.А.

тел.: (0555) 075076; e-mail: [legyss@mail.ru](mailto:legyss@mail.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызская Республика

В ИС РАН с 2010 года по настоящее время проводятся работы по созданию современного измерительного комплекса с применением шумоподобных зондирующих сигналов (ШПС), призванного обеспечить дальнейшее повышение технических возможностей активного электромагнитного мониторинга напряженно-деформированного состояния земной коры, осуществляемого на территории Бишкекского геодинамического полигона. В частности, за счет внедрения нового измерительного комплекса в технологию мониторинга ожидается значительное увеличение контролируемых глубин земной коры без увеличения мощности зондирующей установки. Для обеспечения высокой точности измерения вариаций параметров земной коры, таких как кажущееся сопротивление горных пород ( $\rho_k$ ), предъявляются повышенные требования к стабильности амплитуды зондирующих импульсов тока, генерируемых аппаратурой измерительного комплекса. Например, для регистрации типовых вариаций  $\rho_k$ , величина которых по данным, получаемым с действующей в ИС РАН системы электромагнитного мониторинга, составляет порядка (5 – 10)% от среднего значения [1], необходимо, чтобы суммарная погрешность измерения сигналов становления поля, регистрируемых приемной частью измерительного комплекса, не превышала 1/3 от величины ожидаемых вариаций, т.е. не должна превышать 1,7 %. При этом если поровну разделить суммарную погрешность между ее составляющими, вносимыми приемной и зондирующей частями измерительного комплекса, то получаем, что для обнаружения (5 – 10)% - ных вариаций  $\rho_k$  необходимо, чтобы погрешность, определяемая нестабильностью амплитуды зондирующих сигналов, не превышала 0,85 %. Реализация быстродействующего источника тока с такой высокой стабильностью является непростой задачей, поэтому на первом этапе разработки генератора зондирующих сигналов для нового измерительного комплекса в качестве источника тока, обеспечивающего формирование зондирующих импульсов, были использованы аккумуляторные батареи большой емкости в надежде на то, что они за счет низкого выходного сопротивления обеспечат достаточную стабильность амплитуды токовых импульсов. На рис. 1 показан пример зарегистрированных изменений амплитуды зондирующих импульсов в течение 2 минут измерительного сеанса при среднем токе в нагрузке порядка 7 А. Согласно рис. 1 изменение амплитуды импульсов составило порядка 0,16 А, или примерно 2,3 % от максимального значения. Ускоренное понижение амплитуды тока происходит за первые 110 секунд, после чего процесс устанавливается, амплитуда тока становится практически неизменной. Процесс уменьшения амплитуды тока в течение измерительного сеанса связан с химическими явлениями в аккумуляторных батареях. Было замечено, что закон, по которому спадает ток, остается неизменным при различных величинах тока, меняется только масштаб этих изменений по амплитуде. В связи с этим появляется альтернатива созданию высокостабильного источника тока, заключающаяся в том, что в качестве

зондирующих сигналов при выполнении всех вычислительных операций по обработке зарегистрированных измерительным комплексом сигналов можно

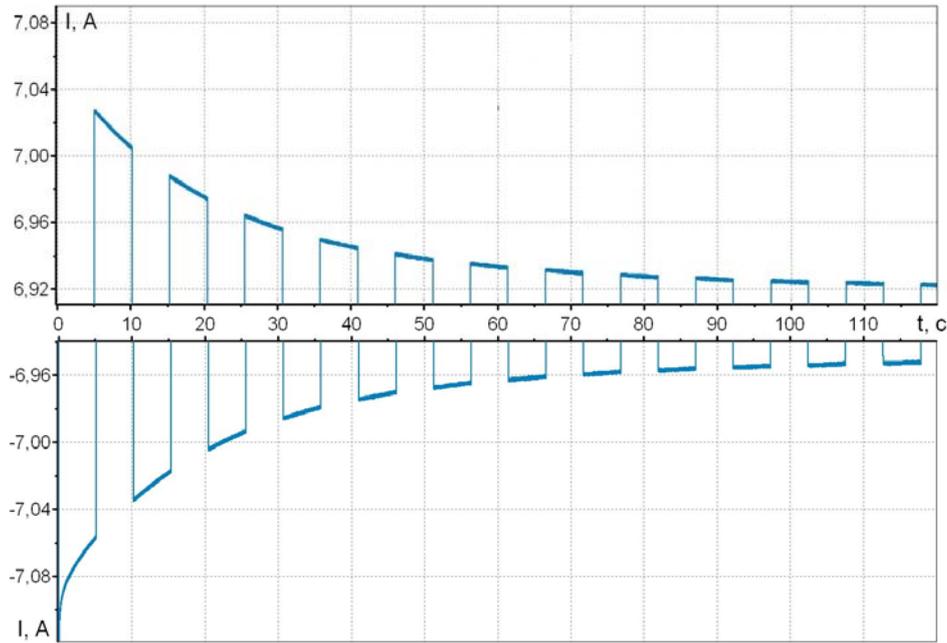


Рис. 1. Пример изменения амплитуды зондирующих импульсов за время измерительного сеанса (2 минуты).

использовать идеальную последовательность двуполярных прямоугольных импульсов (как с фиксированной длительностью, так и шумоподобных) с амплитудой, получаемой в результате применения специального алгоритма вычисляющего точное значение средней амплитуды зондирующих импульсов за время измерительного сеанса.

При этом среднее значение тока умножается на сгенерированные (идеальные) токовые импульсы единичной амплитуды, используемые в качестве опорного сигнала при корреляционной обработке принимаемого сигнала.

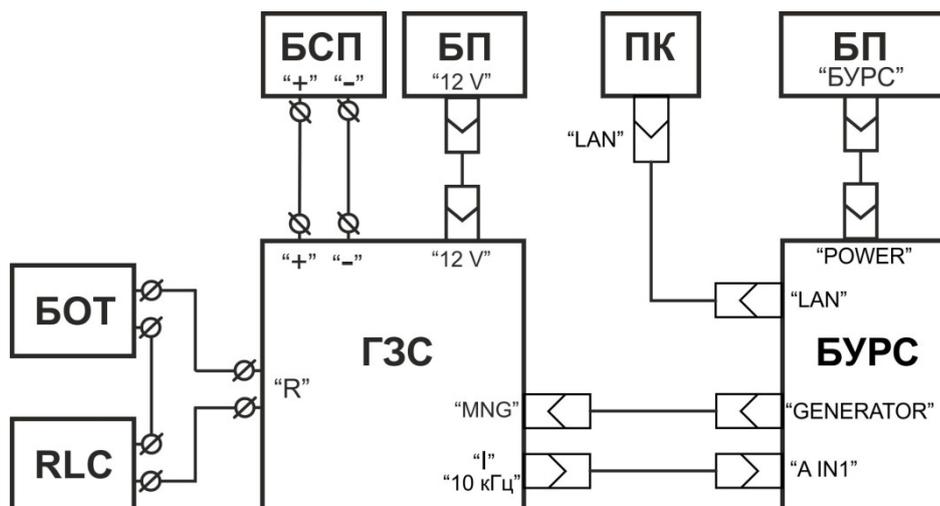


Рис. 2. Схема межблочных соединений для регистрации токовых зондирующих импульсов:

**БОТ** - блок ограничения тока; **RLC**- эквивалент нагрузки (зондирующая рамки 50x50 м); **БСП** - блок силового питания; **ГЗС** - генератор зондирующих сигналов; **БП** - блок питания **ГЗС**; **ПК** - персональный компьютер; **БУРС** - блок управления и регистрации сигналов; **БП("БУРС")** - блок питания **БУРС**.

На рис. 2 показана схема соединения блоков аппаратуры измерительного комплекса для регистрации зондирующих сигналов.

Регистрация зондирующих импульсов тока осуществляется при помощи специально разработанной программы **BBS\_Registrator**, размещаемой в блоке памяти микроконтроллера **БУРС**. После регистрации токовых импульсов создается массив данных  $I[t]$ , в котором хранятся дискретные отсчеты значений последовательности зондирующих импульсов тока  $I(t)$ , полученные за время всего измерительного сеанса.

Дальнейшая обработка зарегистрированных сигналов выполняется в персональном компьютере с помощью специально разработанной программы просмотра и первичной обработки сигналов **BBS\_Viewer**. Величина средней амплитуды тока зондирующих импульсов определяется с помощью специального алгоритма обработки и соответствующего программного обеспечения, встроенного в **BBS\_Viewer**. Принцип действия алгоритма показан на рис. 3.

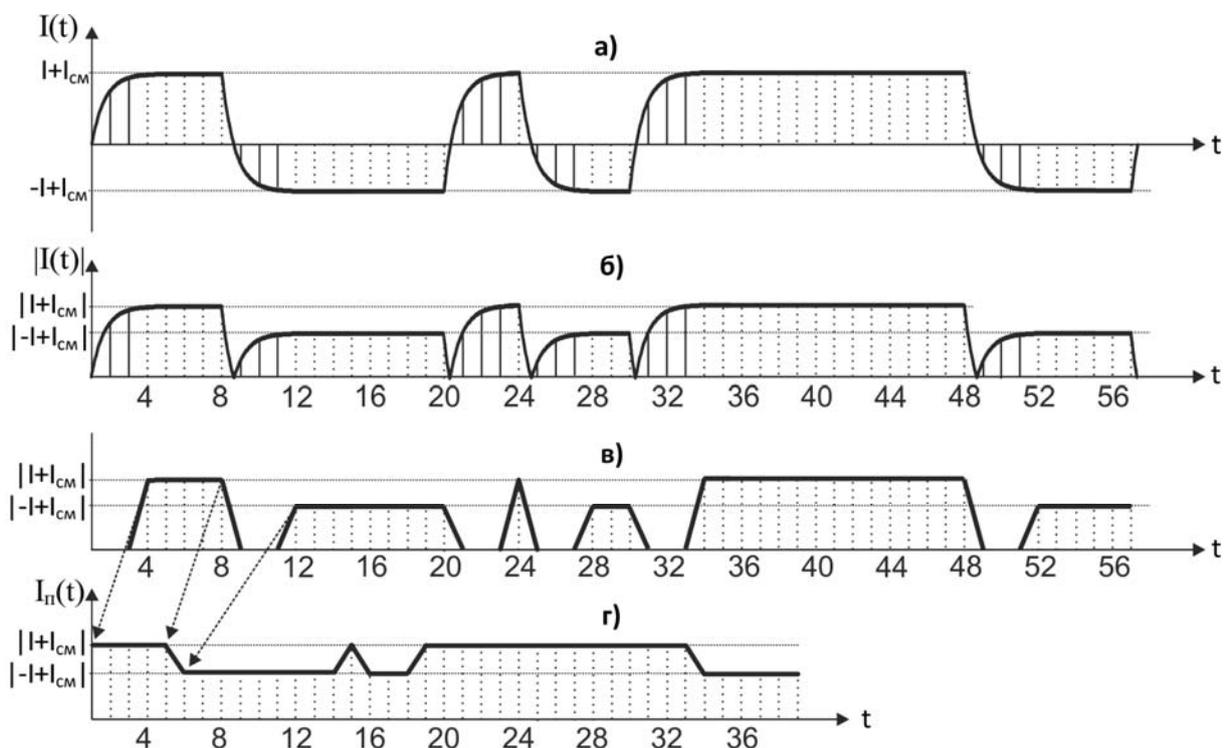


Рис. 3. Фрагмент зарегистрированной последовательности импульсов тока  $I(t)$  в режиме зондирования шумоподобными сигналами и этапы обработки функции  $I(t)$  алгоритмом вычисления средней амплитуды импульсной последовательности.

На рис. 3а показан фрагмент зарегистрированного токового сигнала  $I(t)$  в режиме шумоподобных сигналов. Пунктирными линиями показаны отсчеты, используемые для вычисления среднего значения токовых импульсов, сплошными линиями отсчеты, соответствующие переходному процессу в зарегистрированном сигнале. Амплитуда положительных токовых импульсов отличается от отрицательных на величину смещения  $I_{CM}$ . Величина смещения в течение измерительного сеанса остается, как правило, постоянной и определяется

собственным смещением измерительного канала ГЗС. Величина смещения на рис. 3а для наглядности показана завышенной. Реальное значение смещения при измерении импульсов тока амплитудой порядка 7 А составляет примерно 0,01 А или 0,14% от амплитуды.

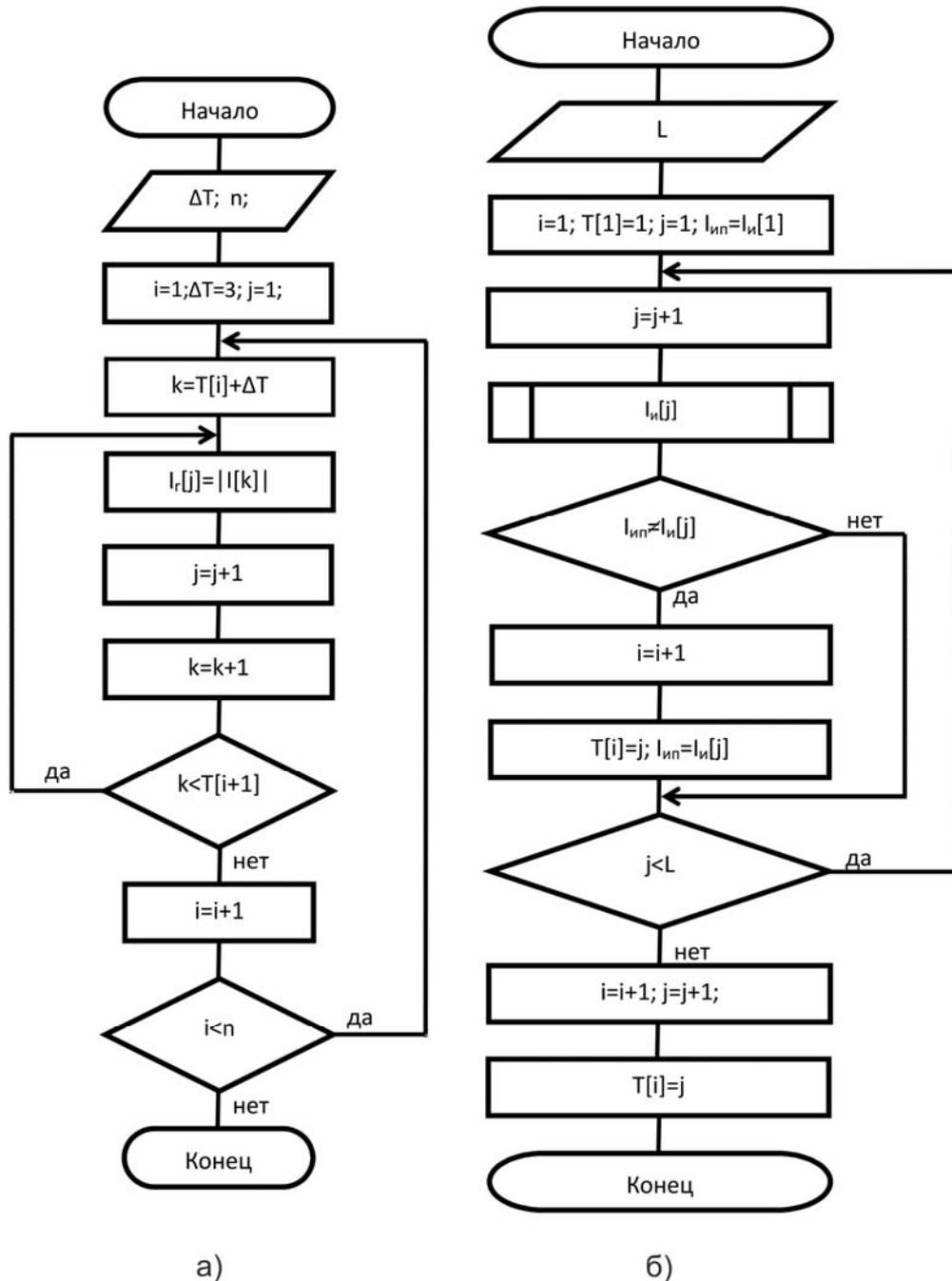


Рис. 4. а) Алгоритм получения массива данных  $I_n[t]$ :  $T(n)$  - время начала импульса ( $n$  - номер токового импульса);  $i$  - номер токового импульса функции  $T(n)$ ;  $\Delta T$  - количество вырезаемых отсчетов;  $j$  - номер отсчета функции  $I_r(t)$ ;  $k$  - номер отсчета функции  $I(t)$ .

б) Алгоритм генерирования массива данных  $T[n]$ :  $i$  - индекс номера импульсов последовательности;  $j$  - индекс номера отсчета идеальной функции;  $L$  - количество отсчетов идеальной функции;  $I_{ин}$  - знак идеальной функции (положительный импульс или отрицательный);  $I_{ин}[j]$  - процедура вычисления идеальной функции в заданной точке.

При помощи алгоритма, показанного на рис. 4а, значение функции  $I(t)$  берется по модулю. В результате получается однополярный токовый сигнал  $|I(t)|$ , рис. 3б. На следующем этапе обнуляются отсчеты сигнала, соответствующие фронтам токовых импульсов (рис. 3в), и далее производится формирование нового массива данных  $I_n[t]$  (рис. 3г) путем исключения (вырезания) из предыдущей последовательности нулевых отсчетов и сдвига оставшихся отсчетов влево на место вырезанных (на рис. 3 сдвиг на первых импульсах показан стрелками).

После создания массива данных  $I_n[t]$  вычисляется среднее значение амплитуды токовых сигналов по формуле:

$$I_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{i=m} I_n(t_i),$$

где  $m$  – количество отсчетов в массиве  $I_n[t]$ .

Наряду с определением среднего значения вычисляется среднеквадратичное отклонение, определяющее среднестатистическую погрешность измерения среднего значения тока с вероятностью 0,68:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=m} \frac{(I_n(t_i) - I_{cp})^2}{m - 1}}$$

Для более надежного определения измеряемой величины (с большей вероятностью) обычно в качестве погрешности измерения берут величину  $3\sigma$ , при которой доверительная вероятность будет  $\approx 0,997$ .

Для получения массива данных  $I_n[t]$  используется массив  $T[n]$ , в котором хранятся данные о длительности импульса в дискретах времени и номер начальной дискреты импульса. Массив данных  $T[n]$  генерируется программой обработки **BBS\_Viewer**. Алгоритм генерирования  $T[n]$  показан на рис. 4б.

Количество отсчетов на фронтах зондирующих импульсов, подлежащих вырезанию, определяется длительностью этих фронтов. Длительность фронта отсчитывается от начала импульса тока до точки, при которой ток достигает значения, отличающегося от установившегося значения на величину, как минимум на порядок ниже задаваемой абсолютной погрешности измерения средней амплитуды последовательности зондирующих импульсов. Это необходимо для того, чтобы составляющая погрешности измерения, вносимая отсчетами сигнала, соответствующими недостаточно установившемуся уровню, не оказывала существенного влияния на общую погрешность измерения.

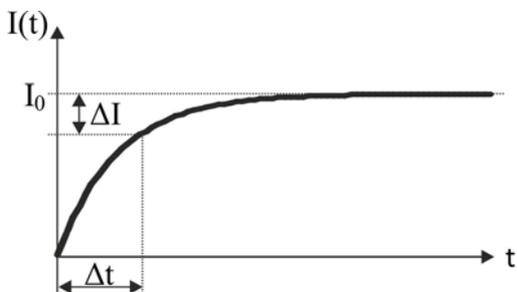


Рис. 5. Фрагмент токового импульса.

На рис. 5 показан фрагмент импульса тока соответствующий фронту нарастания.

Нарастание тока в реактивной нагрузке, в качестве которой выступает зондирующая рамка и последовательно включенный с ней резистор, устанавливаемый в БОТ, описывается известной формулой:

$$I(t) = I_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (1)$$

где  $I_0$  – установившееся значение тока;  $\tau = \frac{L}{R_p + R_{БОТ}}$  – постоянная времени

нагрузочной цепи;  $L$  – индуктивность зондирующей рамки;  $R_p$  – активное сопротивление медного провода зондирующей рамки;  $R_{БОТ}$  – сопротивление резистора в блоке БОТ, включаемого последовательно в цепь нагрузки для ограничения тока и увеличения постоянной времени нагрузочной цепи.

В соответствии с формулой (1) и выше озвученными условиями для определения длительности фронта нарастания тока можно записать выражение для  $\Delta I$  – погрешности определения установившегося значения тока  $I_0$ :

$$\Delta I = I_0 - I(t) = I_0 \cdot e^{-\frac{\Delta t}{\tau}} \leq 0,001 \cdot \delta\% \cdot I_0, \quad (2)$$

где  $\delta\%$  – задаваемая относительная погрешность определения средней амплитуды зондирующих импульсов тока в процентах;  $\Delta t$  – длительность фронта нарастания тока. Тогда, решая неравенство (2) относительно  $\Delta t$  и учитывая, что длительность фронта нарастания тока должна быть кратна целому числу периодов дискретизации сигнала  $\Delta t = n \cdot T_d = n/F_d$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ), можно получить условие для определения количества отсчетов сигнала, вырезаемых на каждом фронте зарегистрированных зондирующих импульсов:

$$n \geq \text{Ceil}[-\tau \cdot F_d \cdot \ln(0,001 \cdot \delta\%)], \quad (3)$$

где  $F_d$  – частота дискретизации;  $\text{Ceil}[\dots]$  означает взятие ближайшего большего целого от значения, получаемого в скобках.

Результаты вычисления  $n$  для различных режимов зондирования, используемых в ЭРК ШПС, приведены в таблице 1.

Таблица 1.

$L$ , мкГн	$F_d$ , Гц	$\delta\%$	$R_{БОТ}$ , Ом	$\tau$ , мкс	$n$
400	50000	0,085	30	13	6
			60	7	4
			120	3	3

### Вывод

Таким образом, разработанный алгоритм обеспечивает точное измерение средних амплитуд зондирующих сигналов за время измерительного сеанса, при этом не требуется высокая стабильность амплитуды зондирующих сигналов во время сеанса зондирования

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вольхин А.М., Брагин В.Д., Zubovich A.B. и др. Проявления геодинамических процессов в геофизических полях. М.: Наука. 1993. 158 с.

### **РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ**

Мансуров А.Н.

тел.: +996(312)617131, +996(543)074630; e-mail: [sur@gdirc.ru](mailto:sur@gdirc.ru)

Научная станция Российской академии наук (НС РАН) в г. Бишкеке, Кыргызстан

#### **Введение**

Современные движения и деформации на поверхности Земли, наблюдаемые с помощью GPS, являются одним из проявлений сложных геодинамических процессов, происходящих внутри нее. До внедрения технологии высокоточных наблюдений оценка движений значительных участков земной коры была чрезвычайно затруднена. Однако на сегодняшний день благодаря наличию системы GPS есть возможность проводить высокоточные наблюдения в геодезических сетях по всему миру и с их помощью оценивать относительные скорости геодезических марок в пределах региона с точностью до долей миллиметра в год. Разработаны и используются специальные программные средства для выполнения таких оценок [1, 2].

На основании такого каталога скоростей можно выполнять оценку поля тензора скорости деформации земной коры по методике, предложенной в [3]. Данный подход использован в большом количестве исследований, в том числе [4-6].

В данной работе рассматриваются вопросы развития программного комплекса (ПК) `sur_gps_strains`, предназначенного для оценки поля тензора скорости деформации земной коры по методике, изложенной в [7], совпадающей с методикой [3] за исключением некоторых адаптаций и улучшений. ПК `sur_gps_strains` [8] был использован для проведения исследований, результат которых изложен в [9, 10]. Вопросы разработки данного ПК до декабря 2012 года описаны в [8].

## Структурная модель программного комплекса sur\_gps\_strains на декабрь 2012г.

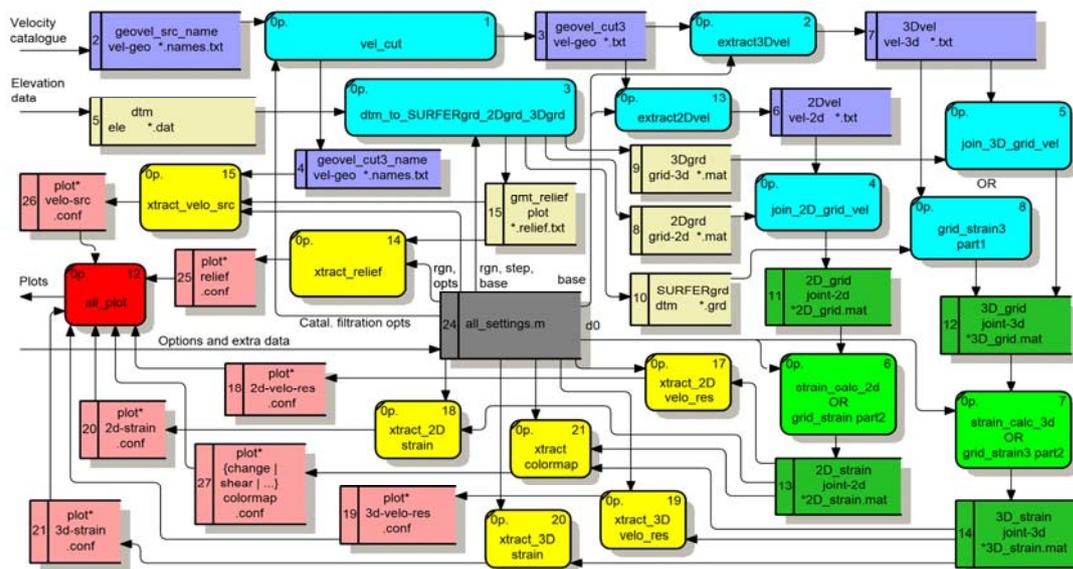


Рис. 1. Диаграмма потоков данных (DFD) ПК sur\_gps\_strains на декабрь 2012 г. [8]. Цветами показаны типы процессов: бирюзовый – (1-5, 8), этап 1 – процессы подготовки данных для расчета деформаций, светло-зеленый – (6, 7), этап 2 – процессы получают каталог скоростей, модель рельефа местности, описание решетки, значение d0 и производят расчет деформаций, желтый – (14-21), этап 3 – процессы формирования иерархической структуры данных для построения карт местности, красный – (12), этап 4 – процесс построения карт.

Структурная модель ПК sur\_gps\_strains на декабрь 2012 года в виде диаграммы потоков данных (DFD) приведена на рисунке 1. Основным недостатком данной модели и ее реализации в программном коде является неудачная реализация этапа 3 (процессы 14-21): сходные задачи извлечения данных из mat-файлов и экспорт их в формат для визуализации на картах местности (\*.conf (настройки) + \*.list (список файлов данных) + \*.txt (файлы данных) – представлены объектами data store 18-21 и 25-26) выполняются независимыми друг от друга matlab-функциями, каждой из которых соответствует один из процессов 14-21. Причем внутренняя структура каждого из процессов 14-21 достаточно сложна: чтение данных, вычислительные преобразования, определение масштаба для графических построений, формирование выходных файлов. Все это повлекло за собой большой объем дублирующегося кода, что сильно затрудняло отладку и модифицирование программного комплекса.

### Новые требования к программному комплексу sur\_gps\_strains

В процессе анализа и обсуждения результатов, полученных при помощи ПК sur\_gps\_strains [9, 10], была сформирована новая задача, которая может быть решена с использованием данного ПК: расчет деформаций в отдельных точках с использованием явно задаваемого набора пунктов GPS-наблюдений для каждой точки расчета. Это позволит производить более адекватную оценку деформаций в отдельных местностях (горные хребты, долины) с учетом особенностей геологической структуры региона.

## Структурная модель программного комплекса `sur_gps_strains` на март 2014 г.

Сделанные для выполнения этой задачи модификации частей ПК `sur_gps_strains`, соответствующих различным этапам обработки, потребовали различных усилий:

- на этапе 1 модификация ограничилась дописыванием отдельных `matlab`-функций;
- на этапах 2 и 4 понадобилось выделить некоторые фрагменты кода в отдельные подпрограммы и дописать код для их вызова с учетом новых требований;
- модификация этапа 3 потребовала полного пересмотра его структуры и выделения повторяющихся фрагментов кода со сходным назначением в новые подпрограммы.

DFD-декомпозиции этапа 3 нулевого и первого уровня показаны на рисунках 2 и 3. По сути, этап 3 был разделен на 4 подэтапа:

1. чтение данных из `mat`-файлов, сохранение каждого типа визуализируемых данных в матрицы-столбцы, создание столбца координат (`read_data`, `sgs_xtract_from_3d_strn`);
2. формирование настроек разбиения данных на отдельные выходные файлы на основе значимости (`fls`) и/или значения вертикальной компоненты скорости и тензора скорости трехмерной деформации для визуализации различными цветами (`sgs_xtract_make_range_signif`, `sgs_xtract_make_range_zval`);
3. запись данных в выходные файлы с запоминанием некоторых характеристик данных, например, масштаба значений данных (`write_data`);
4. запись параметров визуализации в `*.conf`-файлы и списков выходных файлов с данными в `*.list`-файлы (`write_configs_and_lists`).

DFD-декомпозиции этапа 3 второго уровня показаны на рисунках 4 и 5.

На DFD на рисунках 2-5 принято следующее упрощение: каждый объект `data store` соответствует не одному конкретному объекту данных (файлу, переменной), а определенному типу, к которому могут относиться объекты, содержащие различные данные. Например, на декомпозиции процесса `write_data` (рис. 5) объект `data store` №22 «`coords`» идет на вход процессов 0.8.2 `sgs_xtract_data_VELO` и 0.8.5 `sgs_xtract_data_scalar`. Это означает, что имеются подпрограммы `sgs_xtract_data_VELO` и `sgs_xtract_data_scalar`, которые в качестве входного параметра принимают переменную типа `coords`, причем каждая из этих функций может быть вызвана многократно с различными значениями этого параметра.

На DFD на рисунках 2-5 объекты `data store` разного типа показаны цветами:

- сиреневый – входные для этапа 3 файлы;
- бирюзовый – переменные `matlab`, входные для этапа 3 параметры обработки;
- темно-зеленый – переменные `matlab`, обрабатываемые данные;
- светло-зеленый – переменные `matlab`, вычисленные на этапе 3 параметры;
- желтый – выходные для этапа 3 файлы, содержащие параметры визуализации;
- светло-красный – выходные для этапа 3 файлы с данными для визуализации.

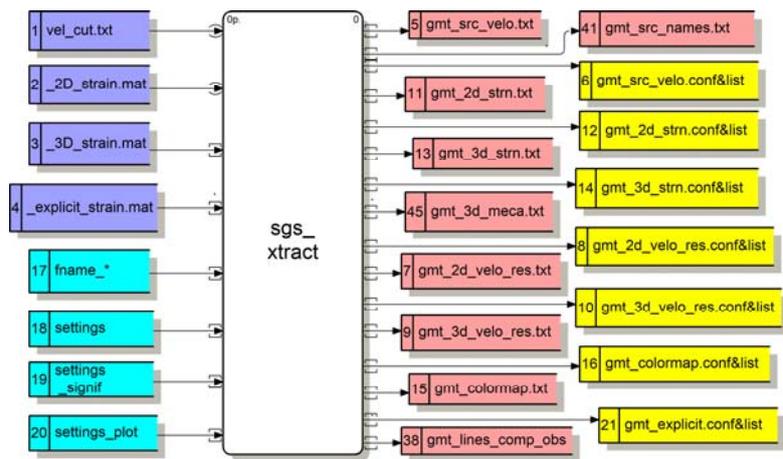


Рис. 2. DFD 3-го этапа обработки ПК sur\_gps\_strains.

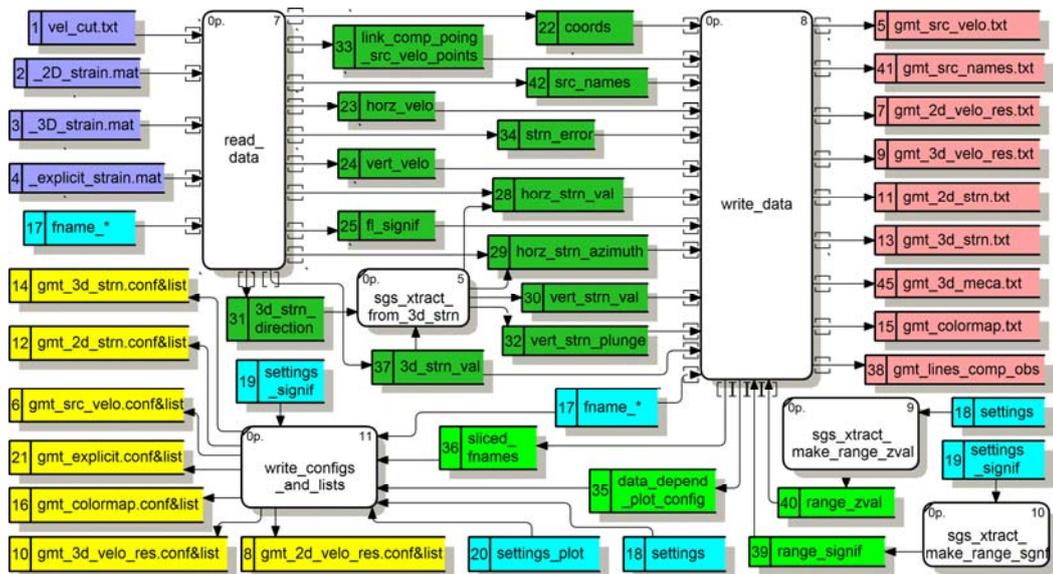


Рис. 3. DFD декомпозиции процесса sgs\_xtract 3-го этапа ПК sur\_gps\_strains.

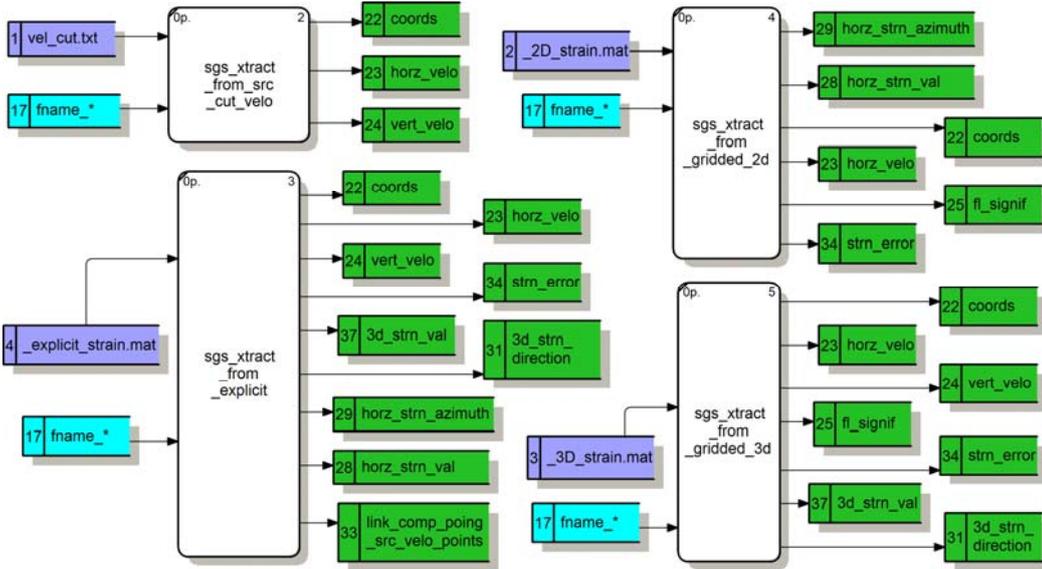


Рис. 4. DFD декомпозиции процесса read\_data 3-го этапа ПК sur\_gps\_strains.

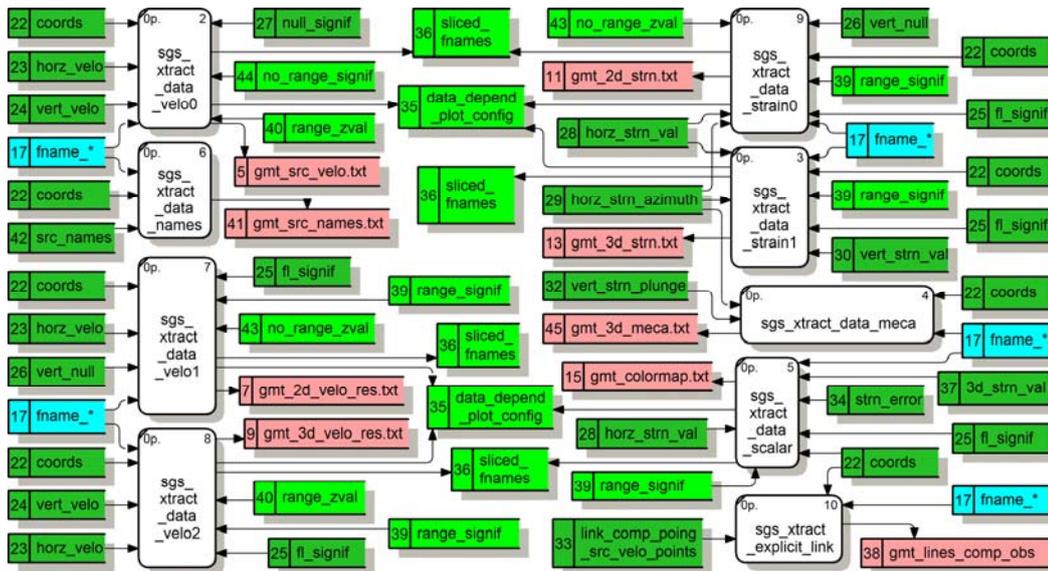


Рис. 5. DFD декомпозиции процесса write\_data 3-го этапа ПК sur\_gps\_strains.

### Заключение

Благодаря проделанной работе по модификации программного комплекса sur\_gps\_strains теперь стало возможно рассчитывать оценку тензора скорости деформации в каждой из множества произвольно заданных точек по произвольно заданному набору точек наблюдений. Пример визуализации такой оценки представлен на рисунке 6. На данный момент для оценки используется методика, описанная в [7], при этом значение сглаживающего коэффициента  $d_0$  разумно делать бесконечно большим. В перспективе планируется добавить возможность расчета оценки тензора плоской деформации по трем точкам исходных данных по альтернативным методикам.

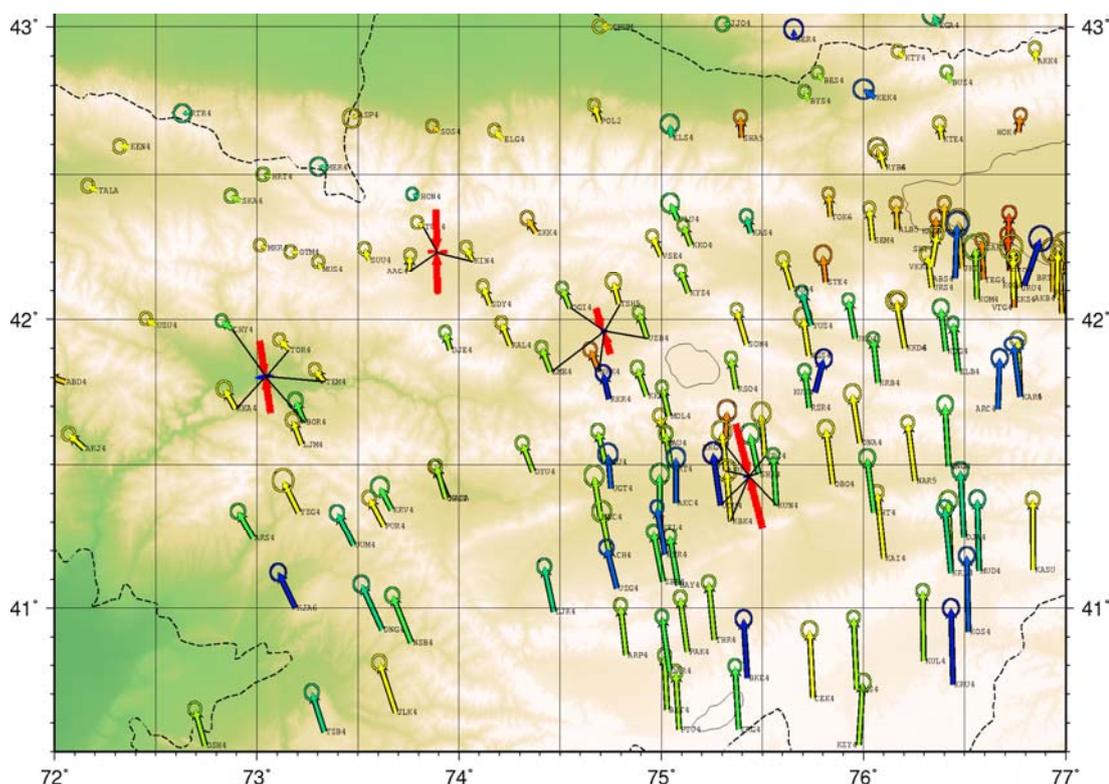


Рис. 6. Пример результатов работы новой версии ПК sur\_gps\_strains. Черные линии связывают точки расчета тензора скорости деформации с точками наблюдений, на которых был основан расчет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GAMIT. Reference manual. GPS analysis at MIT. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 182 p. (English)
2. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 87 p. (English)
3. Shen Z.-K., Jackson D.D., Ge B.X. Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements // *Journal of Geophysical Research*, 101, 1996. P.27957-27980. (English)
4. Allmendinger R.W., Reilinger R., Loveless. J.. Strain and rotation rate from GPS in Tibet, Anatolia, and the Altiplano // *TECTONICS*, VOL. 26, TC3013, doi:10.1029/2006TC002030, 2007
5. Костюк А.Д. Деформационные изменения земной коры Северного Тянь-Шаня по данным космической геодезии // *Вестник КРСУ*. г.Бишкек. 2008. Т.8. №3. С.140-144.
6. Teza G., Pesci A., Genevois R., Galgaro. A. Characterization of landslide ground surface kinematics from terrestrial laser scanning and strain field computation // *Geomorphology* 97 (2008). P.424-437
7. Мансуров А.Н. Математическая модель и методика расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений. // *Проблемы автоматизации и управления*. г. Бишкек. 2012. №2 С. 57-63
8. Мансуров А.Н. Структурное проектирование автоматизированной системы расчета поля скорости деформации земной коры по данным GPS наблюдений. // *Проблемы автоматизации и управления*. г. Бишкек. 2012. №2 С. 120-127

9. Мансуров А.Н. Расчет скоростей современных деформаций земной коры региона сопряжения Памира и Тянь-Шаня по данным GPS наблюдений при помощи автоматизированной системы // <Современная тектонофизика: методы и результаты>. Материалы третьей молодежной тектонофизической школы-семинара. 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С. 205-211.
10. Мансуров А.Н. Анализ локальных особенностей поля скорости деформации земной коры Центрального Тянь-Шаня, рассчитанного по двумерной и трехмерной моделям. // <Современная тектонофизика: методы и результаты>. Материалы третьей молодежной тектонофизической школы-семинара. 14-18 октября 2013 г. Т. 1. С. 212-218.

## **РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ**

Мансуров А.Н.

тел.: +996(312)617131, +996(543)074630; e-mail: [sur@gdirc.ru](mailto:sur@gdirc.ru)

Научная станция Российской академии наук (НС РАН) в г. Бишкеке, Кыргызстан

### **Введение**

Интерпретация электромагнитных данных сводится к восстановлению строения и свойств среды по наблюдаемым значениям ЭМ-поля. Эта задача относится к классу **обратных задач**, в которых по известному следствию требуется установить причину.

Чтобы решать обратные задачи, необходимо, прежде всего, уметь решать **прямые задачи**, в которых по известной причине требуется установить следствие. Применительно к электроразведке прямая задача сводится к определению ЭМ-поля при заданных строении и свойствах среды и известных первичных источниках поля.

В данной работе на основе данных о батиметрии озера Иссык-Куль и слоистой модели глубинного строения Иссык-Кульской впадины [1, 2] была составлена блочная модель распределения удельного сопротивления земной коры под Иссык-Кульской впадиной и ее окрестностями. На основе этой модели было проведено математическое моделирование по методу, предложенному Р. Макки в [3] и реализованному им же в программе MT3DFwd. По трехмерной модели сопротивлений программа MT3DFwd рассчитывает для заданных периодов значения амплитуды и фазы вектора напряженности магнитного поля и вектора напряженности электрического поля в точках на поверхности земли – центрах горизонтальной проекции ячеек модели.

### **Модель распределения удельного сопротивления**

Для построения модели была составлена сетка прямоугольных ячеек размером 100 ячеек вдоль оси X (на восток), 64 ячейки вдоль оси Y (на север) и 37 ячеек вдоль оси Z (вглубь). При этом по осям X и Y центральная часть сетки размером 86 ячеек по оси X на 50 ячеек по оси Y состояла из одинаковых в горизонтальной плоскости ячеек размером 2 на 2 км. Размер крайних ячеек (по 7 с каждой стороны) по осям X и Y увеличивался экспоненциально по направлению к краю модели, доходя до 256 км.

По оси Z модель имела 20 слоев до глубины 700 м, толщина которых варьировалась от 10 до 50 метров, что позволило детально описать рельеф дна озера Иссык-Куль (рис. 1), и 17 слоев от глубины 700 м до глубины 690 км, описывающих современное представление о распределении сопротивления в коре и в верхней мантии в области Иссык-Кульской впадины.

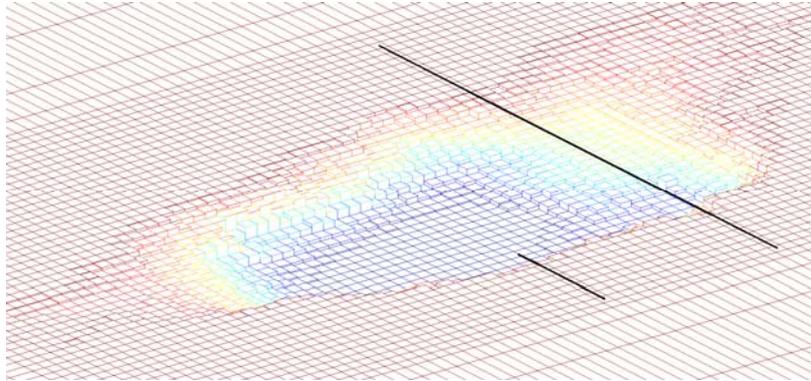


Рис. 1. Центральная часть модели сопротивлений – Иссык-Кульская впадина.

Граница раздела воды (10 Ом\*м) и горной породы (1000 Ом\*м).

Значения сопротивлений в верхней части рассматриваемой модели заполнялись на основе данных батиметрии озера Иссык-Куль, при этом сопротивление водной оболочки озера Иссык-Куль было принято равным 10 Ом\*м, а сопротивление вмещающей среды – 1000 Ом\*м. В нижней части сопротивления земной коры и верхней мантии были заданы на основе распределения сопротивлений полученного ранее геоэлектрического разреза Центрального Тянь-Шаня [1, 2].

### Краткое описание метода решения прямой задачи МТЗ

Математическая модель прямой задачи основана на уравнениях Максвелла:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \\ \text{rot} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \text{div} \vec{B} = 0, \\ \text{div} \vec{D} = q. \end{cases} \quad (1)$$

и уравнениях связи:

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E}, \quad \vec{D} = \varepsilon \cdot \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad (2)$$

Здесь  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  – векторы напряженности электрического и магнитного полей,  $\vec{D}$  и  $\vec{B}$  – векторы электрической и магнитной индукции,  $\vec{j}$  – вектор плотности тока проводимости,  $q$  – плотность электрических зарядов,  $\sigma$ ,  $\varepsilon$  и  $\mu$  – электромагнитные свойства среды: электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемости.

В рамках геоэлектрической модели поля токами смещения принято пренебрегать, за счет чего производится переход к квазистационарной модели поля. В ее рамках первые два уравнения Максвелла принимают вид:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = \sigma \vec{E}, \\ \text{rot} \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}. \end{cases} \quad (3)$$

Переход к интегральной форме и ввод временной зависимости позволяет получить систему:

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{S} = \iint \sigma \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} \quad (4-1)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \iint i\mu\omega \mathbf{H} \cdot d\mathbf{S}, \quad (4-2)$$

Здесь важно, что электропроводность  $\sigma$  трехмерна, то есть является функцией всех трех декартовых координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Для численного решения системы уравнений (4-1) и (4-2) используется метод конечных разностей – самый распространенный на сегодняшний день метод решения трехмерных уравнений Максвелла. Для реализации этого метода исследуемый участок земной коры делится на прямоугольные блоки произвольного размера, при этом считается, что сопротивление в пределах блока постоянно и изотропно. Магнитная проницаемость всюду полагается равной  $\mu_0$ .

Далее задаются трехмерные массивы значений вектора напряженности магнитного поля  $H$  и вектора напряженности электрического поля  $E$ , причем для модели, состоящей из  $L \times M \times N$  блоков, эти массивы имеют размер  $(L+1) \times (M+1) \times (N+1)$ . Привязка компонент элементов этих массивов к принятой блочной структуре земной коры осуществляется способом, показанным на рисунке 3: компоненты значения вектора напряженности магнитного поля  $H$  задаются как средние на ребрах блоков, а компоненты значения вектора напряженности электрического поля  $E$  и вектора тока проводимости  $J$  задаются как средние в центрах граней блоков. Это позволяет задать контуры, описываемые уравнением (4-1), вокруг граней блоков по ребрам, а контуры описываемые уравнением (4-2), по ломаной, соединяющей центры четырех соседних блоков (правая часть рисунка 1).

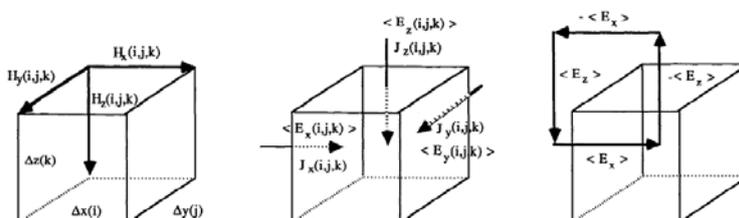


Рис. 3. Геометрия модели, используемой для решения прямой задачи.

Для упрощения численного решения системы уравнений (4-1) и (4-2) блоки произвольного размера преобразуются к кубическим блокам с ребром  $L$  за счет геометрического сжатия-растяжения. Уравнения (4-1) и (4-2) инвариантны к такому преобразованию. Такое преобразование затрагивает не только значения напряженности магнитного и электрического полей ( $H$  и  $E$ ), но и значения проводимости  $\sigma$  и магнитной проницаемости  $\mu$ , делая их анизотропными в модели с блоками единичного размера. Таким образом, в уравнениях (4-1) и (4-2)  $\sigma$  и  $\mu$  являются тензорами, в случае геометрического сжатия-растяжения пространства со скалярными или анизотропными  $\sigma$  и  $\mu$  в новом пространстве  $\sigma$  и  $\mu$  будут диагональными тензорами.

Формулы преобразования параметров уравнений (4-1) и (4-2) (параметры в преобразованной модели указаны со штрихом):

$$\Delta x' = \Delta y' = \Delta z' = L. \quad C_x = \frac{\Delta x}{\Delta x'} \quad C_y = \frac{\Delta y}{\Delta y'} \quad C_z = \frac{\Delta z}{\Delta z'}, \quad (5)$$

$$\sigma' = \begin{bmatrix} \sigma \frac{C_y C_z}{C_x} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma \frac{C_x C_z}{C_y} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma \frac{C_x C_y}{C_z} \end{bmatrix} \quad \mu' = \begin{bmatrix} \mu \frac{C_y C_z}{C_x} & 0 & 0 \\ 0 & \mu \frac{C_x C_z}{C_y} & 0 \\ 0 & 0 & \mu \frac{C_x C_y}{C_z} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$E'_x = C_x E_x \quad E'_y = C_y E_y \quad E'_z = C_z E_z$$

$$H'_x = C_x H_x \quad H'_y = C_y H_y \quad H'_z = C_z H_z$$

$$J'_x = C_y C_z J_x \quad J'_y = C_x C_z J_y \quad J'_z = C_x C_y J_z. \quad (7)$$

Итак, с учетом принятой на рисунке 3 геометрии и вышеописанного геометрического сжатия-растяжения компоненты уравнения (4-1) записываются в виде:

$$\begin{aligned} & \{[H_z(i, j+1, k) - H_z(i, j, k)] - [H_y(i, j, k+1) - H_y(i, j, k)]\}L = J_x(i, j, k)L^2, \\ & \{[H_x(i, j, k+1) - H_x(i, j, k)] - [H_z(i+1, j, k) - H_z(i, j, k)]\}L = J_y(i, j, k)L^2, \\ & \{[H_y(i+1, j, k) - H_y(i, j, k)] - [H_x(i, j+1, k) - H_x(i, j, k)]\}L = J_z(i, j, k)L^2. \end{aligned} \quad (8)$$

Значения напряженности электрического поля  $E$  рассчитываются как произведения тока через соответствующую грань на среднее значение сопротивлений блоков, разделяемых этой гранью. Компоненты уравнения (4-2) записываются в виде:

$$\begin{aligned} & \{[E_z(i, j, k) - E_z(i, j-1, k)] - [E_y(i, j, k) - E_y(i, j, k-1)]\}L = i\omega \langle \mu_{xx} \rangle H_x(i, j, k)L^2, \\ & \{[E_x(i, j, k) - E_x(i, j, k-1)] - [E_z(i, j, k) - E_z(i-1, j, k)]\}L = i\omega \langle \mu_{yy} \rangle H_y(i, j, k)L^2, \\ & \{[E_y(i, j, k) - E_y(i-1, j, k)] - [E_x(i, j, k) - E_x(i, j-1, k)]\}L = i\omega \langle \mu_{zz} \rangle H_z(i, j, k)L^2. \end{aligned} \quad (9)$$

где компоненты тензора  $\langle \mu \rangle$  вычисляются как средние по соседним ячейкам.

Затем из системы (8), (9) посредством алгебраических преобразований исключаются параметры  $E_z$  и  $H_z$ , после чего она решается итерационными методами.

### Результат практического моделирования

По результатам работы программы MT3DFwd [3] были получены значения кажущихся сопротивлений  $R_{xy}$ ,  $R_{yx}$ ,  $R_n$  для каждой из точек профилей, показанных на рисунках 1 и 2 жирными черными линиями. Затем эти значения были сведены в графики, показанные на рисунках 4-6. На рисунках 3-5 красными точками показана кривая  $R_{xy}$ , синими точками – кривая  $R_{yx}$ , зеленой линией – кривая  $R_n$ .

В точках, удаленных от берега на расстояние 10-15 км, в 20 раз больше глубины водоема (около 650 м), (рис. 3) кривые кажущихся сопротивлений не показывают заметных отклонений от одномерной слоистой модели земной коры и верхней мантии.

В точках, расположенных на берегу, на расстоянии менее 5 км от кромки воды (рис. 4, точки 9 и 10), кривая локально-нормального импеданса сохраняет вид, характерный для одномерной слоистой модели, однако кривые  $R_{xy}$  и  $R_{yx}$  заметно отклоняются от нее. В данном случае берег вытянут вдоль оси X, и

кривая  $R_{xy}$  лежит ниже кривой  $R_n$ , а кривая  $R_{yx}$  – намного выше, причем при приближении к берегу разнос этих кривых увеличивается.

В точках, расположенных на поверхности воды, вблизи берега (рис. 4, точки 11 и 12), кривая локально нормального импеданса на периодах, больших  $4^2$  ведет себя так же, как и в случае одномерной слоистой модели, а на меньших периодах схожа с линией прямой пропорциональности. При этом кривые  $R_{xy}$  и  $R_{yx}$  имеют разную форму на малых периодах, но обе лежат заметно ниже кривой  $R_n$ .

В точках, расположенных на поверхности воды на расстоянии около 10-15 км от берегов водоема (рис. 5), кривая локально-нормального импеданса на периодах, больших  $4^2$  ведет себя так же, как и в случае одномерной слоистой модели, а на меньших периодах схожа с линией прямой пропорциональности. При этом на периодах, больших  $3^2$ , кривые  $R_{xy}$  и  $R_{yx}$  лежат заметно ниже кривой  $R_n$ , а на меньших периодах – практически накладываются на нее.

Анализ поведения модельных кривых кажущегося сопротивления указывает на то, что влияние проводящей структуры водной оболочки озера в большей мере проявляется на расстояниях до 5 км от берега озера. На расстояниях от 5 до 13 км это влияние остается хорошо заметным. На расстояниях более 15 км кривые  $R_{xy}$  и  $R_{yx}$  практически сливаются с кривой  $R_n$ . Таким образом, на удалении 15 км от береговой линии влияние проводящей структуры Исык-Куля на кривые зондирования исчезает.

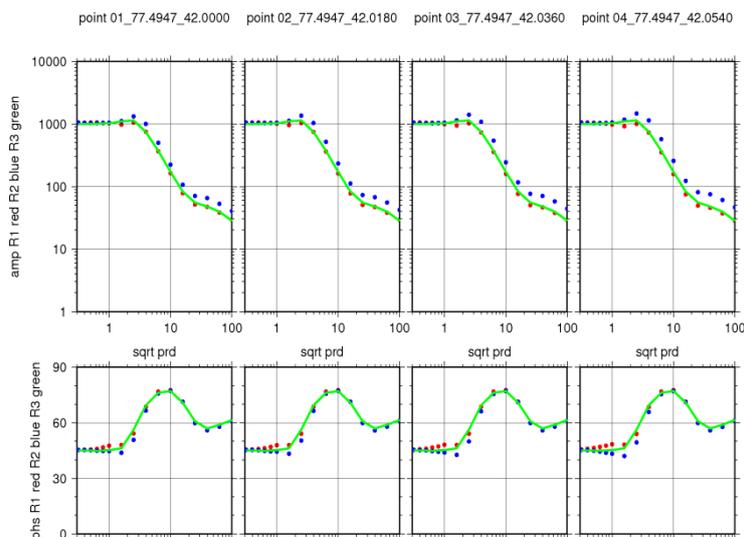


Рис. 4. Кривые  $R_{xy}$ ,  $R_{yx}$  и  $R_n$  для точек суши, удаленных от берега на 15-10 км.

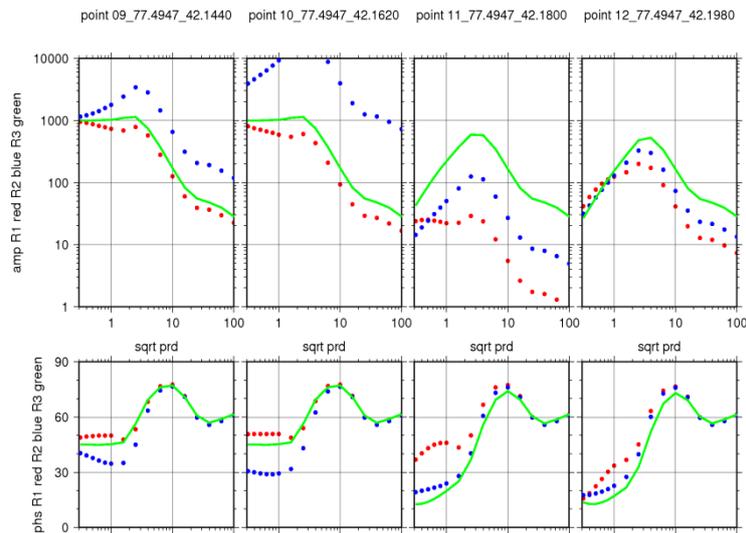


Рис. 5. Кривые  $R_{xy}$ ,  $R_{yx}$  и  $R_n$  вблизи берега озера на суше (слева) и воде (справа).

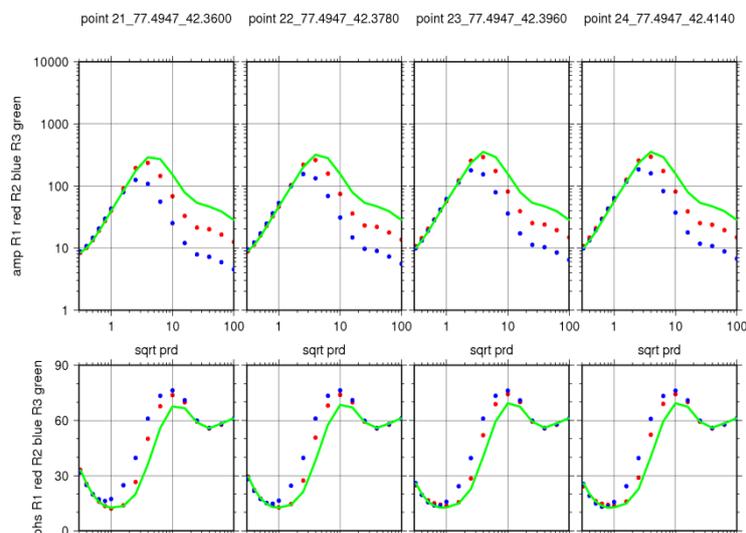


Рис. 6. Кривые  $R_{xy}$ ,  $R_{yx}$  и  $R_n$  на поверхности воды над глубиной около 500 м.

### Заключение

В данной работе составлена синтетическая трехмерная геоэлектрическая модель Иссык-Кульской впадины. При помощи программы MT3DFwd Р. Макки [3] получены кривые кажущихся сопротивлений в точках синтетических профилей на дневной поверхности модели. Проанализировано влияние электропроводности водной массы озера Иссык-Куль на полученные кривые кажущихся сопротивлений.

В результате получена количественная оценка бокового влияния трехмерной проводящей структуры водной оболочки оз. Иссык-Куль на кривые МТЗ для пунктов наблюдений, расположенных на суше в бортовых зонах впадины.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Трапезников Ю.А., Андреева Е.В., Баталев В.Ю., Бердичевский М.Н., Ваньян Л.Л., Вольхин А.М., Голубцова, Н.С., Рыбин А.К. Магнитотеллурические зондирования в горах Киргизского Тянь-Шаня // Физика Земли. 1997. №1. С. 3-20.

2. Рыбин А.К. Глубинные электромагнитные зондирования в центральной части Киргизского Тянь-Шаня. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Москва. МГУ. 2001.
3. Mackie et al., 1993 Mackie, R.L., Smith, J.T., and Madden, T.R., 1993, 3D EM modeling using FD equations: the MT example: Radio Science, 29, 923-935.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Енягин Ю.В.

тел.: +996 312 613140; факс: +996 312 611459; e-mail: [eyv@gdirc.ru](mailto:eyv@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение Научная станция РАН,  
г. Бишкек, Кыргызстан

**Введение.** В лаборатории GPS НС РАН линейно-угловые измерения применяются для определения расстояния и линейно-угловых характеристик между двумя геодезическими пунктами. Эти измерения выполняются с помощью высокоточных тахеометров Leica TS 2003 / TS 09 на расстояние до 3 км. с точностью до 1мм/1км при правильном определении погодных условий.

Данный метод позволяет изучать приповерхностные деформации земной коры по вариациям линейно-угловых характеристик между пунктами.

К 2014 году измерения ведутся на трёх площадках (Алмалы, Кентор, Полигон), на каждой из которых находится от шести до четырнадцати пунктов. При проведении линейно-угловых измерений с помощью прибора вычисляются расстояние между двумя пунктами, вертикальный и горизонтальный углы. Два измеряемых пункта называются базовой линией (рис. 1). Причём, если прибор установлен на одном пункте, а отражатель - на другом, то это одна линия, а если наоборот – другая. Казалось бы, если поменять местами прибор с отражателем, то должны измениться лишь знаки при углах. Но на самом деле это не так. Прибор находится над опорой выше, чем отражатель, из-за чего опорное расстояние измеряется с небольшой погрешностью. Поэтому было принято решение мерить линию дважды, меняя местами прибор с отражателем. Далее с помощью

несложных математических расчётов можно восстановить опорное расстояние и углы.

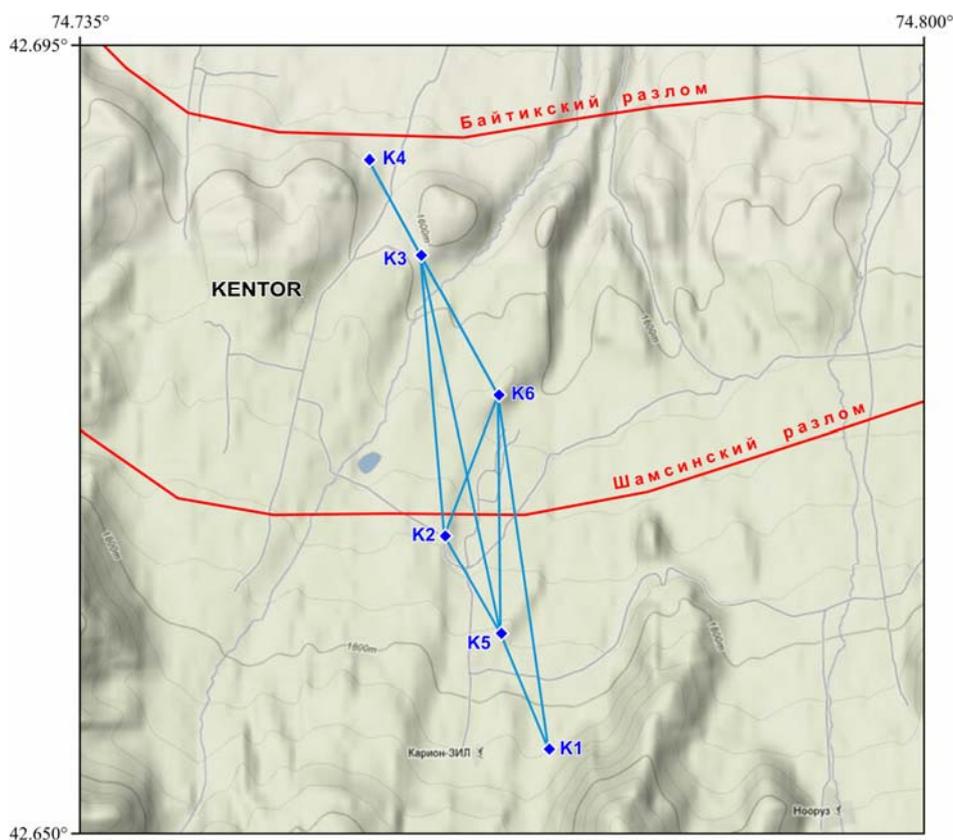


Рис. 1. Пункты (К1-К6) и базовые линии на площадке Кентор.

Данные по линиям, получаемые с приборов, хранятся в текстовых файлах с расширением \*.gsi. При анализе gsi-файлов перед оператором стоят следующие задачи:

- проверка данных на валидность;
- исправление неправильно указанных названий базовых линий;
- удаление невалидных данных измерений;
- набор статистики по проведённым измерениям.

Измерения проводятся с 2006 года два раза в месяц. За это время скопилось большое количество сырых данных. Ввиду того что все данные хранятся в закодированном виде, а однотипные ошибки встречаются довольно часто, ручное исправление становится трудоёмким и рутинным.

Виды ошибок:

- 1) отсутствие одной или нескольких ключевых колонок (наклонного расстояния и вертикального угла);
- 2) значение наклонного расстояния равно нулю;
- 3) неизвестное имя линии;
- 4) данные измерений не соответствуют указанному имени линии.

Было принято решение о создании программного обеспечения, способного находить и исправлять указанные типы ошибок.

**Описание программного обеспечения.** Разработанный программный продукт позволяет облегчить и ускорить процесс проверки gsi-файлов. Разработка велась с учётом правил именования файлов и измеряемых линий в лаборатории GPS НС РАН. Программный продукт разработан в среде проектирования Microsoft Visual Studio 2010 на языке C#. В связи с этим программное обеспечение может быть легко изменено или усовершенствовано.

Разработанное программное обеспечение предназначено для проверки данных линейно-угловых измерений, исправления ошибок в именах линий, а так

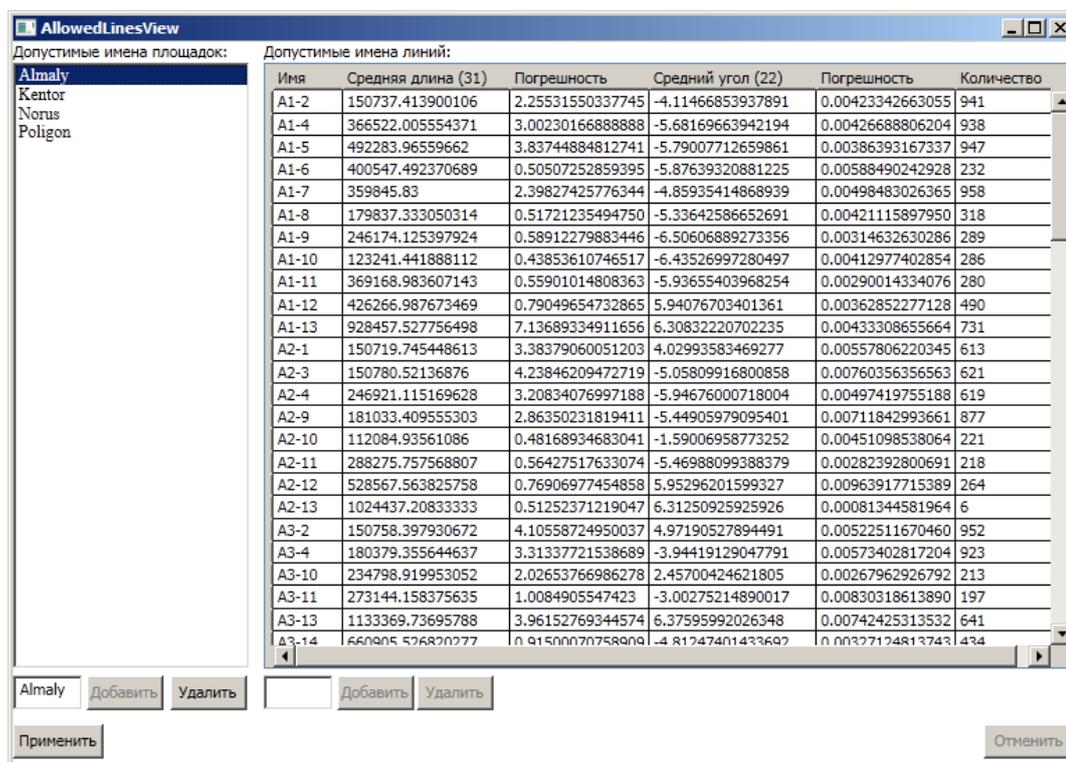


Рис. 2. Окно с допустимыми именами площадок и линий.

же для набора статистики.

Программа имеет графический интерфейс и работает в интерактивном режиме. Для корректной работы необходимо ввести в программу все возможные имена площадок и имена линий, соответствующие этим площадкам (рис. 2). Эти данные достаточно ввести один раз и сохранить. После этого можно приступать к проверке и исправлению данных в файлах.

Список всех загруженных файлов располагается в главном окне программы слева. После проверки данных на ошибки цвет названия файла может измениться. Цвет зависит от результата проверки:

- чёрный: ошибок не найдено;
- синий: все ошибки исправлены автоматически;
- красный: имеются неисправляемые (с точки зрения программы) ошибки.

Например, длина линии равняется нулю (ошибка прибора).

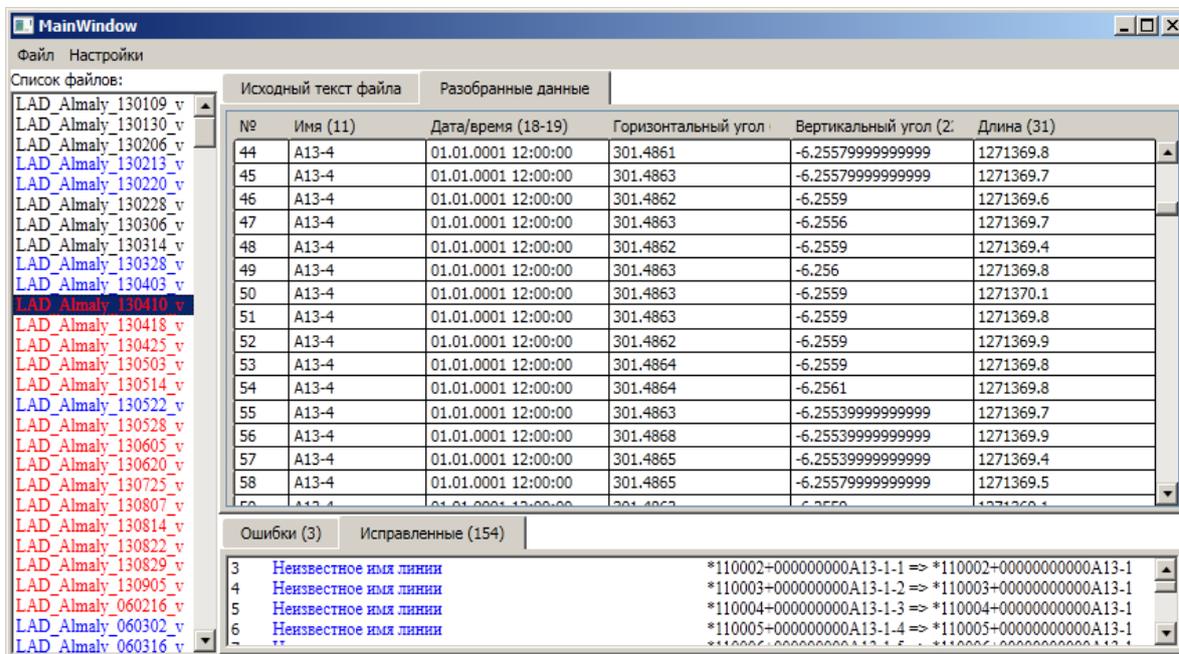


Рис. 3. Главное окно

Справа в главном окне расположены данные, хранящиеся в выбранном файле, а также лог проверки. Данные можно просмотреть как в исходном виде, так и в декодированном. Здесь пользователь может вручную отредактировать данные внутри файла.

Программное обеспечение может работать в двух режимах:

1. Набор статистики:
  - a. обычный;
  - b. «интеллектуальный».
2. Проверка данных с учётом набранной статистики.

**Набор статистики.** В обычном режиме набора статистики программа не анализирует данные, добавляя все измерения согласно именам линии. Если же имя линии не корректно, то измерение просто отбрасывается. Для данного режима нужны корректные входные данные.

В «интеллектуальном» режиме набор статистики проходит в три этапа. На первом этапе происходит загрузка всех измерений. На этом этапе измерения с допустимыми именами приписываются соответствующим линиям, а неопознанные измерения записываются отдельно. Второй этап заключается в «просеивании» измерений с допустимыми именами, чтобы исключить измерения,

которые имеют одно имя линии, но относятся к другой. Эти измерения также помещаются к неопознанным. На заключительном этапе все неопознанные измерения проверяются на принадлежность существующим линиям. Такой режим набора статистики позволяет одновременно исправлять сырые данные, но ему требуется большая выборка данных.

**Проверка данных.** В режиме проверки ПО не набирает статистику по линиям, а использует набранную заранее. При проверке автоматически исправляются ошибки в именах линий. По результатам проверки ведётся лог, который хранится в отдельной папке.

**Настройки программы.** В окне настроек (рис. 4), вызываемом из пункта меню «Настройки → Программа» главного окна можно задать папки, откуда брать сырые данные, куда складывать обработанные файлы, где хранить логи проведённых операций, а также задать местоположение файла с допустимыми именами базовых линий. Помимо этого предусмотрена возможность запрашивать пути загрузки и сохранения непосредственно при вызове команды «Загрузить»/«Сохранить» соответственно.

Помимо этого программа может проверять файлы сразу при загрузке (если имеется набранная статистика по линиям) и удалять неисправляемые (с точки зрения программы) ошибки.

Набор статистики также настраиваемый. Пункт настроек «Набирать в статистику ВСЕ возможные измерения линии» выключает «интеллектуальный» режим набора статистики.

Пункт настроек «Переписывать набранную статистику по линиям» включает режим набора статистики при каждом запуске программы.

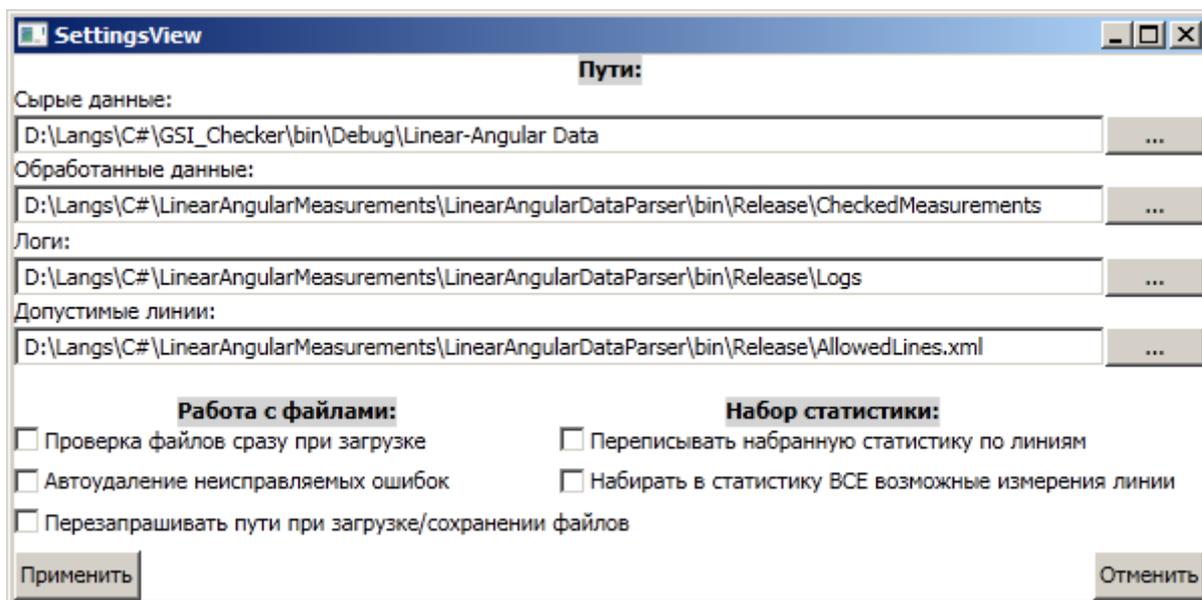


Рис. 4. Окно настроек программы.

#### Основные возможности программы:

- просмотр и ручное редактирование файлов;
- набор статистики по линиям;
- автоматическая проверка и исправление загруженных данных на основе набранной статистики;
- ведение лога.

# ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ GPS- ИЗМЕРЕНИЙ

Мажников М.С.

тел.: +996 312 613140; e-mail: [mms@gdirc.ru](mailto:mms@gdirc.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение Российской академии наук  
Научная станция РАН, г. Бишкек, Кыргызстан

## Введение

Деятельность лаборатории изучения современных движений земной коры методами космической геодезии (ЛГПС) ИС РАН главным образом направлена на исследование приповерхностных смещений и связанных с ними геодинамических процессов на территории Центральной Азии.

## Геодезические измерения

**1. Наземная геодезия.** Линейно-угловые измерения применяются для определения расстояния между двумя геодезическими пунктами. Выполняются с помощью высокоточных тахеометров Leica TS 2003 \ TS 09 на расстояние до 3 км с точностью до 1мм\1км при правильном определении погодных условий.

Для высотной привязки геодезических пунктов, на которых проводятся комплексные геодезические измерения, используется высокоточное тригонометрическое нивелирование 1 класса нивелиром DNA 03. Нивелирование проводится секциями с точностью высотной привязки 0.15 мм.

При геодинамических и геофизических исследованиях наземный метод позволяет изучать приповерхностные деформации земной коры по вариациям линейно-угловых характеристик между пунктами.

**2. Космическая геодезия.** Основным инструментом исследования движений земной коры методами космической геодезии является GPS-метод. Центрально-Азиатская GPS-сеть располагается на территориях Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана, Таджикистана и Китая. Количество пунктов наблюдения сети составляет более 600.

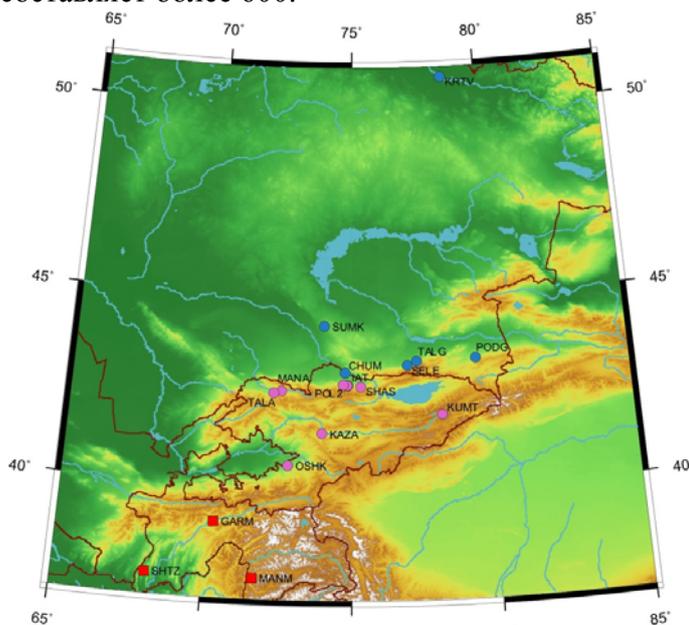


Рис. 1. Перманентные станции.

Из этого числа GPS-пунктов наибольшее количество относится к региональной GPS-сети, расположенной на всей территории Центральной Азии. Измерения на них, как правило, проводятся 2-3 раза в год. Пункты локальной GPS-сети (около 40) расположены в предгорьях Киргизского хребта и измеряются 7-8 раз в год. Длительность измерений в локальной и региональной GPS-сетях составляет 36 часов.

Помимо этого, ИС РАН производит сбор данных с 17 станций непрерывного наблюдения (рис. 1), две из которых входят в состав мировой (глобальной) сети igs.

Для GPS-измерений используются двухчастотные спутниковые геодезические приемники Trimble R-7 и Topcon Legacy-E с возможностью приема GPS/ГЛОНАСС сигналов, предназначенные для измерения координат и геодезических определений относительного местоположения объектов.

Первичные данные, получаемые с этих приборов, являются бинарными. На рис. 2 представлена схема обработки GPS-данных.

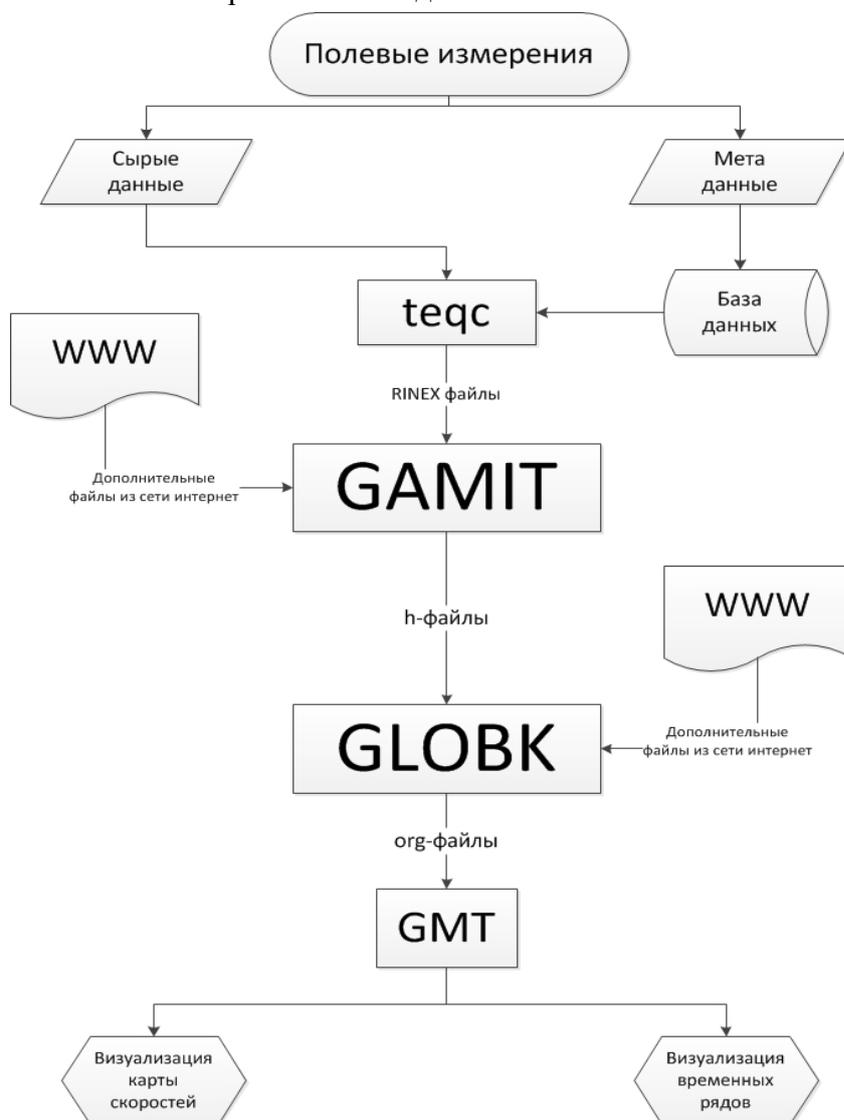


Рис. 2 Схема обработки

Помимо сырых данных, существуют также метаданные (данные об измерении: информация о погодных условиях, приборе, данные об операторе и т.п.), которые заносятся оператором в так называемый паспорт измерения. Данные из паспорта измерения заносятся в информационную систему по работе с GPS-данными.

Так как исходные форматы сырых данных, получаемые от GPS-приёмников, различны, их необходимо преобразовать в унифицированный международный формат RINEX (сокр. англ. Receiver Independent Exchange Format). Метаданные используются для формирования заголовка RINEX-файлов. Преобразование выполняется с помощью утилиты `teqc`, разработанной и поддерживаемой компанией UNAVCO.

Дальнейший процесс обработки делится на два этапа: первый - GAMIT и второй – GLOBK [1-2].

Блок GAMIT состоит из отдельных модулей, выполняющих функции подготовки данных, генерации таблиц интерполированных спутниковых орбит, вычисления разностных значений наблюдений, вычисления оценок параметров. Главная цель - определение координат реперов с использованием значений фаз несущих частот, которые регистрируют приемники.

Для корректной обработки блоку GAMIT требуется различные справочники и таблицы, которые необходимо скачать из глобальной сети Internet. Наиболее часто обновляемые справочники - `pole` (вращение полюсов), `pm` (движение полюсов) и `ut1` (унифицированное время). Справочники, обновляемые раз в год - `luntab` (гравитационное воздействие Луны), `soltab` (гравитационное воздействие Солнца), `nultab` (колебание от оси вращения Земли). ГРИД-файлы: `atmdisp_cm`, `vmflgrd`, `otl_FES2004.grid`, участие которых для процесса обработки не является критичным, но имеет важное значения для результата. Навигационные файлы (`brdc`-файлы) и файлы орбит (`igs`, `sp3`, `gfile`) качаются на каждый день обработки с SOPAC сервера. После загрузки всех необходимых данных из глобальной сети формируется и настраивается директория, в которой происходит обработка данных блоком GAMIT. В результате этой обработки для каждого дня создаётся директория, в которой содержатся основные результаты:

- `q`-файл (`qooooa.001`) - в основном используется для просмотра и определения качества обработки, содержит решение дня ограничено;
- `h`-файл (`hooooa.09001`) – свободные решения в текстовом формате, основной результат обработки GAMIT, который в дальнейшем конвертируется в бинарный вид и используется блоком GLOBK;
- `*.ps` – так называемые карты неба, рисуются для каждой станции;
- `oooooa.001` – файл, содержащий те же результаты обработки что и в `q`-файле, но в адаптированном формате для скриптов GAMITa, «oooo» в именах файлов – маркер обработки.

После этого `h`-файлы конвертируются в бинарные `*.glx` файлы, необходимые для дальнейшей обработки блоком GLOBK.

Одно из назначений пакета GLOBK - это объединение отдельных измерений, например, однодневных решений для получения усредненных оценок координат пунктов наблюдений за период многодневного эксперимента, другое - объединение решений отдельных измерений, проведенных в течение нескольких лет, с целью оценки скоростей движения наземных пунктов. Также с помощью данного пакета могут быть прослежены изменения координат пунктов наблюдений во времени.

Как и при обработке данных блоком GAMIT, для обработки блоком GLOBK необходимы данные из глобальной сети Internet – данные igs-сетей. В случае необходимости обработка может происходить с данными других “локальных” обработок (например: jias, igum (Китай), izrl (Израиль) и т.д.).

Обработку данных блоком GLOBK можно разделить на несколько этапов:

- **Слияние** - производится с целью урегулирования локальных решений с глобальными. Данная процедура основывается на наборе станций являющимся пересечением списков, участвующих в обработках станций (не менее одной станции).
- **Комбинирование** - осреднение по шкале времени. На оси времени выбирается несколько отрезков (каждый отрезок состоит из нескольких идущих подряд суток), выбирается определенное подмножество станций, для каждой из этих станций вычисляется среднее положение за весь отрезок. Время для этого принимается равным средней точке отрезка. Таким образом, теперь все станции имеют по одной точке на те отрезки, в комбинировании по которым они участвовали.
- **Расчёт априорных скоростей и временных рядов** - под временными рядами в данном случае подразумевается изменение координат станции с течением времени. Объектом исследования может быть как изменение положения точки в пространстве

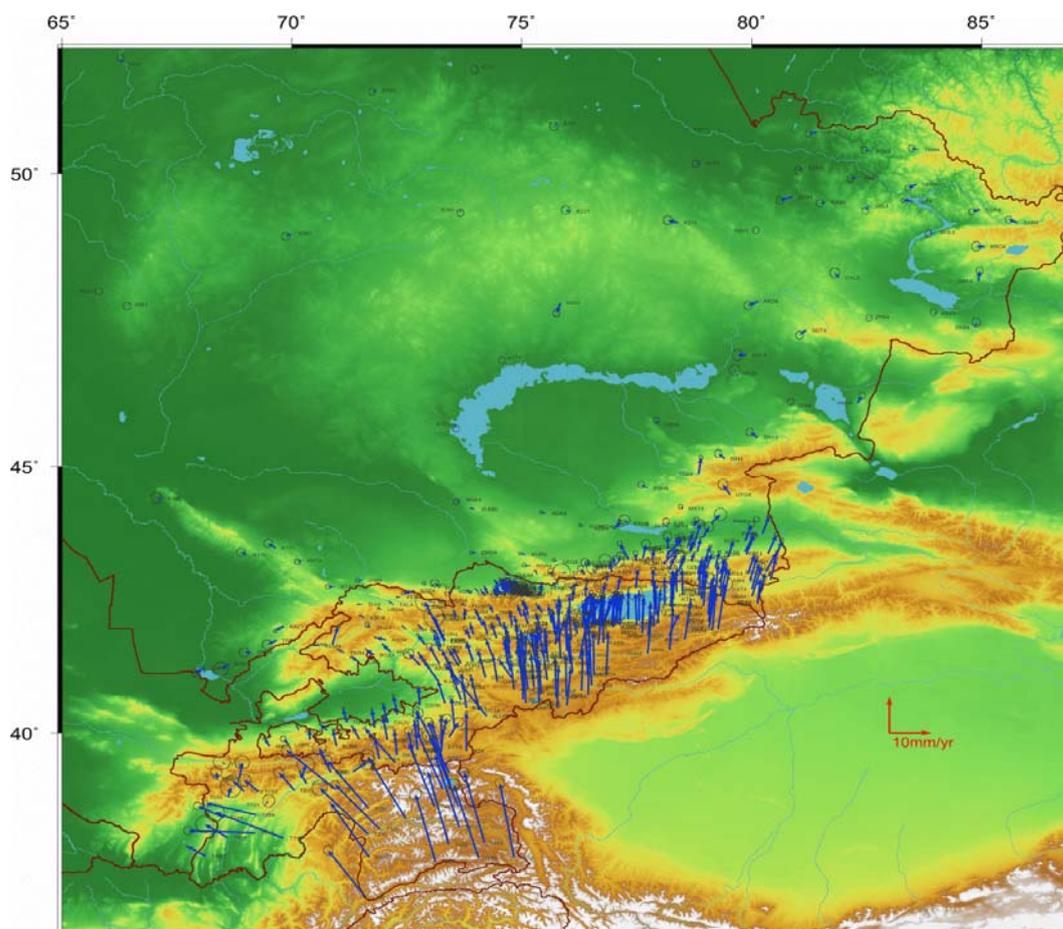


Рис. 3. Пример графического отображения карты

определенной системы отсчета, так и изменение базовых линий станций (расстояние между ними).

Результатом обработки блоком GLOBK являются выходные \*.org-файлы, в которых содержится информация о временных рядах и априорных скоростях.

Одним из методов графической реализации временных рядов и априорных скоростей является реализация средствами программного пакета GMT. Примеры графического отображения временных рядов и карты скоростей отображены на рис. 3 и рис. 4.

По временным рядам можно наглядно наблюдать и анализировать движение той или иной марки.

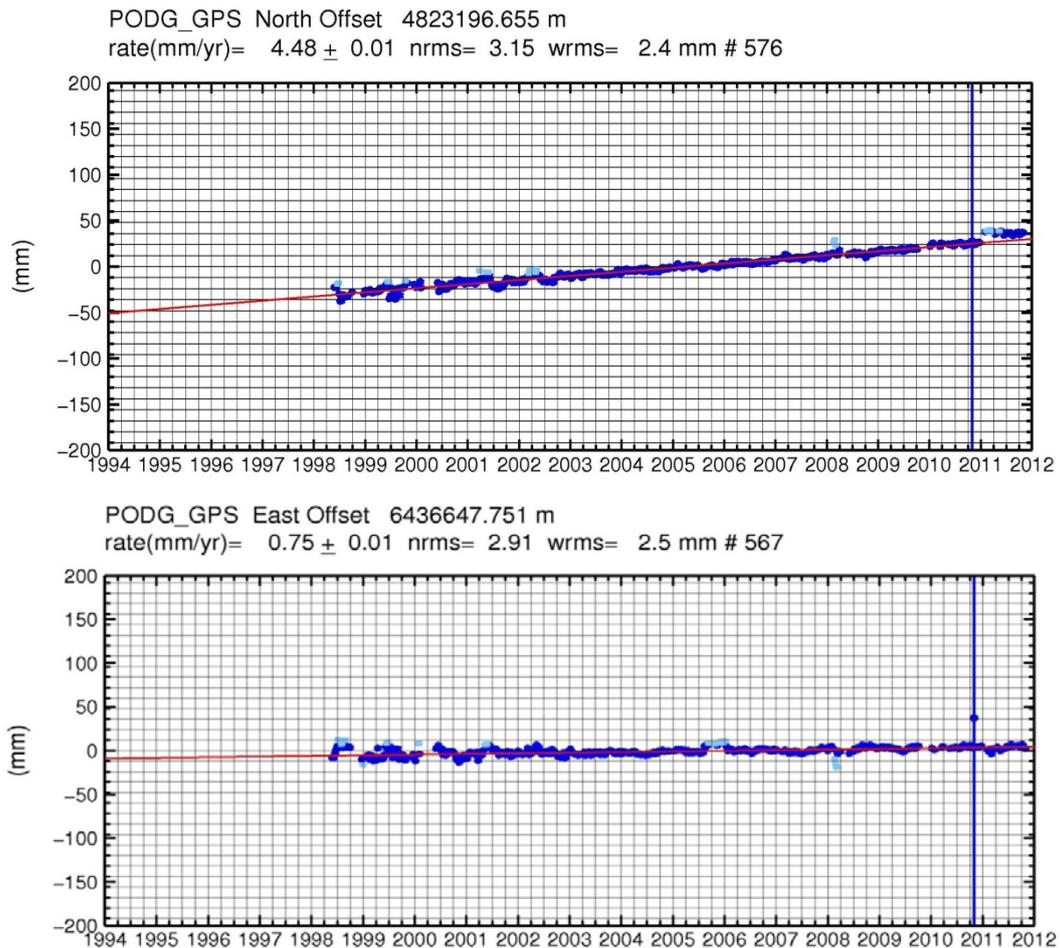


Рис. 4. Графическое отображение временного ряда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. GAMIT: GPS Analysis at MIT. DEAPS. Release 10.3, Cambridge: MIT, 2009, 183p.
2. Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. DEAPS. Release 10.3, Cambridge: MIT, 2009, 91p.

## ПРОЕКЦИОННЫЕ РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА

Забинякова О.Б.

тел.: 0555 666 592; e-mail: [perah.92@inbox.ru](mailto:perah.92@inbox.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Электромагнитное поле в безынерционной системе отсчета может быть полностью описано с помощью уравнений Максвелла, которые в дифференциальной форме записываются в следующем виде:

- закон индукции Фарадея:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (1)$$

- закон Ампера:

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{j} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (2)$$

- закон Гаусса:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = q, \quad (3)$$

- закон Гаусса для магнитного поля:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0, \quad (4)$$

где:

$\vec{E}$  (В/м) – напряженность электрического поля;  $\vec{H}$  (А/м) – напряженность магнитного поля;  $\vec{B}$  (Тл) – вектор магнитной индукции;  $\vec{D}$  (См/м<sup>2</sup>) – вектор электрического смещения;  $q$  (См/м<sup>2</sup>) – плотность электрических зарядов, обусловленная свободными зарядами;  $\vec{j}$  (А/м<sup>2</sup>) – плотность токов смещения;  $\frac{\partial D}{\partial t}$  (А/м<sup>2</sup>) – ток смещения.

Для напряженностей электромагнитного поля установлены следующие соотношения (материальные уравнения Максвелла):

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}, \quad \vec{D} = \epsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad (5)$$

где  $\sigma$ ,  $\epsilon$  и  $\mu$  описывают внутренние свойства среды, в которой распространяются электромагнитные поля:

$\sigma$  (См / м) – электрическая проводимость (величина, обратная электрическому сопротивлению  $\rho = 1 / \sigma$  (Ом/м));

$\epsilon$  (Ф / м) – диэлектрическая проницаемость, в вакууме  $\epsilon = \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  (Ф/м);

$\mu$  (Гн / м) – магнитная восприимчивость, в вакууме  $\mu = \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (Гн/м).

Известно, что система уравнений Максвелла служит математической моделью метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) – метода исследования внутреннего строения верхних слоев Земли [1]. Этот метод является одним из основных в глубинных геофизических исследованиях, поэтому особый интерес представляет разработка численных методов решения соответствующей математической задачи.

В настоящее время на практике решения обратной задачи МТЗ обычно ищутся в классе одно- и двумерных моделей, трехмерные модели, из-за высокой ресурсоемкости, пока широко не используются [2]. Известно также, что разработка быстрого и точного алгоритма для решения прямой задачи дает основу для создания эффективного и надежного алгоритма решения обратной задачи МТЗ. Поэтому в данной работе предлагаются новые численные методы решения одномерной задачи Тихонова-Каньяра и двумерной задачи Н-поляризации (ТМ-моды) [1]. Разработанные численные методы основаны на проекционном варианте интегро-интерполяционного метода (ПВИИМ) [3], позволяющего сохранять основные свойства дифференциальной задачи в ее дискретном аналоге и учитывать краевые условия общего вида.

Не выходя за рамки процесса МТЗ с физической точки зрения, будем считать выполненными следующие стандартные упрощающие предположения:

- магнитотеллурическое поле зависит от времени по гармоническому закону:
- $\vec{H}(t) = \vec{H} \cdot \exp(-i\omega t)$ ,  $\vec{E}(t) = \vec{E} \cdot \exp(-i\omega t)$ , где  $i$  – мнимая единица:  $i^2 = -1$ ;
- модель является квазистационарной;
- магнитная и диэлектрическая проницаемости постоянны и равны соответствующим проницаемостям свободного пространства;
- электропроводность среды не зависит от частоты;
- в трехмерном проводящем полупространстве свойства среды сохраняются:
  - вдоль осей  $x$  и  $y$  – в одномерной задаче Тихонова-Каньяра;
  - вдоль оси  $y$  - в двумерной задаче Н-поляризации.

С учетом этих предположений система уравнений Максвелла распадается на две независимые подсистемы, описывающие ТЕ и ТМ-моды электромагнитного поля. В одномерном случае система уравнений для ТМ-моды имеет следующий вид:

$$\begin{cases} -\frac{\partial H^y}{\partial z} = \sigma E^x, \\ \frac{\partial E^x}{\partial z} = i\omega\mu_0 H^y, \quad z \in (0,1). \end{cases} \quad (6)$$

В качестве краевых условий будем рассматривать различные комбинации значений неизвестных функций  $H$  и  $E$  в граничных точках отрезка  $(0,1)$ . Построим разностную схему для системы (6), основываясь на идеологии ПВИИМ [3]. Рассмотрим произвольную, неравномерную сетку на отрезке  $[0,1]$ :

$$0 = z_1 < z_2 < \dots < z_J = 1, \quad \Delta z_j = z_{j+1} - z_j, \quad j = 1, 2, \dots, J-1.$$

Умножим уравнения в (6) на «тестовые» функции  $\varphi_1(z)$  и  $\varphi_2(z)$  соответственно; результаты сложим и проинтегрируем по произвольной, но фиксированной сеточной ячейке  $[z_j, z_{j+1}]$ , затем в интегральное тождество введем кусочно-постоянную аппроксимацию функции  $\sigma(z)$ :

$$\sigma(z) \approx \sigma_j = \left[ \sigma(z_j) + \sigma(z_{j+1}) \right] / 2 \quad \text{при } z \in (z_j, z_{j+1}), \quad j = 1, 2, \dots, J-1;$$

в итоге приходим к интегро-разностному тождеству:

$$\left( E^x \varphi_2 - H^y \varphi_1 \right)_{z_j}^{z_{j+1}} + \int_{z_j}^{z_{j+1}} \left[ H^y \cdot \left( \frac{\partial \varphi_1}{\partial z} - i\omega\mu_0 \varphi_2 \right) - E^x \cdot \left( \frac{\partial \varphi_2}{\partial z} + \sigma_j \cdot \varphi_1 \right) \right] dz = \delta_j, \quad (7)$$

$$\delta_j = \int_{z_j}^{z_{j+1}} [\sigma(z) - \sigma_j] \cdot E^x \cdot \varphi_1 dz.$$

Выберем тестовые функции в (7) так, чтобы выполнялись соотношения:

$$\begin{cases} \frac{d\varphi_1(z)}{dz} - i\omega\mu_0\varphi_2(z) = 0, \\ \frac{d\varphi_2(z)}{dz} + \sigma_j \cdot \varphi_1(z) = 0, z \in (z_j, z_{j+1}). \end{cases} \quad (8)$$

Условия (8) позволяют обратить в ноль интеграл в тождестве (7) и в дальнейшем избавиться от его дополнительной аппроксимации. Решение системы **Ошибка! Источник ссылки не найден.** будем искать в виде:

$$\varphi_1 = -\frac{d\psi}{dz}, \quad \varphi_2 = \sigma_j \cdot \psi, \quad (9)$$

где предусмотрим два варианта выбора функций:

$$\begin{cases} \frac{d^2\psi^{(p)}}{dz^2} - k_j^2\psi^{(p)} = 0, z \in (z_j, z_{j+1}), k_j = (1-i)\sqrt{\frac{\sigma_j\omega\mu_0}{2}}; \\ \psi^{(p)}(z_j) = 1-p, \psi^{(p)}(z_{j+1}) = p, p = 0,1. \end{cases} \quad (10)$$

Решения задачи (10), а значит, и функции (9) легко найти в явном виде. Подставляя функции из (10) и (9) в тождество (7), отбрасывая погрешности аппроксимации  $\delta_j$ , но не меняя при этом обозначения для искомых величин, получим две системы разностных соотношений:

$$\sigma_j \cdot E_j^x + \frac{k_j}{sh(k_j\Delta z_j)} \cdot H_{j+1}^y - k_j \cdot cth(k_j\Delta z_j) \cdot H_j^y = 0, \quad j = 1, 2, \dots, J-1. \quad (11)$$

$$-\sigma_j \cdot E_{j+1}^x - k_j \cdot cth(k_j\Delta z_j) \cdot H_{j+1}^y + \frac{k_j}{sh(k_j\Delta z_j)} \cdot H_j^y = 0, \quad j = 1, 2, \dots, J-1. \quad (12)$$

Соотношения (11) и (12) достаточно универсальны: их можно использовать как для аппроксимации граничных условий, так и во внутренних узлах сетки. Например, исключая из (11) и (12) величины  $E_j^x$  во внутренних узлах сетки, приходим к системе соотношений для определения  $H_j^y$ , добавляем к ней два граничных соотношения и систему решаем методом прогонки.

Аналогичные рассуждения проводятся и для двумерного случая. В двумерном случае система уравнений для ТМ-моды имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial E^x}{\partial z} - \frac{\partial E^z}{\partial x} = i\omega\mu_0 H^y, \\ -\frac{\partial H^y}{\partial z} = \sigma E^x, \\ \frac{\partial H^y}{\partial x} = \sigma E^z; \end{array} \right. \quad (13)$$

Система уравнений (13) рассматривается в некоторой двумерной области плоскости  $(x, z)$ , покрытой прямоугольной сеткой; рассмотрим произвольную ячейку этой сетки, вводя обозначения:

$$\pi = \pi_{n,j} = [x_n, x_{n+1}] \times [z_j, z_{j+1}], \quad \Delta x_n = x_{n+1} - x_n, \quad \Delta z_j = z_{j+1} - z_j.$$

Аналог интегро-разностного тождества (7) в двумерном случае будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} \delta_{n,j} = & \int_{\partial\pi} \left[ (H^y \varphi_3 - E^z \varphi_2) \cos(\vec{n}, x) + (E^x \varphi_2 - H^y \varphi_1) \cos(\vec{n}, z) \right] ds - \\ & - \int_{\pi} \left[ E^x \cdot \left( \frac{\partial \varphi_2}{\partial z} + \sigma_{n,j} \varphi_1 \right) + E^z \cdot \left( -\frac{\partial \varphi_2}{\partial x} + \sigma_{n,j} \varphi_3 \right) + H^y \cdot \left( -\frac{\partial \varphi_1}{\partial z} + \frac{\partial \varphi_3}{\partial x} + i\omega\mu_0 \varphi_2 \right) \right] dx dz \end{aligned}$$

Тестовые функции в этом случае выбираются по формулам:

$$\varphi_1 = -\frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad \varphi_2 = \sigma_{n,j} \psi, \quad \varphi_3 = \frac{\partial \psi}{\partial x},$$

в которых предусмотрены четыре варианта выбора функции  $\psi$ , обращающие в ноль главный интеграл в тождестве. В соответствии с этим выбором для каждой сеточной ячейки получаем четыре разностных соотношения, подобных (11) и (12), здесь приведем только два первых ( $\theta \in [0, 1]$ ):

$$\begin{aligned} & \frac{\Delta z_j}{\Delta x_n} \left[ E_{n,j}^z - \frac{\sqrt{\theta}(k/\sigma)_{n,j}}{sh(\sqrt{\theta}k_{n,j}\Delta x_n)} \cdot H_{n+1,j}^y + \sqrt{\theta}(k/\sigma)_{n,j} cth(\sqrt{\theta}k_{n,j}\Delta x_n) \cdot H_{n,j}^y \right] - \\ & - E_{n,j}^x - \frac{\sqrt{1-\theta}(k/\sigma)_{n,j}}{sh(\sqrt{1-\theta}k_{n,j}\Delta z_j)} \cdot H_{n,j+1}^y + \sqrt{1-\theta}(k/\sigma)_{n,j} cth(\sqrt{1-\theta}k_{n,j}\Delta z_j) \cdot H_{n,j}^y = 0. \\ & \frac{\Delta z_j}{\Delta x_n} \left[ E_{n,j+1}^z - \frac{\sqrt{\theta}(k/\sigma)_{n,j}}{sh(\sqrt{\theta}k_{n,j}\Delta x_n)} \cdot H_{n+1,j+1}^y + \sqrt{\theta}(k/\sigma)_{n,j} cth(\sqrt{\theta}k_{n,j}\Delta x_n) \cdot H_{n,j+1}^y \right] + \\ & + E_{n,j+1}^x - \frac{\sqrt{1-\theta}(k/\sigma)_{n,j}}{sh(\sqrt{1-\theta}k_{n,j}\Delta z_j)} \cdot H_{n,j}^y + \sqrt{1-\theta}(k/\sigma)_{n,j} cth(\sqrt{1-\theta}k_{n,j}\Delta z_j) \cdot H_{n,j+1}^y = 0. \end{aligned}$$

Так же, как и в одномерном случае, из этих соотношений можно исключить величины  $E_{n,j}^z$  и  $E_{n,j}^x$  во внутренних узлах сетки, полученная задача будет определять  $H_{n,j}^y$  и ее можно решать любым итерационным методом.

Для иллюстрации работы предложенных схем были проведены численные эксперименты. С этой целью в среде Microsoft Visual Studio 2010 на языке C# было разработано программное

приложение, с помощью которого проводились сравнения результатов работы разработанных новых численных методов (ПВИИМ) с традиционно используемым при решении этих задач методом с «центральными разностями» (ЦРМ) и известными аналитическими решениями тестовой задачи.

В таблицах ниже приведены некоторые результаты для сравнения расчетов:

в таблице 1 - относительные погрешности для одномерной задачи, в таблице 2 – для двумерной задачи.

**Таблица 1.**

Метод	Функция	9	17	33	65
ПВИИМ	$\text{Re } H^y$	$3 \cdot 10^{-16}$	$1 \cdot 10^{-15}$	$2,6 \cdot 10^{-15}$	$2,6 \cdot 10^{-15}$
	$\text{Im } H^y$	$3,6 \cdot 10^{-16}$	$3 \cdot 10^{-16}$	$2 \cdot 10^{-15}$	$3 \cdot 10^{-16}$
	$\text{Re } E^x$	$1 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-14}$	$1,7 \cdot 10^{-14}$	$8 \cdot 10^{-14}$
	$\text{Im } E^x$	$3,5 \cdot 10^{-15}$	$4 \cdot 10^{-14}$	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$3 \cdot 10^{-15}$
ЦРМ	$\text{Re } H^y$	$4 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
	$\text{Im } H^y$	60	11	2,6	0,7
	$\text{Re } E^x$	1	1	1	1
	$\text{Im } E^x$	13	2,4	0,8	0,2

**Таблица 2.**

Число узлов сетки	Метод	$H^y$	$E^z$	$E^x$
$10 \times 10$	ПВИИМ	$2,7 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-15}$	$3,6 \cdot 10^{-8}$
	ЦРМ	0,3	1,6	1,6
$20 \times 20$	ПВИИМ	$4 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-3}$
	ЦРМ	0,2	0,85	0,85

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
2. Рыбин А.К. Глубинное строение и современная геодинамика Центрального Тянь-Шаня по результатам магнитотеллурических зондирований. М.: Научный мир. 2011. 272 с.
3. Sklyar S.N. A projective version of the integral-interpolation method and it's application for the discretization of the singular perturbation problems // "Advanced Mathematics: Computations and Applications". Proc.Of the International Conf. AMCA-95. NCC Publisher. Novosibirsk. 1995. P. 380-385.

## ВЕТРОВЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ВОДОЕМЕ: АНАЛИЗ МОДЕЛИ, ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ

Турдушев И.А.

тел.: 0 555 63 91 44; e-mail: [iliar.turdushev@gmail.com](mailto:iliar.turdushev@gmail.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Математическая модель ветровых течений жидкости в водоеме основана на системе полных нелинейных уравнений гидротермодинамики, записанных в традиционных приближениях, и включает уравнения движения, статики, неразрывности, переноса тепла, а также уравнение состояния [1]. Полная реализация подобной модели возможна только численными методами. В некоторых случаях учет специфики водоема позволяет упростить общую модель, сохраняя ее достаточно сложной, чтобы отражать основные свойства изучаемых течений, но, в то же время, сделав ее достаточно простой, чтобы можно было отыскать некоторые классы аналитических решений этой задачи. Изучение таких решений, с одной стороны, позволяет, в первом приближении, оценить качественную картину течений, а с другой стороны, аналитические решения играют важную роль при проверке работоспособности вычислительных методов и алгоритмов, используемых для численной реализации общей модели. Впервые такая упрощенная модель была предложена Экманом, им же были найдены первые аналитические решения [2]. В дальнейшем различные классы аналитических решений для ветровых экмановских моделей были найдены многими авторами, их можно найти, например, в [3].

Рассматриваемая математическая модель включает уравнения движения

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \ell \cdot v - \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial x} - L(u) + A\Delta u, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \ell \cdot u - \frac{\partial}{\partial z} \left( \nu \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P}{\partial y} - L(v) + A\Delta v, \quad (2)$$

и уравнение неразрывности несжимаемой жидкости

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

где  $P = P^s + g \int_0^z \rho dz'$ .

Уравнения (1)–(3) рассматриваются в трехмерной области

$$\Omega = \{(x, y, z) \mid (x, y) \in \Omega_0, 0 < z < H(x, y)\},$$

где  $\Omega_0$  – двумерная область, расположенная в плоскости  $\{z = 0\}$  (зеркало водоема); функция  $H(x, y) > 0$  описывает рельеф дна; и дополняются следующими граничными

$$\{(x, y) \in \Omega_0, z = 0\}: \nu \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\tau_x}{\rho_0}, \nu \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\tau_y}{\rho_0}, w = 0. \quad (4)$$

$$\{(x, y) \in \Omega_0, z = H(x, y)\}: \nu \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\tau_x^b}{\rho_0}, \nu \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\tau_y^b}{\rho_0}, w = u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y}. \quad (5)$$

$$\{(x, y) \in \partial\Omega_0, 0 \leq z \leq H(x, y)\}: Un_x + Vn_y = 0. \quad (6)$$

и начальными условиями

$$t = 0: u = u^0, v = v^0. \quad (7)$$

В модели (1)-(7) приняты обозначения:  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости течений, соответствующие осям  $x, y, z$ ;  $P$  – давление;  $P^s$  – давление на невозмущенной поверхности  $\{(x, y) \in \Omega_0, z = 0\}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho_0$  – среднее значение плотности;  $\ell = \ell(x, y)$  – параметр Кориолиса;  $A, \nu$  – коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной вязкости, соответственно;  $n = (n_x, n_y)$  – вектор внешней нормали к боковой вертикальной границе области  $\Omega$ ;  $\tau_x, \tau_y$  – компоненты касательного напряжения трения ветра;  $L$  – оператор адвекции скалярной величины;  $\Delta$  – оператор Лапласа по горизонтальным переменным  $x, y$ . В (6) присутствуют интегральные скорости:

$$U(t, x, y) = \int_0^{H(x, y)} u(t, x, y, z) dz, \quad V(t, x, y) = \int_0^{H(x, y)} v(t, x, y, z) dz, \quad (8)$$

а в (5) принимается параметризация придонного трения следующего вида:

$$\tau_x^b = \mu \rho_0 U, \quad \tau_y^b = \mu \rho_0 V, \quad \mu > 0. \quad (9)$$

Для оценки порядка величин слагаемых в соотношениях модели (1)-(7) целесообразно перейти к безразмерным величинам. Рассмотрим уравнения (1)-(3) нашей системы и определим характерные для озера Иссык-Куль масштабы, считая их независимыми:

$$\begin{aligned} L_0 &= 100 \text{ км} = 10^7 \text{ см}, \quad h_0 = 3 \cdot 10^4 \text{ см}, \quad u_0 = 5 \text{ см/сек}, \\ \ell_0 &= 10^{-4} 1/\text{сек}, \quad \rho_0 = 1 \text{ г/см}^3, \quad A = 10^6 \text{ см}^2/\text{с}, \quad \nu = 10^2 \text{ см}^2/\text{сек}. \end{aligned} \quad (10)$$

Введем безразмерные переменные:  $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \bar{u}, \bar{v}, \bar{w}, \bar{t}, \bar{\ell}, \bar{P}$ , связав их с исходными размерными по формулам:

$$x = L_0 \bar{x}, \quad y = L_0 \bar{y}, \quad z = h_0 \bar{z}; \quad \ell = \ell_0 \bar{\ell}; \quad t = t_0 \bar{t}, \quad u = u_0 \bar{u}, \quad v = u_0 \bar{v}, \quad w = w_0 \bar{w}; \quad P = P_0 \bar{P}. \quad (11)$$

При этом масштабы  $P_0, w_0, t_0$  считаются зависимыми.

Переход к безразмерным переменным в системе уравнений (1)-(3) позволяет сделать вывод о том, что в масштабах, характерных для озера Иссык-Куль, можно отказаться от учета адвективного переноса и горизонтальной диффузии. При этом получается следующая система уравнений, записанная в безразмерных переменных:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{t}} - \bar{\ell} \bar{v} &= -\frac{\partial \bar{P}}{\partial \bar{x}} + E_v \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial \bar{z}^2}; \\ \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{t}} + \bar{\ell} \bar{u} &= -\frac{\partial \bar{P}}{\partial \bar{y}} + E_v \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial \bar{z}^2}; \\ \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{x}} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{y}} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial \bar{z}} &= 0. \end{aligned} \quad (12)$$

В системе уравнений (12) величины  $E_A, E_v$  – это числа Экмана для горизонтальной и вертикальной турбулентной вязкости:

$$E_A = \frac{A}{\ell_0 L_0^2} = 10^{-4}; \quad E_v = \frac{\nu}{\ell_0 h_0^2} = 10^{-3},$$

а зависимые масштабы  $P_0, w_0, t_0$  имеют следующие значения:

$$w_0 = 1.5 \cdot 10^{-2} \frac{\text{см}}{\text{сек}}; \quad t_0 = 10^4 \text{ сек}; \quad P_0 = 5 \cdot 10^3 \frac{\text{г}}{\text{см} \cdot \text{сек}^2}.$$

Краевые условия (4) в безразмерных переменных принимают следующий вид:

$$E_v \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} = \bar{\tau}_x, \quad E_v \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{z}} = \bar{\tau}_y;$$

где  $\bar{\tau}_x, \bar{\tau}_y$  выражаются через компоненты вектора скорости ветра на поверхности водоема.

Краевые условия (5), записанные в безразмерных переменных, имеют вид:

$$E_v \frac{\partial \bar{u}}{\partial \bar{z}} = -\frac{\mu}{\ell_0} \int_0^{\bar{H}(\bar{x}, \bar{y})} \bar{u}(\bar{t}, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) d\bar{z}, \quad E_v \frac{\partial \bar{v}}{\partial \bar{z}} = -\frac{\mu}{\ell_0} \int_0^{\bar{H}(\bar{x}, \bar{y})} \bar{v}(\bar{t}, \bar{x}, \bar{y}, \bar{z}) d\bar{z}, \quad \bar{w} = \bar{u} \frac{\partial \bar{H}}{\partial \bar{x}} + \bar{v} \frac{\partial \bar{H}}{\partial \bar{y}}.$$

Итак, примем следующие упрощающие предположения:

1. плотность – постоянная величина:  $\rho = \rho_0$ ;
2. в уравнениях движения пренебрегаем адвективным переносом и горизонтальной диффузией.

С учетом указанных выше упрощений гидродинамическую модель (1)-(7) можно переписать в следующем виде (все величины считаем безразмерными, черточки над ними для простоты опущены):

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} - \ell v = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P^s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial u}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + \ell u = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P^s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left( v \frac{\partial v}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (13)$$

$$\{z = 0\}: v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\tau_x}{\rho_0}, \quad v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\tau_y}{\rho_0}, \quad w = 0; \quad (14)$$

$$\{z = H\}: v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\tau_x^b}{\rho_0}, \quad v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\tau_y^b}{\rho_0}, \quad w = u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} = 0, \quad (15)$$

$$\{0 \leq z \leq H\}: Un_x + Vn_y = 0 \quad (16)$$

$$t = 0: u = u^o, \quad v = v^o. \quad (17)$$

Для полученной модели докажем единственность решения. Предположим, что задача (13)-(17) имеет два решения:  $u_1, v_1, w_1, P_1^s$  и  $u_2, v_2, w_2, P_2^s$ . Используем представление вектора горизонтальной скорости в виде суммы баротропной  $(\bar{u}, \bar{v})$  и бароклининой  $(\mathfrak{k}, \mathfrak{e})$  составляющих (см. [1]):

$$u = \bar{u} + \mathfrak{k}, \quad v = \bar{v} + \mathfrak{e}, \quad \bar{u} = U \cdot H^{-1}, \quad \bar{v} = V \cdot H^{-1}.$$

Для разности решений  $u_1, v_1, w_1, P_1^s$  и  $u_2, v_2, w_2, P_2^s$  задача для баротропной

компоненты имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} \left( \left( \frac{V}{H} \right)_x - \left( \frac{U}{H} \right)_y \right) + \mu \left[ \left( \frac{V}{H} \right)_x - \left( \frac{U}{H} \right)_y \right] + \left( \ell \frac{V}{H} \right)_y + \left( \ell \frac{U}{H} \right)_x = 0; \\ U_x + V_y = 0, \quad (x, y) \in \Omega_0, t > 0; \\ Un_x + Vn_y = 0, \quad (x, y) \in \partial\Omega_0, t > 0; \\ U|_{t=0} = 0, \quad V|_{t=0} = 0. \quad (x, y) \in \Omega_0. \end{cases} \quad (18)$$

Умножим первое уравнение (18) на функцию  $\varphi$ , такую что

$$\varphi_x = V, \quad \varphi_y = -U \quad \text{при } (x, y) \in \Omega_0, t > 0; \quad \varphi|_{\partial\Omega_0} = 0;$$

и полученное уравнение проинтегрируем по области  $\Omega_0$ , в том числе и по частям.

В результате получим соотношение:

$$\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega_0} \frac{U^2 + V^2}{H} dx dy + \mu \int_{\Omega_0} \frac{U^2 + V^2}{H} dx dy = 0, \quad (19)$$

которое выполняется только при  $U = 0, V = 0$ , что означает единственность баротропной компоненты.

Учитывая, что  $U = 0, V = 0$ , для давления на невозмущенной поверхности  $P^s$  получаем следующие соотношения:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P^s}{\partial x} = 0, \quad \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial P^s}{\partial y} = 0. \quad (20)$$

Выпишем задачу для бароклиной компоненты для разности решений. Она получается из задачи (13)-(17) с учетом того, что  $U = 0, V = 0$ , и имеют место соотношения (20):

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial t} - \ell \mathfrak{K} - \nu \frac{\partial^2 \mathfrak{K}}{\partial z^2} = 0; \\ \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial t} + \ell \mathfrak{K} - \nu \frac{\partial^2 \mathfrak{K}}{\partial z^2} = 0; \end{cases} \quad (21)$$

краевые условия:

$$\begin{aligned} z = 0: \quad \nu \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial z} = 0, \quad \nu \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial z} = 0; \\ z = H: \quad \nu \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial z} = 0, \quad \nu \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial z} = 0; \end{aligned} \quad (22)$$

начальные условия:

$$t = 0: \quad \mathfrak{K} = 0, \quad \mathfrak{K} = 0. \quad (23)$$

Первое уравнение (21) умножим на функцию  $\mathfrak{K}$ , а второе – на функцию  $\mathfrak{K}$ , сложим получившиеся уравнения и результат проинтегрируем по переменной  $z$  от 0 до  $H$ , учитывая краевые условиям (22). В итоге получим уравнение

$$\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^H (\mathfrak{K}^2 + \mathfrak{K}^2) dz + \nu \int_0^H \left( \left( \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial \mathfrak{K}}{\partial z} \right)^2 \right) dz = 0. \quad (24)$$

Так как второе слагаемое в (24) является неотрицательным, то для первого слагаемого можем записать:

$$\frac{\partial f(t)}{\partial t} \leq 0, \quad \text{где } f(t) = \int_0^H (\mathfrak{K}^2 + \mathfrak{K}^2) dz \geq 0.$$

Из условия (23) получаем  $f(0) = 0$ . Так как функция  $f(t)$  является убывающей (ее производная неположительная), неотрицательной и в начальный момент времени  $f(0) = 0$ , то мы получаем, что  $f(t) \equiv 0$ . Последнее соотношение означает единственность бароклинной компоненты.

Задача для вертикальной компоненты имеет вид:

$$\frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad w|_{z=0} = 0.$$

Данная задача имеет только тривиальное решение. Следовательно, вертикальная компонента определяется единственным образом.

Таким образом, доказана единственность решения для компонент скорости  $u, v, w$ .

При дополнительных упрощениях задача (13)-(17) может быть решена аналитически. К пунктам 1 и 2 добавим условия:

3. в качестве основной области принимается бассейн прямоугольной формы, глубина которого постоянна и равна  $H$ :  $\Omega = [0, r] \times [0, q] \times [0, H]$ ;
4. для параметра Кориолиса принимается линейная зависимость:  $\ell = \ell_0 + \beta y$ ;
5. компоненты напряжения трения ветра  $\tau_x, \tau_y$  задаются при помощи аналитических формул, позволяющих моделировать различные типы ветров над акваторией бассейна; мы, в частности, будем рассматривать вариант:

$$\tau_x = -F_1 \frac{q\rho_0}{\pi} \cos\left(\frac{\pi y}{q}\right), \quad \tau_y = F_2 \frac{r\rho_0}{\pi} \cos\left(\frac{\pi x}{r}\right) \sin\left(\frac{\pi y}{q}\right),$$

где  $F_1, F_2$  – параметры, определяющие силу ветра.

Теперь задачу (13)-(17), с учетом п.п. 3-5, можно использовать как тестовую для проверки работоспособности и анализа новых численных методов, если удастся найти достаточно богатое множество ее аналитических решений.

Некоторые классы аналитических решений тестовой задачи (13)-(17) найдены в работе [4]. Горизонтальные компоненты вектора скорости найдены в виде сумм баротропной и бароклинной составляющих.

Зная горизонтальные компоненты скорости, вертикальная компонента скорости может быть определена, как решение задачи

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} = - \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial \mathcal{E}}{\partial z} \right) \right], \quad z \in (0, H); \\ w|_{z=0} = 0, \quad w|_{z=H} = 0. \end{cases}$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. Москва: Наука. 1988. 302 с.
2. Ekman. V.W. On the influence of the Earth rotation on ocean currents // Arkiv Mat.Astron. or Fysik. 1905. Bd. 2. № 11. P. 1-52.
3. Еремеев В.Н., Кочергин В.П., Кочергин С.В., Скляр С.Н. Математическое моделирование гидродинамики глубоководных бассейнов. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. 2001. 238 с.
4. Турдушев И.А., Скляр С.Н. Аналитические решения для трехмерной модели ветровых течений в водоеме / Актуальные проблемы теории управления, топологии и операторных уравнений: Материалы второй международной юбилейной конференции, посвященной 20-летию образования Кыргызско-

Российского Славянского университета (КРСУ) им. Б.Н Ельцина и 100-летию профессора Якова Васильевича Быкова. Санаторий «Иссык-Куль Аврора»: 5-7 сентября 2013 года / Под общ. ред. проф. А.К. Керимбекова. Бишкек: Изд-во Maxprint. Том 2. 258 с.

## ПЕРЕНОСНОЙ РЕГИСТРАТОР ИНФРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ АТМОСФЕРЫ JORES

Махмудов. Е.Р.

тел.: (81452) 431860; e-mail: [mer@emsd.ru](mailto:mer@emsd.ru)

Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизической службы Российской академии наук, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

### Введение

Современные наблюдения за любым геофизическим процессом предполагают ведение регистрации его параметров на цифровых носителях информации для последующей обработки на компьютерных системах. Специфика исследования инфразвуковых процессов в атмосфере заключается в необходимости сети регистрирующих пунктов, расположенных на некотором удалении друг от друга (от единиц до нескольких десятков сотен метров) в определенной конфигурации. Классический подход в построении подобной системы заключается в наличии опорного и дочерних пунктов, связанных проводным или беспроводным каналом связи. Подобное построение характерно для стационарных пунктов регистрации, но абсолютно не приемлемо в случае проведения натурных наблюдений вблизи источников взрывных процессов ввиду своей сложности, громоздкости и высоких требований к обслуживанию. Современные технические решения предоставляют возможность созданию миниатюрных переносных систем регистрации, не уступающих по возможностям стационарным аналогам.

В данной статье дано описание разработанного автором переносного регистратора инфразвуковых колебаний атмосферы JORES, отличительными чертами которого являются компактность, низкое энергопотребление и себестоимость.

### Аппаратная часть

Общая схема аппаратных составляющих представлена на рис. 1.

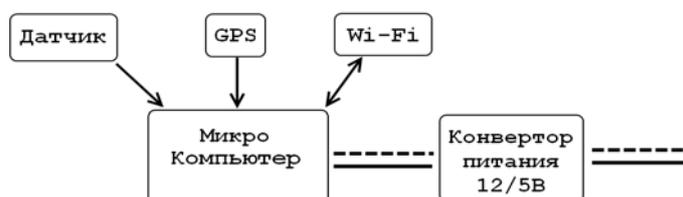


Рис. 1. Блок схема аппаратной части регистратора.

**Микрокомпьютер ODROID-X2.** Микрокомпьютер представляет собой компактный одноплатный компьютер на базе современного производительного четырех ядерного ARM процессора, с установленной схемой памяти на 2 ГБ (рис. 2).

Таблица 1. Основные характеристики микрокомпьютера ODROID-X2

Процессор	Samsung Exynos4412 Prime Cortex-A9 Quad Core 1.7Гц
Память	2ГбLP-DDR2
Сеть	10/100Mbps Ethernet
USB2.0	6 портов
Системы хранения	SD слот , eMMC модуль
Максимальное энергопотребление	10Вт (5В 2А )
Типовое потребление	~5 Вт
Размер	90 x 94 мм

Фирма производитель Hardkernel, Южная Корея.



Рис. 2. Микрокомпьютер ODROID-X2.

**GPS-антенна GlobalSat MR-350s4.** Для временной синхронизации внутренних часов компьютера с мировым временем используется GPS-приемник.

GlobalSat MR-350s4 базируется на современном микрочипе SiRFStarIV, благодаря которому достигается высокая чувствительность -163dB и малое энергопотребление 55мА; конструктивно выполнен с резьбой для монтажа в корпус (рис.3).



Рис.3. GPS-антенна GlobalSat MR-350S4.

**Инфразвуковой датчик Infiltec INFRA20.** В качестве датчика инфразвуковых колебаний используется недорогой INFRA20, способный регистрировать волны с периодом до 20 с. Фирма производитель Infiltec, США.

Таблица 2. Спецификация датчика инфразвуковых колебаний INFRA20

Тип датчика	Дифференциальный
Динамический диапазон, Па	±100
Частотная характеристика, Гц	0,05-20
Разрешающая способность, Па	0,01
АЦП, бит	16
Частота дискретизации, Гц	50
Тип интерфейса	RS-232, 9600 N81
Фильтр	выходной эллиптический ФНЧ, частота среза 20 Гц
Размеры, мм	150 x 83 x 50

**Wi-Fi модуль.** В качестве модуля связи используется TP-LINK TL-WN723N, возможно использование близких аналогов, основанных на микрочипе Realtek 8188,8192. Адаптер является миниатюрным Wi-Fi модулем, работающим как приемник, так и передатчик в одноранговой сети Ad-Hoc.

Данный модуль осуществляет беспроводную связь между регистратором и другим совместимым устройством для настройки и проверки состояния регистратора, передачи накопленных данных.

**Конвертор питания.** В качестве конвертора питания 12/5В используется миниатюрная схема MeanWell NSD10-12S5 мощностью до 10Вт.

Основной частью регистратора является микрокомпьютер, следовательно, взаимодействие между остальными частями возложено на ряд программных средств. Общая структура программного обеспечения представлена на рис. 4.

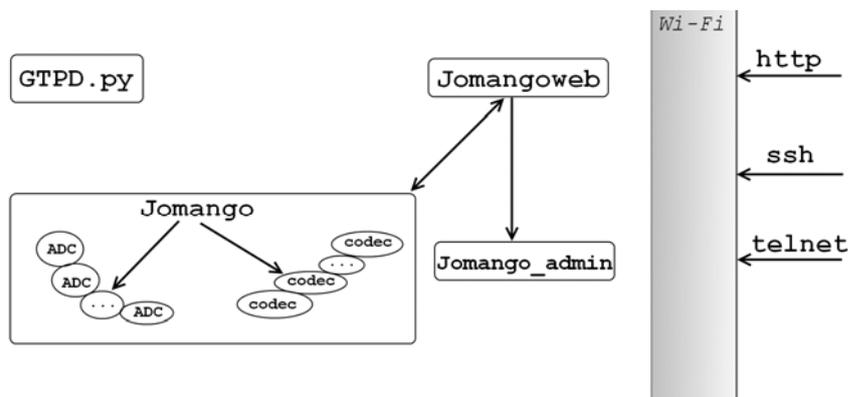


Рис. 4. Общая структура программной части.

**Операционная система Linux.** Операционной системой компьютера является openSUSE Linux в специальной редакции для ODROID X2. Версия ядра, необходимая для компиляции драйвера Wi-Fi модуля не ниже 3.8.14.

**GTPD.py.** GTPD.py является платфомерно-независимым программным обеспечением написанным на языке Python, с открытым исходным кодом, распространяющийся по свободной лицензии Creative Commons «Attribution» 4.0. GTPD.py предназначен для синхронизации системного времени с точным мировым временем [1]. Для его работы необходим подключенный GPS-приемник, работающий по NMEA-протоколу.

Принцип работы программы прост: через заданный интервал времени происходит опрос GPS-устройства, в случае получения корректных сведений происходит синхронизация времени с учетом системных настроек часового пояса.

Программа имеет развитую систему логирования, при заданном параметре может писать в файл состояние спутников и географические координаты.

**Jomango.** Jomango является платфомерно-независимым программным обеспечением (ПО), написанным на языке Python. Jomango является регистратором данных с различных устройств и датчиков с последующей записью в файл. ПО является модульным и свободно расширяемым для обеспечения поддержки новых устройств и типов формата данных.

Поддерживаемые устройства:

- инфразвуковой датчик INFRA20, Infiltec;
- 24 бит АЦП E24, L-card (используя библиотеку PyE24[2]);
- частотомер МЦ-0101, ООО «СКТБ ЭлПА» (в разработке);
- 16/24 бит АЦП серии Zet2x0, ЗАО "Электронные технологии и метрологические системы" (используя библиотеку PyZADCdll[3], только для ОС Windows в силу отсутствия драйвера устройства для ОС Linux).

Поддерживаемые форматы файла:

- TCTiSe [4,5];
- miniSEED (в разработке);
- бинарный;
- текстовый.

**Jomangoweb.** Jomangoweb является платформо-независимым программным обеспечением, написанным на языке Python с использованием веб-фреймворка Django; лицензионные соглашения идентичны Jomango.

Jomangoweb является веб-интерфейсом к Jomango, основными возможностями которого являются:

- Аутентификация – ограничение доступа через логин и пароль.
- Контрольная панель – отображение текущего состояния и управление сервисами.
- Конфигурация – просмотр, редактирование и выбор конфигурационных файлов.
- Визуализация – отображение графиков регистрируемых данных.
- Файлы данных – отображение списка, удаление, скачивание файлов данных.
- Журналы – отображение журналов работы регистратора, Jomango, GTPD.

**Jomango\_admin.** Консольная утилита внутреннего назначения для управления основными элементами регистратора.

### **Результаты**

Разработанный регистратор JORES, помещенный в компактный ударопрочный корпус Pelican im2050, является отличным решением для регистрации волновых возмущений атмосферы, приспособленных для быстрого и мобильного развертывания в полевых условиях. Энергопотребление при типовой нагрузке составляет 4.7 Вт

Сферы применения данного устройства различны и включают в себя исследования вулканической деятельности, свойств верхних слоев атмосферы, взрывных процессов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Интернет-страница программы GTPD.py : [https://bitbucket.org/john\\_16/gtpd](https://bitbucket.org/john_16/gtpd).
2. Интернет-страница библиотеки PyE24: [https://bitbucket.org/john\\_16/pye24lib](https://bitbucket.org/john_16/pye24lib).
3. Интернет-страница библиотеки PyZetlab: [https://bitbucket.org/john\\_16/pyzetlab](https://bitbucket.org/john_16/pyzetlab).
4. Махмудов Е.Р., Яблочкина К.А. Альтернативный подход к сжатию и хранению исходных временных рядов. Материалы Четвертой научно-технической конференции "Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России". 2013. Стр. 344-346.
5. Домашняя интернет-страница формата TCTiSe, на русском и английском языках: <http://tctise.org>.

## ОБ ОПЫТЕ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Усупов Ш.Н.

тел.: (+992) 918726028; факс (+992) 225-77-69; e-mail: [usupovshuhrat@mail.ru](mailto:usupovshuhrat@mail.ru)

Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии  
Академии наук Республики Таджикистан, г. Душанбе, Таджикистан

Данная работа посвящена опыту применения грави-, магнито- и электроразведочных методов в поиске и разведке кимберлитовых трубок, лапроитов, перспективных для поиска алмазонасных и золоторудных месторождений. В качестве примера приводится опыт работ экспедиции Государственного предприятия «Днепргеофизика», г. Днепропетровск Республики Украина, выполненных на Салтычанском участке Приморского, Черниговского и частично Пологовского и Куйбышевского районов Запорожской области Республики Украина. В этих работах принимал участие автор настоящего доклада в качестве геофизика-практиканта Национального горного университета Республики Украина (г. Днепропетровск) в 2011-2012 гг.

Географически этот район расположен на Украинском кристаллическом щите Приазовской возвышенности в Западном Приазовье. На площади 1292 кв.км выполнено обобщение и дана интерпретация материалов ранее выполненных геофизических работ.

Территория работ пересекается многочисленными балками и оврагами, часто обводнёнными и запруженными. Кривизна склонов балок и речных долин местами достигает 20-25°. Наличие в западно-приазовском блоке лампроитово-кимберлитового магматизма, находки алмазов в коре выветривания трубки "Мрия" и аллювиальных отложениях р. Мокра Конка, наличие многочисленных тел ультраосновного и основного составов разных эпох активизации свидетельствуют о его перспективности в отношении выявления новых коренных источников алмазов. Состав пород трубки «Мрия» – амфибол-флогопит, амфибол-флогопит-оливин и лампроиты.

В этой связи возникла необходимость проведения более детальных геофизических съёмок с целью обнаружения тел возможного кимберлитового магматизма, более детального изучения разломной, блоковой тектоники, выделения участков, перспективных на поиски рудных полезных ископаемых. Из-за неоднозначности решения обратной геофизической задачи применялось комплексирование геофизических методов.

С целью создания литолого-структурной карты Салтычанского участка были использованы следующие материалы:

а) карты геологического строения кристаллического фундамента в масштабе 1:200 000 (чертёж 1);

б) карта аномалий гравитационного поля в масштабе 1:0 000 (сетка съёмки 100x20 м);

в) карта аномалий магнитного поля  $\Delta T$  в масштабе 1:10 000 (сетка съёмки 100x20 м).

Методика картирования основана на нахождении местоположений разрывных нарушений и разломов на основе карт гравитационного и магнитного полей (карты остаточных аномалий). Проводится сравнение по следующим признакам: линейные характеристики распределения аномалий гравитационного

и магнитного полей, локальных аномалий гравитационного и магнитного полей обоих знаков.

Для исследования была использована программа COSCAD. Сначала вводятся значения исходных полей (гравитационное и магнитное) в специальные секторы программы и затем выполняется фильтрация данных с помощью автокорреляционной функции с определением весовых коэффициентов оптимальных фильтров.

Представлены классификации трех видов методов картирования: К-средних, по Петрову-1 и Петрову-2. Программа классификация методом К-средних предназначена для классификации многомерных данных методом динамического сгущения, который предназначен для разбиения исследуемой территории на области, однородные по комплексу признаков.

В программе классификации по Петрову-1 реализован алгоритм разделения суммы многомерных нормальных совокупностей, который предназначен для разделения территории на области, однородные по комплексу признаков с автоматическим определением конечного числа классов.

В программе классификации по Петрову-2, как и в предыдущей, реализован алгоритм разделения суммы многомерных нормальных совокупностей, который предназначен для разбиения территории на области, однородные по комплексу признаков. Все полученные результаты были экспортированы в виде GRD-файлов, и в дальнейшем они использовались в программе SURFER для дальнейших исследований на основании сравнения результатов применения этих трёх классификаций.

Самая большая по размерам трубка "Мрия" имеет зональное строение. По результатам электроразведочных работ породы, составляющие северную часть трубки, имеют повышенную поляризуемость, что может быть обусловлено вкраплениями графита или сульфидов. Южная часть трубки в аномалиях электроразведки не проявлена. По материалам детальных магниторазведочных работ к югу от трубки "Мрия" выявлен ряд слабоинтенсивных вытянутых аномалий, которые, возможно, обусловлены дайками лампроитов.

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ПЭС И ИОНОГРАММ ДЛЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ**

Воронцова Е.В.

e-mail: [vorontsova@gdirc.ru](mailto:vorontsova@gdirc.ru)

Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, Кыргызстан

Большое количество научных работ, опубликованных в периодических изданиях, посвящено исследованиям связи геосейсмической и солнечной активностей. Эти работы включают в себя достаточно новое и быстроразвивающееся направление исследований сейсмо-ионосферных возмущений на основе расчетов электронного содержания ионосферы – ПЭС (в англоязычных терминах: Total Electron Content – TEC) по данным GPS-наблюдений, что стало возможным благодаря достаточно широкому распространению перманентных сетей двухчастотных приемников навигационной системы GPS ( $f_1=1575.42$  МГц и  $f_2=1227.60$  МГц). Рассчитанное

значение ПЭС характеризует текущее состояние ионосферы на трассе «спутник-приемник», а совместный анализ данных с нескольких GPS-приемников позволяет достаточно точно определить момент возникновения ионосферного возмущения (ИВ) и скорость его перемещения.

Методика расчета  $TEC$  [1] по данным GPS-наблюдений основана на зависимости показателя преломления ( $n$ ) электромагнитных волн от концентрации свободных электронов ( $N_e$ ) и частоты волны ( $f$ ):

$$n = \sqrt{1 - 80.8 N_e / f^2} \approx 1 - 40.308 N_e / f^2.$$

Полное электронное содержание  $TEC_0$  равно

$$TEC_0 = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} (L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2 + S_{const} + \delta S)$$

где  $L_1$  и  $L_2$  - число полных оборотов фазы,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  - длины волн (м) для частот  $f_1$  и  $f_2$ ,  $S_{const}$  - некоторый неизвестный начальный фазовый путь (м) и  $\delta S$  - ошибка в определении фазового пути (м). Для определения  $S_{const}$ , то есть для разрешения неоднозначности фаз используются кодовые измерения  $P_1$  и  $P_2$ :  $\delta S = \delta S_1 + \delta S_2 = (P_1 - L_1 \lambda_1) - (P_2 - L_2 \lambda_2) = (P_1 - P_2) - (L_1 \lambda_1 - L_2 \lambda_2)$ . С учетом баллистики навигационного космического аппарата (НКА) получаем

$$TEC = TEC_0 * \cos[\arcsin(R_z \cos \theta / (R_z + h_{max}))],$$

где  $R_z$  - радиус Земли,  $h_{max}$  - высота максимума концентрации электронов,  $\theta$  - высота видимости спутника. Исследование полученных рядов позволяет обнаружить сейсмо-ионосферные возмущения до и после сильных землетрясений [3,4].

Рассмотрим вариации  $TEC$  после сильного (М 9.0) землетрясения Тохоку (38.322 N, 142.369 E), которое произошло 11 марта 2011 г. в 05:46:23 UTC. Для 8 станций GPS всемирной сети IGS (CCJ2 27.068 N, 142.2 E; CUSV 13.736 N, 100.53 E; DAEJ 36.399 N, 127.37 E; GUAM 13.589 N, 144.87 E; MIZU 39.135 N, 141.13 E; PIMO 14.636 N, 121.08 E; SNAO 31.1 N, 121.2 E; USUD 36.133 N, 138.36 E). На рис. 1 приведены значения  $dTEC = (TEC_{i+1} - TEC_i)$ . Вертикальной линией отмечено время землетрясения, точками - время начала высокоамплитудных колебаний  $TEC$ . Рисунок 2 демонстрирует зависимость времени начала колебаний после момента землетрясения от расстояния между соответствующей подионосферной точкой (проекцией точки пересечения трассы «спутник-приемник» и высоты максимума электронной концентрации (~250 км.) на земную поверхность) и эпицентром землетрясения, черные точки соответствуют вступлениям на рис.1.

Построив линейную зависимость получаем, что она хорошо описывается уравнением  $R(\text{км}) = 3.3 \text{ км/сек} * T + 7.2 \text{ мин}$  (нижняя прямая линия на рис. 2), что соответствует скорости волны Рэлея, а при высоте максимума ионосферы  $\sim 250 \text{ км}$ . задержка 7.2 мин. соответствует скорости акустико-гравитационной волны

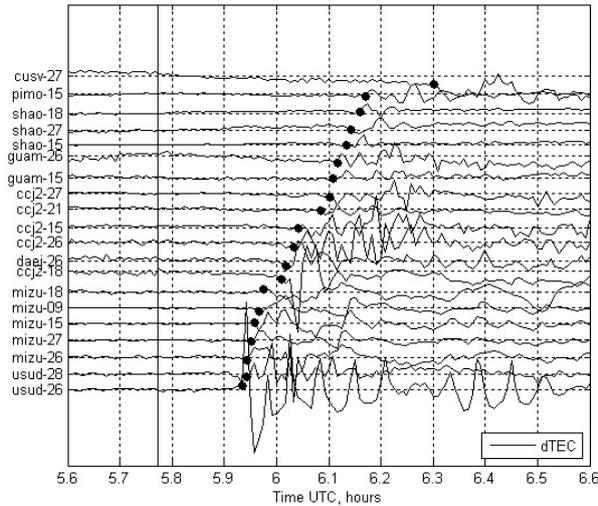


Рис. 1. Значения  $dTEC$ .

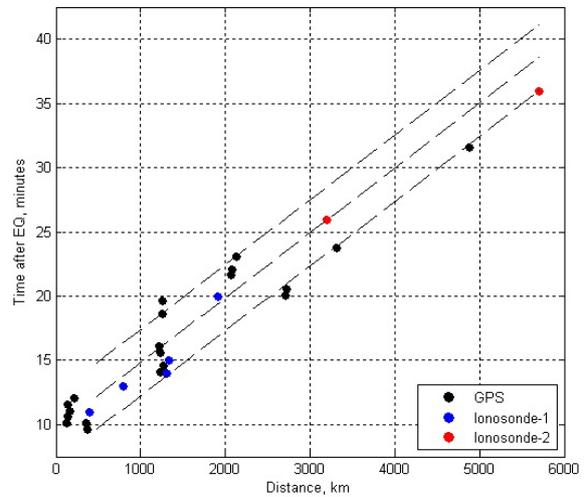


Рис.2. Зависимость времени от расстояния.

$\sim 580 \text{ м/сек}$ . Отметим, что часть точек с хорошей точностью ложатся на прямые, параллельные первой прямой, с разницей во времени  $+dt, +2*dt$ , на рис.2  $dt = 2.57 \text{ мин}$ . Для того чтобы объяснить это явление и более точно оценить  $dt$ , рассчитаем вариации  $TEC$  для GPS- станции SHAO, спутник № 18 по данным наблюдений с

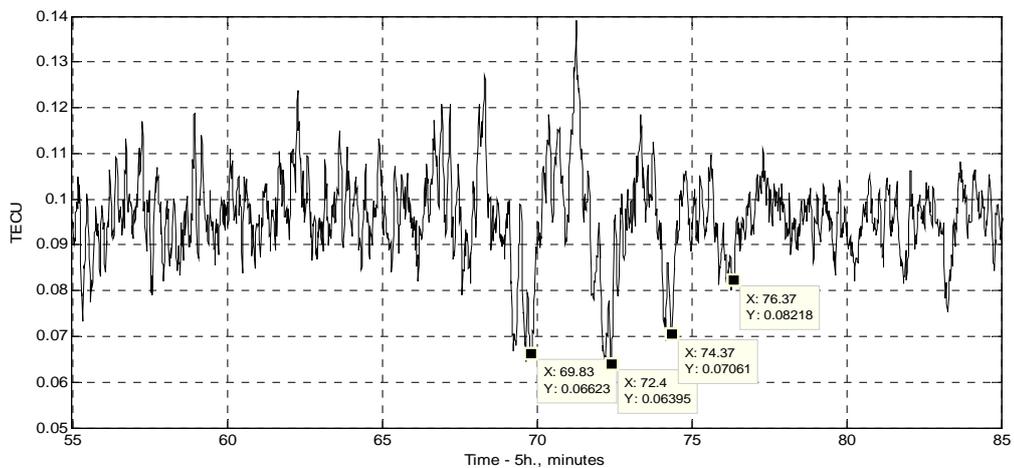


Рис.3. Вариации  $TEC$ .

дискретизацией 1 сек. и из полученного ряда вычтем интерполированные значения рассчитанных вариаций  $TEC$  по данным наблюдений с дискретизацией 30 сек. Эта операция равносильна удалению длиннопериодного тренда. Результат приведен на рис.3.

Использование 1-секундных данных позволяет увидеть 4 периода волны и определить их время. Для первого, наиболее выраженного (незатухшего) периода время составляет 2.57 мин. Таким образом, можно предположить, что изображенные на рис. 2 прямые линии соответствуют времени прихода 1, 2 и 3-его фронтов волны от источника, что и объясняет такой разброс данных.

Рассмотрим поведение ионосферы в это же время по результатам ионосферных зондирований на 5 станциях (TO535 35.7 N, 139.5 E; WK546 45.4 N, 141.7 E; YG431 31.2 N, 130.6 E; OK426 26.3 N, 127.8 E; IC437 37.14 N, 127.54 E). На рис. 4 приведены ионограммы для первых 4-х станций во время 5:45, 6:00, 6:30 и 6:45 (по вертикали- высота в км, по горизонтали- частоты в МГц).

По ионограммам видно, что на первых двух станциях возмущение пришло раньше, до 6 часов, на третьей в 6 уже появляются первые признаки возмущения, 6:30 оно еще не затухло. На четвертой возмущение наиболее слабое и появилось позднее всех. В 6:45 практически все станции вернулись к состоянию ионосферы в 5:45. Оценив по характеру возмущений на ионограммах возможное время прихода волны, нанесем соответствующие значения (и для станция IC437 тоже, см. ниже) на график "расстояние-время" - синие точки на рис.2. Получаем, что они также хорошо вписываются в общее распределение.

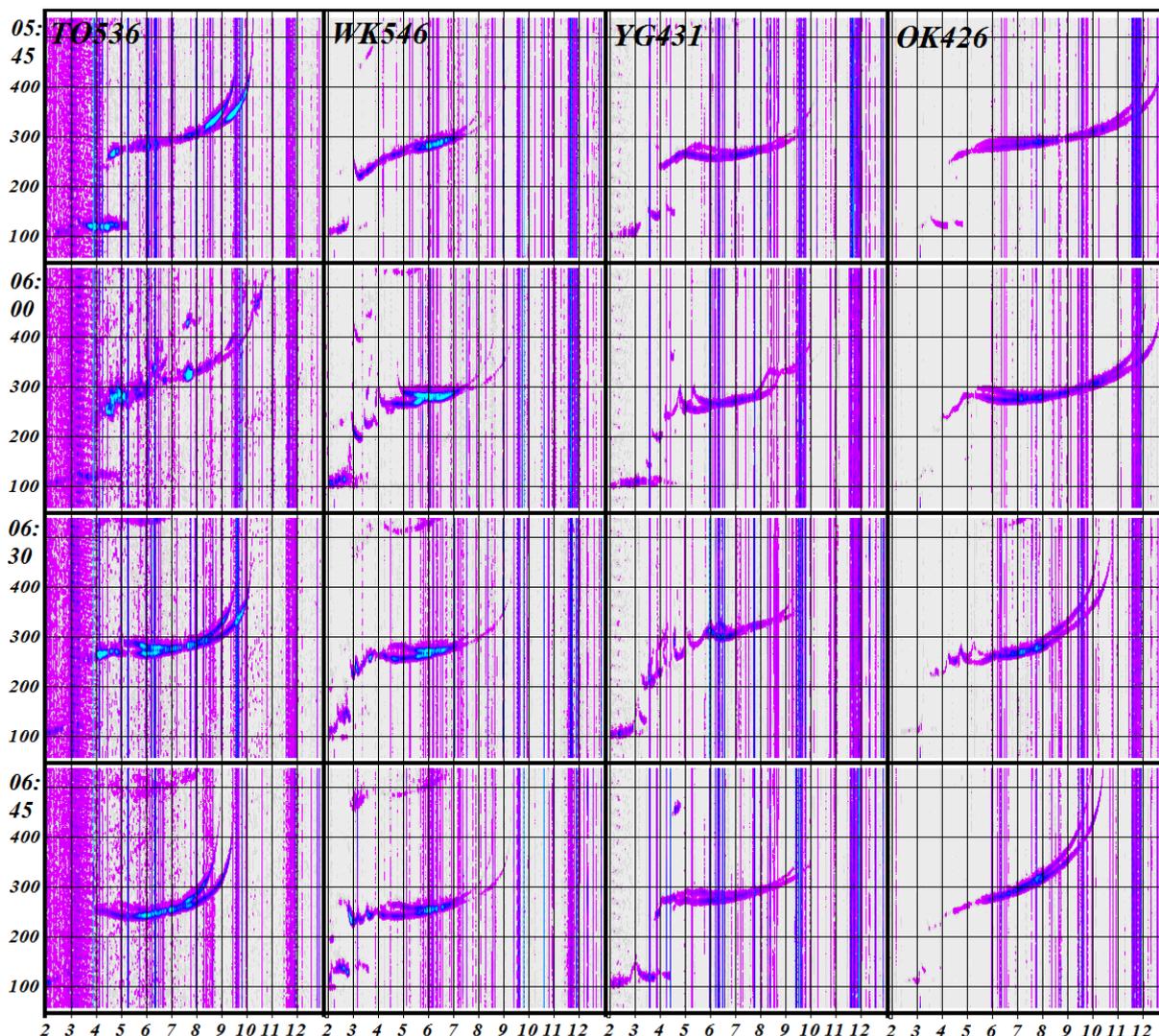


Рис.4. Ионограммы для станций TO536, WK546, YG431, OK426.

За 2 дня до землетрясения Тохоку 9 марта 2011 г. в 02:45:20 UTC примерно в том же месте (38.435 N, 142.842 E) произошло землетрясение с  $M=7.3$ . Сравнивая ионограммы (рис.5) для станции IC437, видим, что характер возмущений на

ионограммах одинаковый и время запаздывания также совпадает, однако, амплитуда при первом землетрясении меньше.

Рассмотрим еще один пример. Состояние ионосферы по данным ионосферных зондирований для станций NI135 (35 N, 33.2 E) и DB049 (50.1 N, 4.6 E) после землетрясения М 7.7, произошедшего в Пакистане (26.951 N, 65.501 E) 24 сентября 2013 г. в 11:29:47 UTC, приведено на рис. 6, рисунок аналогичен рис.4. Появление и затухание возмущения на обеих станциях происходит схожим образом с разницей по времени 10 мин. Отметим на графике "расстояние-время" (красные точки на рис.2) - опять же полученные значения хорошо согласуются со скоростями распространения волн Рэлея.

Следовательно, показанный характер возмущений на ионограммах соответствует сейсмо-ионосферному возмущению после сильных землетрясений, согласуется со скоростями распространения рэлеевских волн и может быть обнаружено для землетрясений с магнитудой более 7 на расстоянии до 6000 км.



Рис. 5. Ионограммы на станции IC437 после японских землетрясений 9 и 11 марта 2011 г.

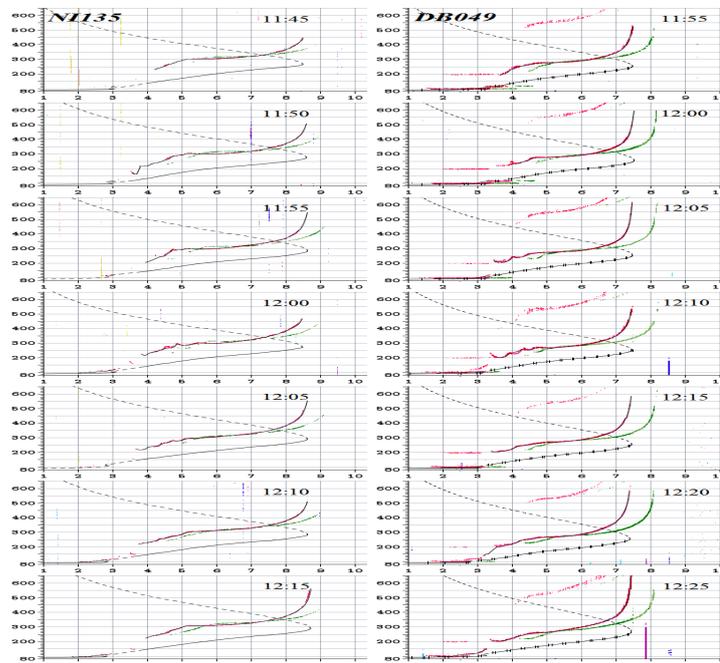


Рис.6. Ионограммы на станциях NI135 и DB049 после пакистанского землетрясения 24 сентября 2013 г.

Автор выражает свою благодарность научным руководителям Брагину Виталию Дмитриевичу и Ружину Юрию Яковлевичу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Афраймович Э.Л., Татаринов П.В. Восстановление полного электронного содержания по данным двухчастотного GPS-приемника, установленного на борту низкоорбитального искусственного спутника Земли // Солнечно-земная физика. 2005. № 7. С. 49-52.

### **СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ**

Мубассарова В.А., Закупин А.С.

тел. +996 312 613-140; факс: +996 312 611-459; e-mail: [helmik69@rambler.ru](mailto:helmik69@rambler.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, Киргизия

#### **Введение**

В процессе деформирования и разрушения почти все материалы испускают акустические волны, называемые акустической эмиссией. Феномен акустической эмиссии (АЭ) был обнаружен в 40-х годах XX века как «крик олова» при пластическом деформировании этого материала. Ранее считалось, что генерация сигналов АЭ (упругих волн) должна происходить в ультразвуковом диапазоне частот, но только в 1950-х годах Джозефом Кайзером были впервые проведены комплексные исследования явления АЭ в конструкционных материалах (металлах), а также в образцах дерева и песчаника с использованием электронного оборудования и разрывных испытательных машин. Дж. Кайзером было показано, что активность АЭ является необратимой, а увеличение количества испускаемых материалом АЭ-сигналов проявляется при превышении ранее испытываемых материалом напряжений, что впоследствии было названо акустоэмиссионным эффектом памяти или эффектом Кайзера [1]. Сигналы АЭ возникают при зарождении и распространении дефектов, таких как дислокации и трещины, в процессе фазовых превращений, связанных с изменениями кристаллической решетки, коррозии, механической деформации, в результате химических реакций, нагревания и воздействии электромагнитных полей. Сигналы акустической эмиссии регистрируются в виде колебаний поверхности материала пьезоэлектрическими датчиками, частотный диапазон АЭ-сигналов лежит в пределах от десятков кГц до десятков МГц [2].

#### **Акустическая эмиссия как метод неразрушающего контроля**

С самого открытия явление акустической эмиссии получило широкое применение: на основе эффекта Кайзера используется *in situ* метод измерения напряжения породы в горных выработках. Наиболее известно применение акустической эмиссии, наряду с ультразвуковым, как одного из методов неразрушающего контроля (МНК), технической диагностики и экспертизы материалов и конструкций, сутью которого является обнаружение дефектов и их локализации. К промышленным объектам диагностики относятся магистральные и технологические трубопроводы, нефтехимические установки и резервуары, оборудование атомных и тепловых станций, металлические и железобетонные мосты и многое другое.

Тематика научных исследований с применением метода акустической эмиссии охватывает такие области, как материаловедение, механика разрушения и механизмы усталостного разрушения, науки о Земле и механика горных пород; ортопедия и биомеханика, теория акустической эмиссии и другие.

#### **Мировые центры исследований акустической эмиссии**

Старейшим в мире производителем датчиков АЭ и акустоэмиссионного оборудования является компания DECI (Dunegan Engineering Company Incorporated), основанная в 1968 году Гарольдом Дунеганом [3]. Через 10 лет ученым доктором С.Дж. Вахавиолосом и предпринимателями Ф. Адлером и М. Паппасом была основана компания Physical Acoustics Corporation (PAC), в настоящее время являющаяся фундаментом международного холдинга Mistras Holdings Group, крупнейшим мировым производителем оборудования неразрушающего контроля с несколькими технологическими центрами в США, Европе, Азии и Южной Америке [4].

В том же году пионерами исследований акустической эмиссии в США была сформирована Acoustic Emission Working Group и проведено первое заседание этой группы, тематика которой охватывает все области исследований, разработок и применений, касающиеся акустической эмиссии [5]. European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE) начала свою работу как European Stress Wave Emission Working Group, первое заседание которой прошло в 1972 году после того, как годом ранее Гарольд Л. Дунеган посетил Англию и ряд европейских стран, давая краткие лекции об акустической эмиссии и демонстрируя новую линию аппаратуры своей компании [6]. На данный момент комитет EWGAE возглавляют ключевые исследователи Европы в области акустической эмиссии, а руководителем комитета является Хартмут Валлен (Германия), глава и основатель компании Vallen System, второй по величине крупнейшей компании-производителя аппаратуры неразрушающего контроля [7]. Подобно европейской рабочей группе были созданы и функционируют в настоящее время Japanese Committee on Acoustic Emission, The Latin American Acoustic Emission Group (GLEA).

В России, наряду с компанией Diapas, входящей в состав холдинга Mistras Group Inc, на рынке оборудования неразрушающего контроля присутствует ООО «ИНТЕРЮНИС», образованное на базе НИЦПВ Госстандарта СССР [8].

#### **Система регистрации акустической эмиссии Vallen Amsy-5**

Система AMSY-5 – это многоканальное оборудование для измерения акустической эмиссии. Система состоит из параллельных измерительных каналов и может использоваться для обнаружения, измерения характеристик и определения расположения источников АЭ. Один измерительный канал состоит из датчика АЭ, предусилителя и одного канала ASIP-2 (двухканальный процессор обработки акустических сигналов).

Как уже было отмечено выше, акустические сигналы регистрируются с помощью пьезоэлектрических датчиков, преобразующих колебания поверхности материала в электрический сигнал. По диапазону измерения сигналов (и, соответственно, приложениям) датчики классифицируют по 3 типам: низкочастотные (20 кГц – 100 кГц), стандартного типа (100 кГц – 400 кГц), высокочастотные (>400 кГц) и широкополосные. Большинство датчиков являются датчиками резонансного типа, кроме широкополосных, и в основном используются в тех случаях, когда представляют интерес не спектральные характеристики сигналов, а такие параметры сигналов, как амплитуда, время прибытия сигнала и его энергия. На рис. 1а-1б представлена типичная

акселерограмма сигнала акустической эмиссии, зарегистрированная в образце гранита, спектр сигнала располагается в частотном диапазоне от 140 кГц до 200 кГц.

После регистрации датчиком электрический сигнал, являющийся аналогом акустоэмиссионного, поступает на вход предусилителя, являющегося важным звеном в цепи регистрации акустической эмиссии. Основными требованиями, предъявляемыми к предварительным усилителям являются: согласование выходного сопротивления сигнала с датчика АЭ со входным сопротивлением платы ASIP-2, усиление сигнала, а также максимально возможное соотношение уровня сигнал/шум на выходе предусилителя для передачи неискаженного сигнала по кабелю на большие расстояния. Различают 2 вида предусилителей – внешние и встроенные в датчики АЭ. Использование внешних предусилителей более эффективно – как с точки зрения удобства применения датчиков меньших размеров, так и с позиции комбинирования предусилителя с различными типами датчиков. Внешние предусилители также бывают 2-х типов – предназначенные для работы как с однополярными датчиками, так и с дифференциальными. Преимущества дифференциальных предусилителей проявляются в защите от электромагнитных наводок и тока в заземляющем контуре, однако они значительно дороже. Встроенные предусилители имеют фиксированный коэффициент усиления, например: 34 дБ, 40дБ или 46 дБ. Внешние предусилители имеют диапазон коэффициентов усиления от 34 дБ до 49 дБ с шагом 3 дБ, причем значения могут быть изменены программно (для модели предусилителя АЕР3N) или вручную при помощи джампера внутри предусилителя. В настоящее время существуют предусилители со съемными фильтрами, позволяющими варьировать частотный диапазон измерений, а также предусилители с фиксированными фильтрами, обеспечивающими оптимальную чувствительность прибора в заданном частотном диапазоне. Однако наиболее распространенными являются предусилители, работающие в широком частотном диапазоне (обычно от единиц кГц до единиц МГц), а фильтрация происходит в платах ASIP-2.

Плата ASIP-2 представляет собой двухканальную плату-процессор обработки сигналов акустической эмиссии, которая устанавливается в любом блоке, связанном через интерфейс USB с персональным компьютером. К одному концентратору USB может быть параллельно подключено до восьми блоков. Блоки поставляются различными модификациями, к примеру, в один блок M37-2 могут входить до 37 плат ASIP-2. Дополнительно блок может иметь до 8 параметрических каналов РаХ для измерения параметров условий эксплуатации, таких как температура, нагрузка, влажность, скорость ветра и т.д.

Каждая плата ASIP-2 и каждый канал на плате обрабатывают данные независимо друг от друга. Существуют две модификации ASIP-2: ASIP-2/S (стандартный вариант) и ASIP-2/A (усовершенствованный вариант). ASIP-2S сочетает в себе звено аналоговой регистрации и блока цифровой обработки сигналов. Аналоговое звено включает в себя регистрацию сигналов и фильтрацию при помощи переключаемых аналоговых полосовых фильтров с диапазонами частот: 1.6 кГц – 2.4 МГц или 18 кГц – 2.4 МГц. Блок цифровой обработки сигналов включает в себя АЦП (с частотой дискретизации 40 МГц при 16 бит на канал), набор специализированных цифровых полосовых фильтров, состоящих из низкочастотного и высокочастотного фильтров Баттерворта 8-ого порядка каждый (доступные диапазоны частот: 25-45 кГц, 25-300 кГц, 25-850 кГц, 50-300 кГц, 50-850 кГц, 95-300 кГц, 95-850 кГц, 230-850 кГц). В платах ASIP-2A

дополнительно предусмотрены 500 цифровых полосовых (настраиваемых программно) фильтров и узкополосный режекторный фильтр, также задаваемый пользователем. Кроме перечисленного платы ASIP-2 содержат модуль запоминающего устройства записи волновых форм сигналов АЭ VisualTR.

На персональном компьютере осуществляется функционирование системы обработки сигналов АЭ и сохранения результатов измерений благодаря специализированному программному обеспечению VisualAE, VisualTR и VisualClass. Обработка сигналов АЭ в VisualAE Amsy-5 производится в режиме реального времени и содержит в себе такие функции, как: определение времени первого пересечения порога (время прибытия сигнала), время нарастания сигнала, его длительность, амплитуда и энергия.

Пример потоковой обработки сигналов в режиме реального времени представлен на рис. 1c-1d: одновременно рассчитываются амплитуды сигналов, зарегистрированные по каждому каналу, и строится график распределения сигналов АЭ по времени. Аналогично определению и построению амплитудного распределения, в режиме реального времени происходит расчет скорости накопления сигналов в единицу времени – активность АЭ в секунду (рис. 1d).

При использовании нескольких каналов регистрации акустической эмиссии возможно определение местоположения источника АЭ, для этого используются сигналы, зарегистрированные по нескольким каналам в течение заданного интервала времени (не менее длительности сигнала). Сигналы идентифицируются и группируются в набор данных записи события, включающий информацию о первом и последующих превышениях порога,

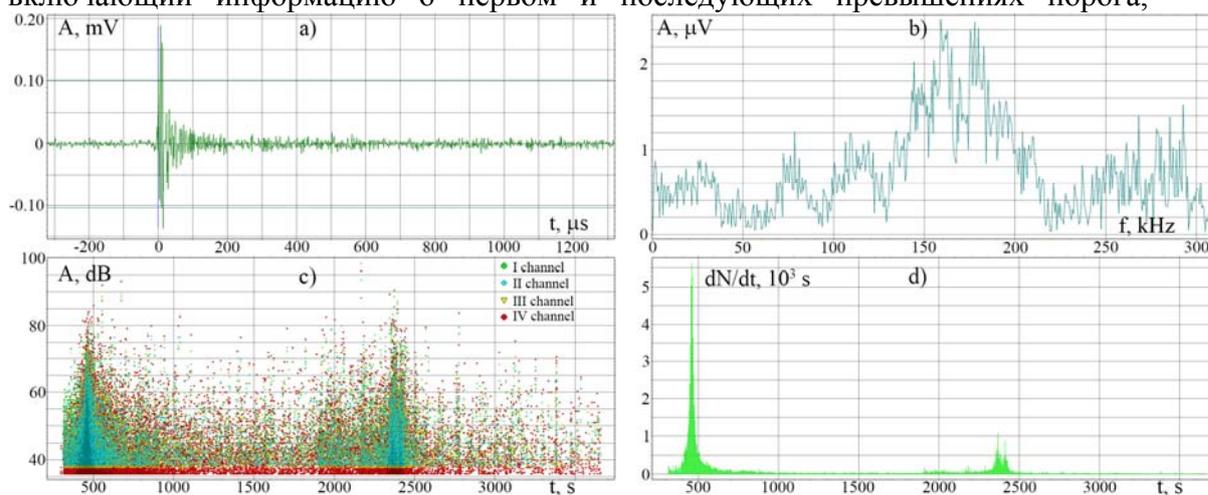


Рис.1. Волновая форма сигнала АЭ образца гранита (а), его спектр (б), распределение амплитуд сигналов (с), зарегистрированных 4-мя каналами, входящими в состав системы Vallen Amsy-5; активность акустической эмиссии образца мрамора (г).

разнице времени регистрации и количестве превышений порога в интервале времени, соответствующем событию. К этому набору данных применяется алгоритм расчета месторасположения источника (локации), который выбирается в зависимости от геометрии конструкции/образца, количества и принципа размещения на нем датчиков АЭ. В системе Amsy-5 предусмотрены следующие алгоритмы локации: линейная локация, планарная/цилиндрическая, локация для контроля днищ резервуаров, алгоритмы 3-х мерной локации (локация в объеме) и сферическая локация.

Для выполнения локационных расчетов стандартно пользователем задаются скорость звука в материале, единицы измерения координат, позиции датчиков АЭ (координаты АЭ-датчиков), максимальное расстояние между датчиками АЭ.

Мощным инструментом также является встроенный процессор кластеризации – инструмент распознавания данных, обладающих некоторыми схожими характеристиками. Процессор кластеризации часто используется по результатам локации источников АЭ, так как это позволяет отображать области высокой АЭ- активности (скопления микротрещин, области будущего макроразрыва).

#### **Заключение**

В настоящее время с постоянным ростом темпа научно-технического прогресса происходит ужесточение требований к средствам производства, что влечет за собой открытие новых и совершенствование известных методов их диагностики, экспертизы и неразрушающего контроля. Ужесточение требований неизбежно касается и отдельных лабораторий, и научных центров, стоящих у истоков научно-технического прогресса, в том числе занимающихся исследованиями в областях, так или иначе связанных с применением метода акустической эмиссии. Очевидно, что только использование современных систем неразрушающего контроля может гарантировать и безопасность производства, и открытие новых эффектов и законов в различных областях знаний.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Лавров А.В., Шкуратник В.Л., Филимонов Ю.Л. Акустоэмиссионный эффект памяти в горных породах.
2. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. М.: Изд-во стандартов. 1976. 276 с.
3. Dunegan Engineering Company Incorporated. URL: <http://www.deci.com> (дата обращения: 17.02.2014).
4. Physical Acoustics Corporation. URL: <http://www.pacndt.com/> (дата обращения: 17.02.2014).
5. The Acoustic Emission Working Group (AEWG). URL: [www.aewg.org](http://www.aewg.org) (дата обращения: 17.02.2014).
6. European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE). URL: <http://www.ewgae.eu/> (дата обращения: 17.02.2014).
7. Vallen System GmbH. URL: <http://www.vallen.de/> (дата обращения: 17.02.2014).
8. ООО «ИНТЕРЮНИС». URL: <http://www.interunis.ru/> (дата обращения: 17.02.2014).

## **ПРОГРЕССИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ, СЫПУЧИХ СРЕД И ЖИДКОСТЕЙ**

Мубассарова В.А., Закупин А.С.

тел.: +996 312 613-140; факс: +996 312 611-459; e-mail: [helmik69@rambler.ru](mailto:helmik69@rambler.ru)

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция  
Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, Киргизия

### **Введение**

Исследование напряженно-деформированного состояния материалов, испытывающих различного рода механические нагрузки, является важнейшим звеном в таких специализированных областях фундаментальной науки как механика сплошных сред, физика твердого тела, сопротивление материалов и другие. Основным физическим свойством, отражающим напряженно-деформированное состояние материала, является деформация – изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением относительно друг друга. Измерение деформации, как и нагрузки, производится в процессе испытаний для определения механических свойств материалов, при исследованиях прочности горных пород в подземных выработках, различных конструкций и сооружений на качество, долговечность и износостойкость. Величина деформации для различных материалов варьируется в широких пределах, к примеру, деформации горных пород магматического происхождения (например, гранитов) составляют не более десятых долей процента. Поэтому чрезвычайно важным является прецизионное измерение деформаций, которое называется тензометрией.

### **Измерение деформаций при помощи тензометрических датчиков**

Для измерения деформации успешно применяются различного типа тензометрические датчики: механические, оптические (оптоволоконные), пневматические, струнные (акустические) и электрические (емкостные, тензорезисторы и индукционные датчики перемещений) [1].

Механические тензометры работают без изменения физической природы измеряемой величины, основываясь только на масштабном преобразовании, они используются только для измерения статических деформаций. Естественно, что при этом величины измеряемой деформации составляют десятки миллиметров. Механические тензометры являются самыми грубыми инструментами измерения деформации. Действие пневматических тензометров основано на изменении расхода воздуха (и соответственно давления) через измерительное сопло, которое вызывается деформацией чувствительного элемента тензометра. Пневматические тензометры требуют тщательной фильтрации воздуха от влаги и пыли и особых условий эксплуатации. Струнные (акустические) тензометры используют метод измерения частоты собственных колебаний струны, концы которой связаны с объектом исследования так, что деформации объекта передаются струне. Особую популярность получили электрические тензорезистивные датчики, действие которых базируется на эффекте изменения удельного электросопротивления твердого проводника (металла, полупроводника) при его деформации. Важнейшим недостатком таких датчиков является их температурная зависимость, которая ограничивает диапазон областей их применения. Индукционные датчики – линейные дифференциальные трансформаторы LVDT – предназначены для измерения линейных перемещений. Действие таких датчиков основано на

явлении электромагнитной индукции. Выходное напряжение (соответственно и величина деформации) пропорционально положению перемещающегося магнитного сердечника внутри катушки индуктивности. Эти датчики обладают высокой точностью, линейностью, чувствительностью и разрешением, а также обеспечивают работу без трения с высокой жесткостью. В оптоволоконных сенсорах деформации используется дифракционная решетка Брэгга, которая содержит большое количество точек отражения, расположенных внутри волокна с определенным интервалом. В результате деформации изменяется интервал между узлами решетки Брэгга, а также длина волны излучения, отраженного от решетки.

Последним поколением аппаратных и программных средств, применяемых для измерения деформации, являются системы анализа оптических изображений деформируемой поверхности образца. Одна из таких систем производится компанией LaVision [2]. Компания LaVision была основана в 1989 году, отделившись от Института Макса Планка и лазерной лаборатории в Геттингене, Германия. Компания LaVision сотрудничает с ведущими учеными, научно-исследовательскими институтами и компаниями по всему миру. LaVision предлагает стандартные и специализированные, спроектированные по заказу клиентов лазерные системы получения и обработки изображений для анализа реактивных и нереактивных полей скоростей и приложений механики жидкости, интеллектуальные системы получения и обработки изображений с применением методов неразрушающего тестирования материалов, широкий ассортимент камер высокого разрешения (CCD, Charge Coupled Device и улучшенные CCD) и оптические smart- системы.

#### **Измерение перемещения и деформации материала при помощи системы LaVision Strain Master**

Исследование деформации при помощи системы LaVision Strain Master основано на использовании метода регистрации локальных полей перемещения и деформации, базирующегося на анализе оптических изображений деформируемой поверхности материала. Для этого поверхность материала снимается при помощи CCD камер (Charge Coupled Device), обладающих высокой чувствительностью, разрешением и входящих в состав системы LaVision Strain Master. К примеру, модель камеры ImagerProX позволяет снимать до 30 кадров в секунду с разрешением 1600×1200 пиксел, размер 1 пиксела при этом составляет 7.4×7.4 мкм, спектральный диапазон камер – от 320 нм до 1000 нм.

Данные каждого исследования (периода измерения деформации) сохраняются в информационный проект, представляющий собой набор из



Рис. 1. Фотография эксперимента по исследованию деформации образца гранита (Каиндинское месторождение) при помощи системы LaVision Strain Master, укомплектованной одной камерой.

оптических изображений деформируемой поверхности материала. Каждый пиксел изображения содержит в себе информацию о его координатах ( $x$ ,  $y$ ) и значении интенсивности  $I$  [3].

Начальный этап обработки оптических изображений состоит в выборе области данных (с помощью наложения маски), определяющей площадь в исходном изображении, которая принимается во внимание при расчете векторов перемещений. В зависимости от задач, диапазоном обработки может быть выбрана как вся область исходного изображения, так и некоторый фрагмент (рис. 2b).

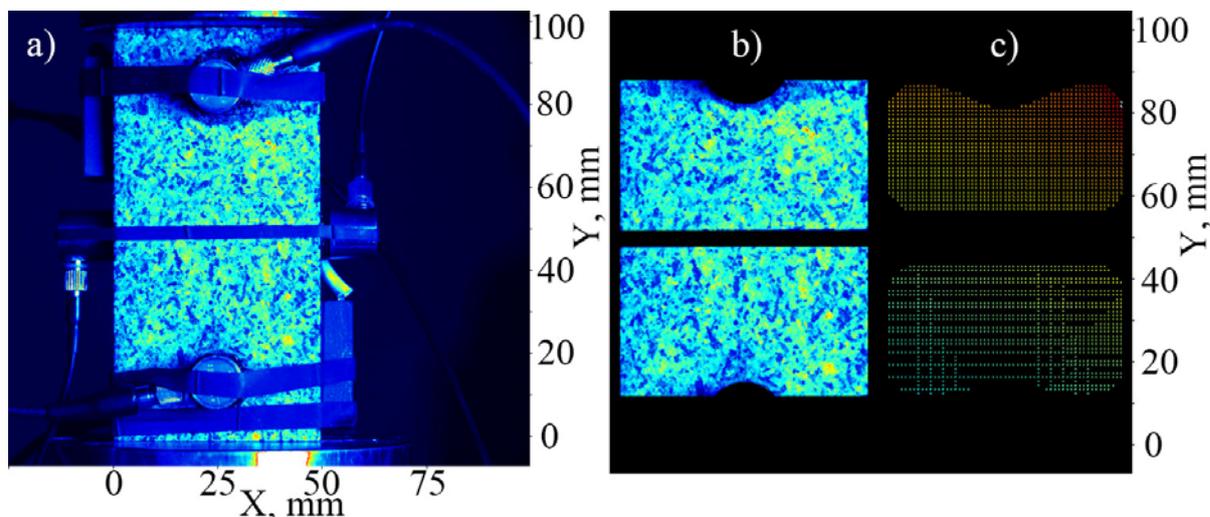


Рис. 2. Оптическое изображение поверхности образца гранита (Каиндинское месторождение), полученное при съемке камерой системы LaVision Strain Master (a), выбор области обработки данных (с наложением маски, b), результат расчета поля векторов перемещений (c).

При работе с материалами, когда в исходном изображении поверхности имеются зоны с высокой интенсивностью фона (засвеченные области зерен, включений), могут использоваться такие функции предварительной обработки исходных изображений, как инверсия (включающая 4 метода), вычитание скользящего фона, вычитание смещения и нормализация интенсивности. Это позволяло получить исходное изображение однородной интенсивности всей области обработки для минимизации погрешности при вычислении векторов перемещений.

Следующим и одним из базовых этапов обработки является построение поля векторов перемещений точек поверхности методом корреляции изображений. Для этого область обработки исходного изображения разбивается на ячейки (так называемые окна опроса). Размер и форма ячейки может быть выбрана оператором в зависимости от поставленной задачи. Для прямоугольной формы ячейки размер варьируется от  $8 \times 8$  пикселей до  $128 \times 128$  пикселей. Доступны и другие формы ячейки – круг, эллипсы с соотношением диаметров 2:1 и 4:1. Корреляционная функция работает по параметру интенсивности внутри каждой ячейки и проходит через весь пакет изображений с заданным перекрытием ячеек. Перекрытие определяет площадь наложения соседних ячеек друг на друга. Для определенных задач точность вычисления векторов выше, чем больше значение перекрытия. В программе реализованы следующие методы

корреляции – автокорреляция, кросс-корреляция, последовательная автокорреляция, последовательная кросс-корреляция, стерео автокорреляция и стерео кросс-корреляция (виды стерео корреляции используются при съемке системой двух камер).

К примеру, для исследования деформирования образца гранита был выбран метод кросс-корреляции в режиме единичной итерации с размером ячейки 64×64 пиксела и формой круга. Суть метода кросс-корреляции состоит в том, что исходное изображение состоит из двух кадров. Первым кадром (кадр 1) является некоторое исходное изображение, а вторым кадром (кадр 2) – последующее. Алгоритм вычисляет взаимную корреляцию всех ячеек между кадрами 1 и 2. Максимумом в кросс-корреляции является наиболее вероятный вектор смещения ячейки (рис. 3).

Данный корреляционный метод базируется на быстром преобразовании Фурье (FFT). Выражение используемой корреляционной функции представляется формулой:

$$C(dx, dy) = \sum_{x=0, y=0}^{x<n, y<n} I_1(x, y) I_2(x + dx, y + dy), \quad -\frac{n}{2} < dx, dy < \frac{n}{2} \quad (1).$$

Где  $I_1$  и  $I_2$  – интенсивности 1 и 2 кадра,  $n$  – размер ячейки. Максимальное значение  $C$  соответствует перемещению, которое определяет длину вектора и направление для каждой ячейки. Результатом расчета корреляционной функции для всей области обработки будет поле векторов перемещений.

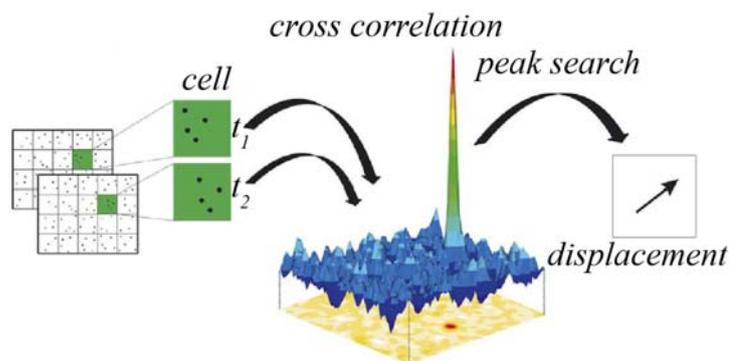


Рис. 3. Схема расчета векторов перемещений методом кросс-корреляции.

Следующим этапом обработки является расчет полей деформации. Как известно, тензор деформации  $\varepsilon_{ij}$  определяется как  $\varepsilon_{ij} = \frac{du_i}{dr_{ij}}$ ,  $i, j = 1, 2, 3 = x, y, z$ ,  $u_i$  – компоненты вектора перемещений и  $r_1, r_2, r_3$  – оси  $x, y, z$  соответственно.

При работе с использованием системы LaVision Strain Master, укомплектованной одной камерой, исследование деформации производится на плоскости с расчетом 2-х компонент тензора – вертикальной (по оси сжатия) и горизонтальной, а также максимальной сдвиговой деформации.

Помимо вычислений полей деформации в возможности программы включена функция виртуального экстензометра – расчет деформации, усредненной для линии, произвольной прямоугольной области, а также в точках на исследуемой поверхности образца.

В программе обработки для улучшения качества представляемых результатов предусмотрены различные способы постобработки полей деформации – применение различных фильтров из набора линейных и нелинейных.

Примером результатов расчета компонент тензора деформации для образца гранита Исетского месторождения, деформируемого с постоянной скоростью 500 Н/с, служит рис. 4. Для расчета полей деформации в данном случае дополнительно использовались функции потоковой обработки с вычислением среднего значения, разности максимального и минимального значений для определенного количества кадров (580 кадров). Эволюция волн локализованной деформации на поверхности образца наглядно продемонстрирована как на усредненных по времени картинах разности максимального и минимального значений для максимальной сдвиговой и компонент  $\epsilon_{xx}$  и  $\epsilon_{yy}$  деформации, так и на

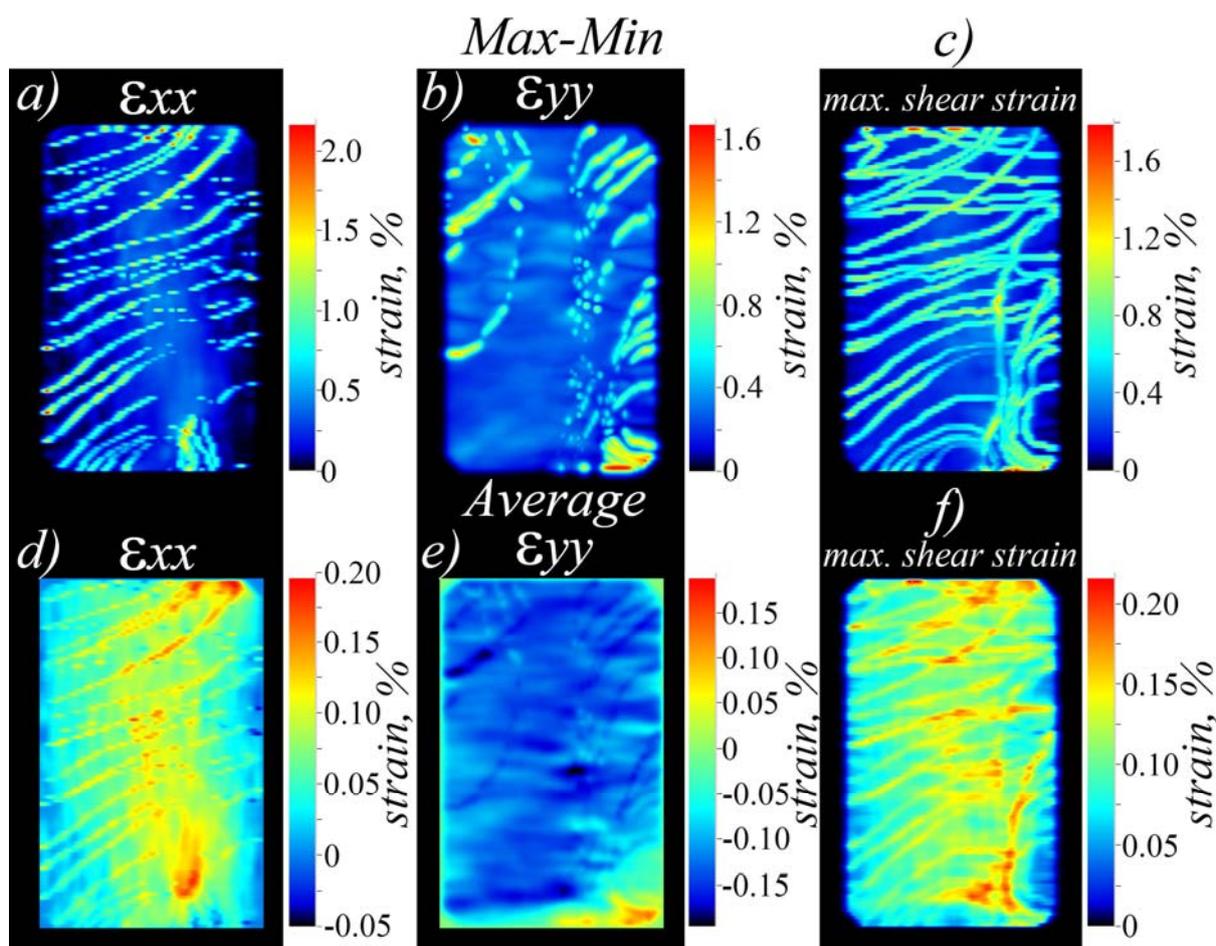


Рис. 4. Распределение разности между максимальным и минимальным значениями деформации (a, b, c) и среднего значения деформации (d, e, f) на поверхности для горизонтальной, вертикальной и максимальной сдвиговой деформации в эксперименте до образования магистральной трещины.

картинах среднего значения для тех же деформаций.

#### Заключение

В настоящее время благодаря современным аппаратным, программным и техническим комплексам исследователи имеют возможность получить новые результаты, которые вследствие своего высокого качества позволяют обнаружить

новые эффекты и закономерности процессов деформирования материалов как естественной природы, так и новейших искусственно созданных композиционных материалов для ведущих отраслей промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Р.А., Ренский А.Б., Борхунский Г.Х., Этингов М.И. Тензометрия в машиностроении. Под ред. Макарова Р.А. М.: Машиностроение. 1975. 288 с.
2. LaVision URL: <http://www.lavision.de/> (дата обращения 18.02.2014).
3. LaVision Manual. 2009.

### **МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРОВАЛЬНЫМ СТАНКОМ НА БАЗЕ МИКРОСКОПА**

Исаков С.С., Габдулин Р. Р., Гейбель Ю.А., Шабуров Д.Ш.  
тел.: 0312 350-722, 0543 233-039; e-mail: [isakov\\_s\\_s@rambler.ru](mailto:isakov_s_s@rambler.ru)  
Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

При изготовлении электронных приборов контроля и регулирования возникает необходимость изготовления печатной платы. Процесс изготовления печатной платы заключается в: нанесении рисунка проводников на зачищенную поверхность фольгированного стеклотекстолита; вытравливании (удалении) медной фольги кроме проводников; лужении (нанесении припоя) фольгированных проводников; сверлении и фрезеровании крепежных и переходных отверстий; установке радиодеталей и их пайке.

В радиоэлектронной промышленности все эти процессы автоматизированы, однако в домашних условиях возникают затруднения в нанесении рисунка проводников и сверлении отверстий малого диаметра. Наиболее простым способом нанесения рисунка считается «лазерно-утюжная» технология с применением термопресса [1].

Процесс сверления малых отверстий затрудняется отсутствием сверлильных станков с патроном для сверл диаметром 0,5..0,8 мм. Наиболее распространенным является способ установки цанги или малогабаритного патрона непосредственно на вал электродвигателя и сверление отверстий вручную, однако даже при небольших отклонениях оси вращения возможна поломка сверла, к тому же попасть вращающимся сверлом точно в нужное место проблематично.

Для решения этой проблемы электродвигатель устанавливается на основание фотоувеличителя или микроскопа (рис. 1). Жесткость конструкции увеличивается, однако точность позиционирования при вращающемся сверле, равномерность подачи зависят от навыков человека.

Для равномерного перемещения режущего инструмента на микроскоп был установлен шаговый двигатель от принтера “Epson”.

Спроектированное и изготовленное устройство управления предназначено для регулирования частотой вращения режущего инструмента и его перемещения по координате Z, перемещение по координатам X, Y осуществляется вручную. Устройство может работать в ручном и полуавтоматическом режимах.



Рис. 1. Сверлильный станок на базе микроскопа.

В ручном режиме частота вращения регулируется потенциометром и отображается на индикаторе в оборотах в минуту, перемещение режущего инструмента осуществляется нажатием красной и зеленой кнопок, на индикаторе отображается текущая координата в миллиметрах.

В полуавтоматическом режиме режущий инструмент находится в верхнем положении, вручную позиционируется печатная плата на то место, где будет сверление отверстия. После нажатия на зеленую кнопку происходит вращение сверла на малых оборотах и его перемещение на отметку 0,5 мм от поверхности детали. После уточнения положения детали под сверлом и нажатия на красную кнопку плавно увеличивается частота вращения сверла до установленного максимума, и сверло перемещается до нижней заданной отметки. Затем оно поднимается в верхнее положение и прекращает вращаться, занимая исходное положение для сверления следующего отверстия.

Для вращения режущего инструмента был выбран серводвигатель постоянного тока серии PIVT6-25/3A на напряжение 30 В, ток 3 А со скоростью вращения 3000 об/мин и крутящим моментом 0,10 Нм, диаметром 60 мм, длиной 155 мм, массой 1,6 кг, оснащенный тахогенератором с характеристикой 3 вольта при 1000 об/мин. Валы двигателя изготовлены из нержавеющей стали и снабжены прецизионными шариковыми подшипниками. Современные конструктивные решения узлов двигателей обеспечивают высокие динамические качества — короткое время ускорения и торможения, а также низкий уровень вибрации и шума, долгий срок службы и большую надежность.

Скорость вращения вала зависит от подаваемого напряжения. Подключив электродвигатель к регулируемому источнику питания и изменяя подаваемое напряжение, можно изменять частоту вращения вала (рис. 2), ток при холостых

оборотах практически не зависит от подаваемого напряжения и не превышает 0,32 А.

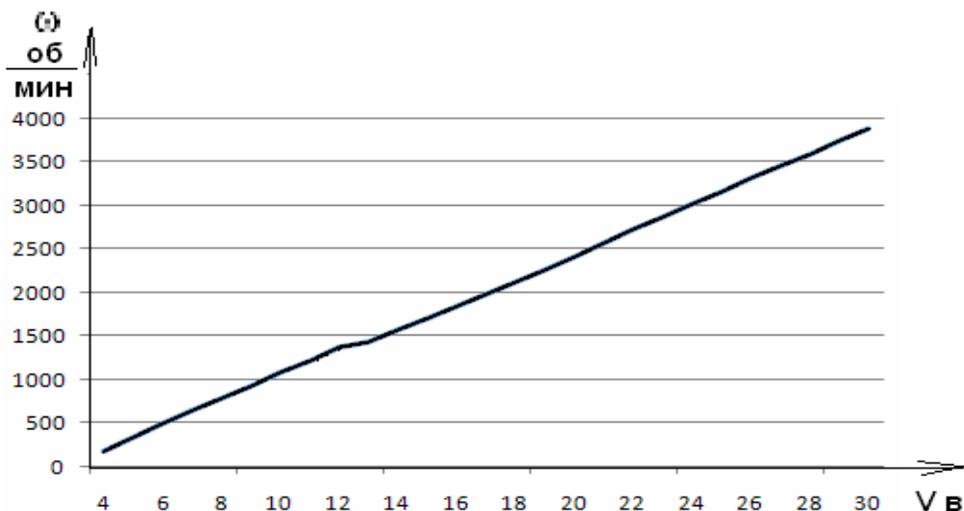


Рис. 2. Зависимость частоты вращения от напряжения питания.

Поскольку такой способ управления двигателем для автоматизированных систем затруднителен, широкое применение получил метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ), в котором меняется интервал времени подачи напряжения на электродвигатель.

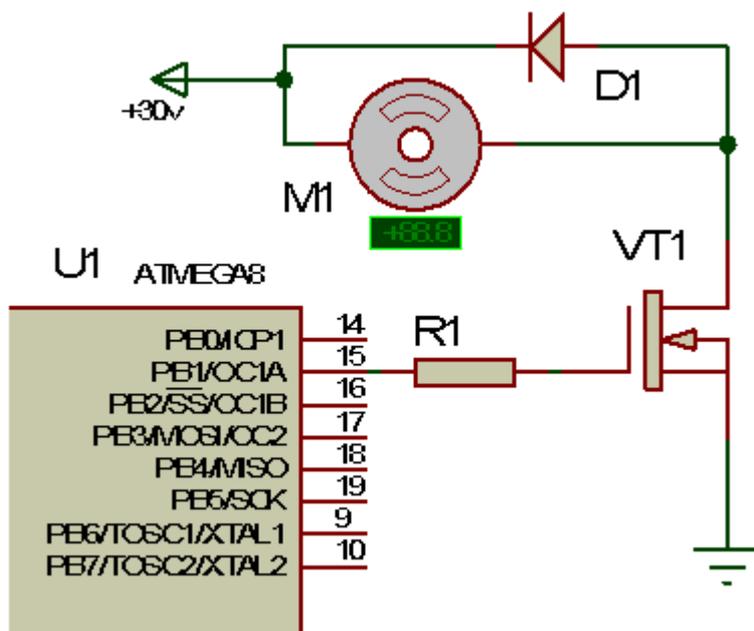


Рис. 3. Схема ШИМ-регулятора двигателем постоянного тока.

ШИМ-регулирование может осуществляться микроконтроллером на аппаратном и программном уровнях. Схема управления двигателем постоянного тока отображена на рис. 3.

Полевой транзистор VT1 работает в ключевом режиме: в открытом состоянии ток течет через катушку электродвигателя, в закрытом- ток прекращается. Изменяя ширину управляющих импульсов (рис.4), открывающих транзистор, можно регулировать длительность протекания тока через катушку электродвигателя, а следовательно, среднее значение подаваемого напряжения [2].

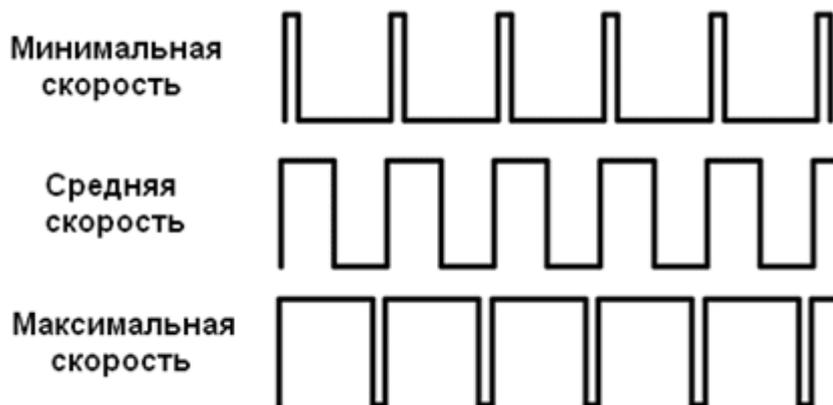


Рис. 4. Зависимость ширины импульсов от положения регулятора.

Задание скорости вращения вала двигателя осуществляется изменением напряжения на входе ADC0 микроконтроллера в диапазоне от 0 до 2,5 В переменным резистором, а измерение скорости осуществляется тахометром, подключенным через делитель напряжения к ADC1 микроконтроллера, что позволяет стабилизировать заданную скорость вращения.

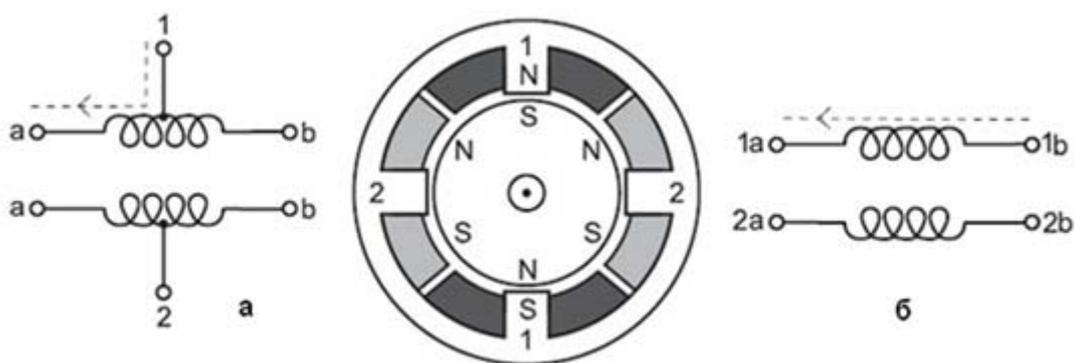


Рис. 5. Шаговые двигатели: а –униполярные, б –биполярные.

Перемещение режущего инструмента по вертикали осуществляется шаговым двигателем, управляемым микроконтроллером через драйвер L298.

Широко применяются два типа шаговых двигателей: униполярные - четыре обмотки, шесть проводов, и биполярные - две обмотки, четыре провода (рис. 5).

Схема управления биполярным шаговым двигателем приведена на рис. 6.

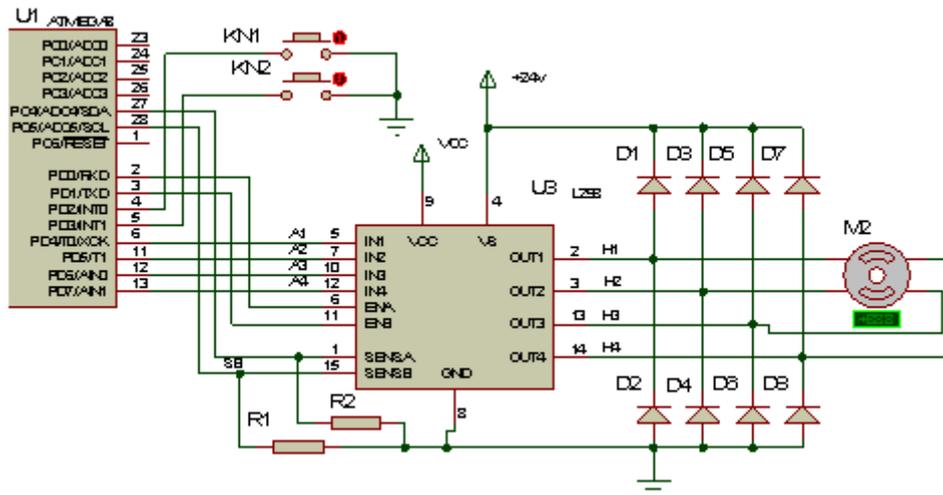


Рис. 6. Схема управления шаговым двигателем.

Управление шаговым двигателем бывает однофазным и двухфазным, чаще используется однофазное управление [3]. Подачей импульсов в соответствующей последовательности организуется вращение двигателя в заданном направлении - перемещение вверх (рис. 7) и вниз (рис. 8).

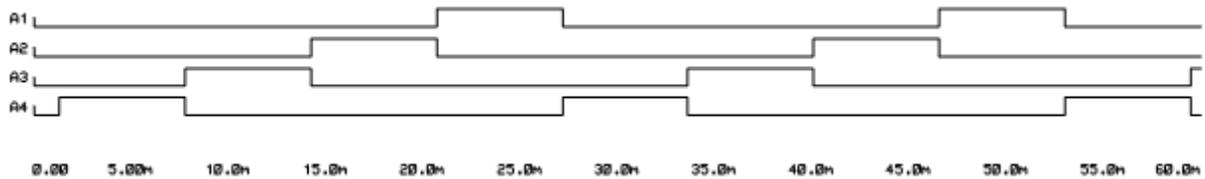


Рис. 7. Временная диаграмма перемещения вверх.

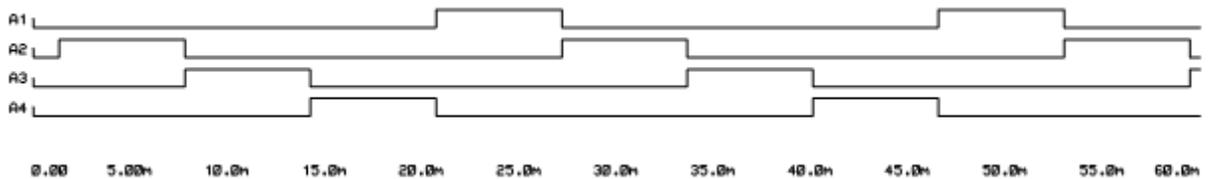


Рис. 8. Временная диаграмма перемещения вниз.

Задание направления перемещения осуществляется нажатием кнопок: зеленой - вниз, красной – вверх, скорость перемещения задается частотой подачи импульсов и определяется длительностью нажатия кнопки. На ЖКИ отображается текущее положение режущего инструмента. Внешний вид станка и устройства управления отображены на рисунке 9.



Рис. 9. Внешний вид станка и устройства управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исаков С.С., Бакытов А. Микропроцессорное устройство измерения и регулирования температуры // Материалы 4-й конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях». Бишкек. 2012. С. 119-123.
2. Долидзе В.Ч., Дорохин М.П. Электродвигатели постоянного тока в радиоэлектронных устройствах. М.: Сов. Радио. 1975. 80 с.
3. Кенио Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления. М.: Энергоатомиздат. 1987. 200 с.

#### **ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ УДАРА В СИСТЕМЕ «БОЕК-ИНСТРУМЕНТ-ПЛАСТИНА» ПРИ УПРУГОЙ КОНТАКТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ИНСТРУМЕНТА И ПЛАСТИНЫ**

Ню В.В.

тел. 0555099095; e-mail: [vniu14@yandex.com](mailto:vniu14@yandex.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В работе рассматривается ударная система гидравлического виброударного механизма для очистки пластин от отложений на их внутренней поверхности. Эта система состоит из бойка 1 (рис. 1) гидравлической ударной машины, который наносит удар по инструменту 2, опирающемуся на внешнюю поверхность обрабатываемой пластины 3. Боек и инструмент представляют собой упругие стержни, величины диаметров которых отличаются друг от друга не более чем на

20%. Соударяющиеся торцы бойка и инструмента плоские. Торец инструмента, опирающийся на пластину сферический.

В модели рассматриваемой системы перемещения сечений бойка и инструмента описываются одномерными волновыми уравнениями, решение которых отыскивается методом Даламбера. Контактная характеристика инструмента и пластины описывается линеаризованной моделью Герца. Для описания движения пластины используется техническая теория изгиба.

Известно, что при диаметре бойка большем диаметра инструмента в последнем при ударе генерируется начальная волна деформации сжатия ступенчатой формы с амплитудой усилий в  $n$ -ной ступени:

$$P_n(t) = P_1 q_1^{n-1},$$

где

$$P_1 = -\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} V_0, \quad C_i = \rho a S_i, \quad i = 1, 2; \quad q_1 = \frac{r_{12} - 1}{r_{12} + 1}, \quad r_{12} = C_1 / C_2;$$

$\rho$  – плотность материала бойка и инструмента;  $a$  – скорость распространения волны деформации в бойке и инструменте (здесь и далее предполагается, что  $\rho$  и  $a$  для материалов бойка, инструмента и пластины одинаковы);  $S_i$  – площадь поперечного сечения бойка ( $i = 1$ ) и инструмента ( $i = 2$ );  $V_0$  – скорость удара. Длительность каждой ступени этой волны  $T = 2l/a$ , где  $l$  – длина бойка.

Известно, что энергия волны деформации, распространяющейся по стержню без отражений и наложений, определяется зависимостью:

$$A = \frac{1}{C_2} \int_0^\tau P^2(t) dt, \quad (1)$$

где  $\tau$  – длительность волны деформации.

В работе [1] показано, что при ударе бойком по инструменту коэффициент передачи энергии бойка в энергию начальной волны, распространяющейся по инструменту, определяется формулой:

$$\eta_1 = \frac{4r_{12}}{(r_{12} + 1)^2}.$$

При этом для обеспечения величины коэффициента  $\eta_1$  не менее 0,99 значение  $r_{12}$  должно лежать в диапазоне:  $0,82 < r_{12} < 1,22$ . Там же отмечено, что при выполнении этого условия передача энергии удара в пластину происходит только при действии на неё первой ступени начальной волны деформации. Остальная часть волны отражается от пластины как от жесткой опоры.

Ниже рассматривается наиболее рациональный случай, когда диаметры бойка и инструмента одинаковы, и  $S_1 = S_2 = S$ ,  $r_{12} = 1$ . В этом случае начальная волна деформации, сформированная в инструменте, имеет прямоугольную форму с амплитудой усилий  $P_1$  и длительностью  $T = 2l/a$ . При действии на пластину этой волны усилия в контактном сечении инструмента и пластины определяются зависимостью:

$$P_{k1}(t) = P_1(1 - q_2)[1 - \exp(-sat)], \quad (2)$$

где  $t$  – время, отсчитываемое от момента прихода начальной волны к контактному сечению инструмента и пластины;

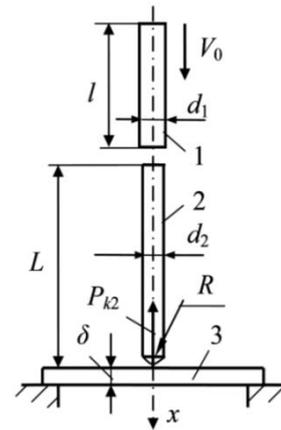


Рис. 1.

$$q_2 = \frac{\chi v^2 - 1}{\chi v^2 + 1}, \quad s = b(\chi v^2 + 1) = \frac{2}{\Theta(1 - q_2)l}, \quad b = c / ES,$$

$$\chi = \frac{\pi\sqrt{3(1 - \mu^2)}}{16}, \quad v = d / \delta, \quad \Theta = \frac{(\rho a S)^2}{cm},$$

$c$  – приведенный коэффициент жесткости контакта инструмента с пластиной;  $E$ ,  $\mu$  – модуль упругости и коэффициент Пуассона материала элементов системы;  $d$  – диаметр инструмента;  $\delta$  – толщина пластины;  $m$  – масса бойка.

Если начало оси  $x$  расположено в контактном сечении инструмента и пластины, то величина усилий в отраженной волне описывается функцией:

$$P_{omi}(x, t) = -P_1 \left[ q_2 + (1 - q_2) \exp(-s(at + x)) \right]. \quad (3)$$

Коэффициент передачи энергии удара в пластину, равный отношению энергии, переданной в пластину, к энергии начальной волны деформации находится по формуле:

$$\eta_{2i} = \frac{A_{np} - A_{omi}}{A_{np}} = 1 - \frac{A_{omi}}{A_{np}},$$

где  $A_{np}$ ,  $A_{omi}$  – энергии начальной волны деформации и  $i$ -ой волны, отраженной от пластины.

После подстановки в последнюю формулу соответствующих выражений, определенных по формулам (1), (3), она принимает вид

$$\bar{\eta}_{2i} = 1 - q_2^2 - 0,5\Theta(1 - q_2) \left[ q_2(1 - e^{-p}) + 0,25(1 - q_2)(1 - e^{-p}) \right],$$

где  $p = 4 / \Theta(1 - q_2)$ ,  $\bar{\eta}$  – коэффициент передачи энергии, не учитывающий упругого восстановления контактных поверхностей.

Расчеты показывают, что при толщине пластины менее 12,5 мм и диаметре инструмента меньше 50 мм экспоненциальными членами в последнем выражении можно пренебречь и представить его в более простом виде:

$$\bar{\eta}_{2i} = 1 - q_2^2 - 0,5\Theta(1 - q_2)(q_2 + 0,25(1 - q_2)). \quad (4)$$

Головная часть отраженной от пластины волны (3) представляет собой волну растяжения. Эта волна, распространяясь в сторону ударного торца инструмента, приводит к его отходу от бойка и затем отражается от свободного торца с противоположным знаком, т.е. в виде волны сжатия, не меняя своей формы и амплитуды. Воздействуя на пластину, она вновь передает в неё часть своей энергии.

Дальнейший процесс определяется соотношением длин бойка и инструмента. В зависимости от этого соотношения возможны три случая.

- Длина бойка намного меньше длины инструмента, и отраженная волна возвращается к пластине, когда первое взаимодействие инструмента с пластиной закончилось, и усилия в контакте инструмента и пластины равны нулю.
- Длина бойка равна длине инструмента, и отраженная волна возвращается к пластине в момент окончания действия на неё первой волны.
- Длина бойка больше длины инструмента, и отраженная волна приводит к снижению усилий в первой прямой волне до нуля до того, как вся энергия бойка будет передана в инструмент.

### Случай 1

Первый случай характеризуется тем, что после окончания действия на пластину первой прямой волны происходит упругое восстановление контактных

поверхностей инструмента и пластины. При этом усилия в контакте уменьшаются от максимального значения до нуля. В процессе этого восстановления контактные усилия равны усилиям в отраженной волне и определяются зависимостью:

$$P_{om}^r(0, t) = P_k^r(t) = P_{k1}(T) \exp(-sat), \quad (5)$$

в которой время  $t$  отсчитывается от момента окончания действия прямой волны. Здесь и далее индекс  $r$  соответствует процессу восстановления контактных поверхностей.

Из этой формулы следует, что теоретически время упругого восстановления  $\tau$  стремится к бесконечности, но практически можно считать, что восстановление закончено, когда усилия в контакте составляют менее 5% от усилий  $P_k(T)$ . Это условие выполняется, если  $sat > 3$ . Из этого условия следует:

$$\frac{\tau}{T} > \frac{3}{4} \Theta(1 - q_2).$$

Энергия части отраженной волны, соответствующая упругому восстановлению, определяется как

$$A_{om}^r = \frac{P_k^2(T)}{C_2} \int_0^\infty e^{-2sat} dt = \frac{P_{k1}^2(T)}{2C_2 sa}.$$

Подставляя в это выражение формулу (2), и пренебрегая, ввиду малости, членом  $\exp(-saT)$ , получим:

$$A_{om}^r = \frac{P_1^2 T}{C_2} \cdot \frac{\Theta(1 - q_2)^3}{8}, \quad \Delta\eta_{21} = \frac{A_{om}^r}{A_{np1}} = \frac{\Theta(1 - q_2)^3}{8}.$$

где  $\Delta\eta_{21}$  – поправка, учитывающая энергию, возвращенную в систему при упругом восстановлении контактных поверхностей. Коэффициент передачи энергии первой волны деформации в пластину с учетом упругого восстановления находится по формуле:

$$\eta_{21} = \bar{\eta}_{21} - \Delta\eta_{21}. \quad (6)$$

В первом случае при возвращении отраженной волны к контактному сечению инструмента и пластины начальным условием для описания взаимодействия этой волны с пластиной является равенство нулю усилия в контактном сечении. При этом получены следующие функции, описывающие усилия во второй прямой, второй отраженной волне и в контактном сечении:

$$P_{np2}(0, t) = P_1 \left[ q_2 + (1 - q_2) \exp(-pt_n) \right], \quad (7)$$

$$P_{om2}(0, t) = P_1 \left[ q_2^2 + (1 - q_2) \left( 1 + q_2 - \frac{4}{\Theta} t_n \right) \exp(-pt_n) \right], \quad (8)$$

$$P_{k2}(t) = P_1 (1 - q_2) \left[ q_2 - \left( q_2 - \frac{4}{\Theta} t_n \right) \exp(-pt_n) \right]. \quad (9)$$

где  $t_n = \frac{t}{T} - 1$ .

Для коэффициента передачи энергии начальной волны деформации в пластину с учетом повторного воздействия отраженной волны получено:

$$\begin{aligned} \bar{\eta}_{22} = 1 - q_2^4 - \frac{\Theta}{2} (1 - q_2)^2 \left[ q_2^2 (1 + q_2) - \right. \\ \left. - (1 - q_2) \left( q_2^2 + \frac{1}{2} q_2 (1 + q_2) - \frac{1}{8} (1 - q_2)^2 \right) \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

При длине инструмента большей длины бойка после повторного действия отраженной волны на пластину вновь происходит упругое восстановление контактных поверхностей. При этом отраженная волна описывается функцией

$$P_{om2}^r(0, t) = P_{k2r}(t) = P_{k2}(2T)e^{-sat}. \quad (11)$$

Энергия этой части отраженной волны и её доля от энергии начальной волны, сформированной при ударе в инструменте, определится как

$$A_{om2}^r = \frac{P_1^2 T}{C_2} \cdot \frac{\Theta q_2^2 (1 - q_2)^3}{8}, \quad \Delta \eta_{22} = \frac{A_{om2}^r}{A_{np1}} = \frac{\Theta q_2^2 (1 - q_2)^3}{8}.$$

Третья волна деформации, отраженная от пластины, описывается функцией:

$$P_{om3}(0, t) = -P_1 \left\{ q_2^3 + (1 - q_2^3) \exp(-pt_n) - \frac{4}{\Theta} (1 - q_2) \left[ (2 + q_2)t_n + \frac{4}{\Theta} t_n^2 \right] \exp(-pt_n) \right\},$$

$$\text{где } t_n = \frac{t}{T} - 2.$$

Усилия в контактном сечении инструмента и пластины при их третьем взаимодействии определяются по формуле:

$$P_{k3}(0, t) = P_1 (1 - q_2) \left[ q_2^2 - q_2^2 (1 - q_2) \exp(-pt_n) + \frac{4}{\Theta} t_n \left( (1 + q_2) - \frac{4}{\Theta} t_n \right) \exp(-pt_n) \right],$$

а коэффициент передачи энергии начальной волны деформации в пластину с учетом трехкратного воздействия волн на неё – по приближенной формуле:

$$\eta_{23} = 1 - q_2^6. \quad (12)$$

### Случай 2

Во втором случае, когда первая отраженная волна возвращается к пластине в момент окончания действия на неё первой прямой волны, начальные условия уже другие. В момент прихода отраженной волны усилия в контактном сечении равны не нулю, как в предыдущем случае, а усилиям, полученным под действием предыдущей волны. При этом воздействие волн на пластину происходит непрерывно и отсутствует упругое восстановление контактных поверхностей. Это обеспечивает более полную передачу энергии начальной волны в пластину.

Для второго случая первое взаимодействие начальной волны деформации с пластиной описывается формулами (2) – (4), а формулы для последующих взаимодействий принимают вид:

при втором взаимодействии инструмента с пластиной:

$$P_{om2}(0, t) = -P_1 \left[ q_2^2 + (1 - q_2) \left( q_2 - \frac{4}{\Theta} t_n \right) \exp(-pt_n) \right].$$

$$P_{k2}(0, t) = P_1 (1 - q_2) \left[ q_2 + \left( 1 - q_2 + \frac{4}{\Theta} t_n \right) \exp(-pt_n) \right],$$

$$\eta_{22} = 1 - q_2^4 - \frac{\Theta}{16} (1 - q_2)^2 \left( q_2^3 - \frac{5}{4} q_2^2 (1 - q_2) - \frac{1}{8} (1 - q_2)^3 \right),$$

$$\text{где } t_n = \frac{t}{T} - 1;$$

при третьем взаимодействии:

$$P_{np3} = P_1 \left[ q_2^2 + (1 - q_2) \left( q_2 - \frac{4}{\Theta} t_n \right) \exp(-pt_n) \right],$$

$$P_{om3}(0, t) = P_1 \left[ q_2^3 + (1 - q_2) q_2^2 \exp(-pt_n) - \frac{4}{\Theta} (1 - q_2 - q_2^2) t_n \exp(-pt_n) + \frac{8}{\Theta^2} (1 - q_2) t_n^2 \exp(-pt_n) \right],$$

$$P_{k3}(t) = P_1 (1 - q_2) \left[ q_2^2 + \left( q_2 (1 - q_2) - \frac{8}{\Theta} \frac{q_2^2}{(1 - q_2)} t_n - \frac{8}{\Theta} t_n^2 \right) \exp(-pt_n) \right],$$

где  $t_n = \frac{t}{T} - 2$ .

Коэффициент передачи энергии при трехкратном взаимодействии инструмента с пластиной, как и в первом случае, определяется по формуле (12).

### Случай 3

Если длина инструмента меньше длины бойка, то волна, отраженная от пластины, достигает контактного сечения бойка и инструмента до того как закончится передача энергии бойка в инструмент. Поскольку головная часть отраженной волны состоит из участка растяжения с начальной амплитудой деформаций, равной амплитуде прямой волны сжатия, то при её действии на контактное сечение бойка и инструмента усилия в нем упадут до нуля. Затем они вновь начнут возрастать до тех пор, пока к контактному сечению не подойдет волна, отраженная от верхнего торца бойка.

Таким образом, в третьем случае происходит дробление начальной волны, формируемой в инструменте, на две части. При действии такой волны на пластину часть её энергии будет возвращаться в систему из-за упругого восстановления контактных поверхностей. В таком случае эффективность передачи энергии начальной волны в пластину будет снижаться по сравнению со случаями, рассмотренными ранее.

Полученные формулы позволяют проводить анализ влияния различных факторов на напряженное состояние элементов ударной системы и эффективность передачи энергии удара в пластину. Зная это влияние, можно подобрать параметры системы, при которых будет обеспечиваться наибольшая производительность машины при напряжениях в системе, не превышающих допусковые. Часть этих задач решается в следующей статье, помещенной в настоящем сборнике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нью В.В. Удар упругим цилиндрическим бойком по стержню, опирающемуся на пластину /Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докладов 5-й Международной конференции молодых ученых и студентов. Бишкек: Научная станция РАН. 2013. С. 226 – 231.
2. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Моделирование и методы расчета. Palmarum academic publishing. Саарбрюккен. Германия. 2012. 586 с.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ «БОЕК-ИНСТРУМЕНТ-ПЛАСТИНА» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ УДАРА

Ню В.В.

тел. 0555099095; e-mail: [vniu14@yandex.com](mailto:vniu14@yandex.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская  
Республика

В предшествующей статье [1], помещенной в настоящем сборнике, выведены формулы для расчета коэффициента передачи энергии бойка через инструмент в пластину. Задачей данной работы являлось установление зависимости этого коэффициента от параметров элементов ударной системы.

В качестве основных параметров, определяющих эффективность процесса, приняты безразмерные соотношения  $\Theta$  и  $\chi v^2$ , где:

$$\Theta = \frac{(\rho a S)^2}{c m}, \quad v = \frac{d}{\delta}, \quad \chi = \frac{\pi \sqrt{3(1-\mu^2)}}{16}, \quad (1)$$

$\rho$  – плотность материала элементов ударной системы;  $a$  – скорость распространения волн деформаций в инструменте;  $S$  – площадь поперечного сечения инструмента;  $c$  – приведенный коэффициент жесткости контактной характеристики инструмента и пластины;  $m$  – масса бойка;  $d$  – диаметр инструмента;  $\delta$  – толщина пластины;  $\mu$  – коэффициент Пуассона. Для стали с коэффициентом Пуассона равным 0,3,  $\chi = 0,3244$ .

Первое из этих соотношений связывает параметры бойка и инструмента, а второе – параметры инструмента и пластины.

В работе [1] отмечено, что наибольшая эффективность передачи энергии бойка в инструмент при формировании в нем начальной волны деформации достигается при равенстве ударных жесткостей бойка и инструмента. При одинаковых материалах этих элементов равенство ударных жесткостей обеспечивается при равенстве площадей поперечных сечений или диаметров бойка и инструмента. Поэтому в дальнейшем рассматривается именно такой случай.

В этом случае после удара вся энергия бойка передается в инструмент, и эффективность передачи энергии в пластину определяется только коэффициентом передачи энергии начальной волны. Этот коэффициент определяется по формуле:

$$\eta_{2i} = 1 - \frac{A_{omi}}{A_{np1}}, \quad (2)$$

где  $i$  – количество волн, последовательно действующих на систему;  $A_{omi}$  – энергия, содержащаяся в  $i$ -й отраженной волне;  $A_{np1}$  – энергия, содержащаяся в первой начальной волне деформации, сформированной при ударе бойком по инструменту.

Коэффициент передачи энергии в пластину  $\eta_{2i}$  зависит от соотношения длин бойка и инструмента. При длине бойка меньшей длины инструмента между повторным действием на пластину отраженных от неё волн деформаций происходит упругое восстановление контактных поверхностей. При этом в

инструмент возвращается часть энергии, затраченная на эти контактные деформации.

Значения отношения этой энергии к энергии начальной волны деформации  $\Delta\eta_{21}$ , сформированной при ударе по инструменту, приведены в табл.1. Из данных этой таблицы видно, что количество энергии, возвращаемой в систему при упругом восстановлении поверхностей, тем больше, чем больше коэффициент  $\Theta$  и чем меньше коэффициент  $\nu$ . Например, при  $\Theta = 1$  и  $\nu = 1,756$  в систему возвращается 12,5% от энергии прямой волны деформации, действующей на пластину. При  $\Theta = 0,25$  и  $\nu = 4,3$  в систему возвращается только 0,1% энергии прямой волны.

Таблица 1.

$\Theta$	$\nu$	1,756	2,150	2,483	2,776	3,041	3,285	3,511	3,926	4,30
	$\chi\nu^2$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
0,25	$\Delta\eta_{21}$	0,031	0,016	0,009	0,006	0,004	0,003	0,002	0,002	0,001
0,50		0,062	0,032	0,019	0,012	0,008	0,006	0,004	0,003	0,002
0,75		0,094	0,048	0,028	0,018	0,012	0,008	0,006	0,004	0,002
1,0		0,125	0,064	0,037	0,024	0,016	0,011	0,008	0,005	0,003

Отсюда следует, что для повышения эффективности передачи энергии удара в пластину при первом взаимодействии инструмента с пластиной необходимо стремиться к уменьшению коэффициента  $\Theta$  и увеличению коэффициента  $\nu$ .

В качестве примера на рис. 1 показаны три прямые волны деформации, распространяющиеся в сторону пластины (а), три отраженные волны (б) и

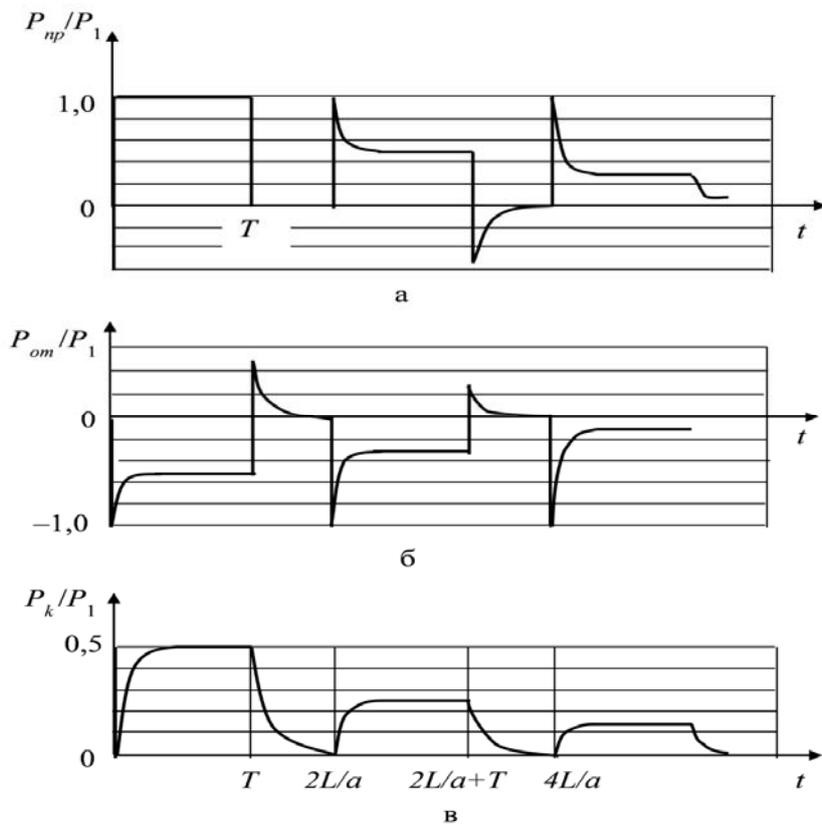


Рис. 1

изменение усилий в контактном сечении инструмента и пластины в зависимости от времени ( $v$ ), для системы с параметрами  $\Theta = 0,5$ ,  $\chi v^2 = 3$ . На этих графиках видно, что отраженные волны состоят из участка растяжения ( $P_{om}/P_1 < 0$ ) и участка сжатия ( $P_{om}/P_1 > 0$ ), соответствующего упругому восстановлению контактных поверхностей после окончания действия прямой волны.

На рис. 2 показаны результаты расчета коэффициентов передачи энергии первой волны в пластину  $\eta_{21}$  с учетом упругого восстановления контактных поверхностей. Кривые 1, 2, 3, 4 на этом рисунке соответствуют значениям

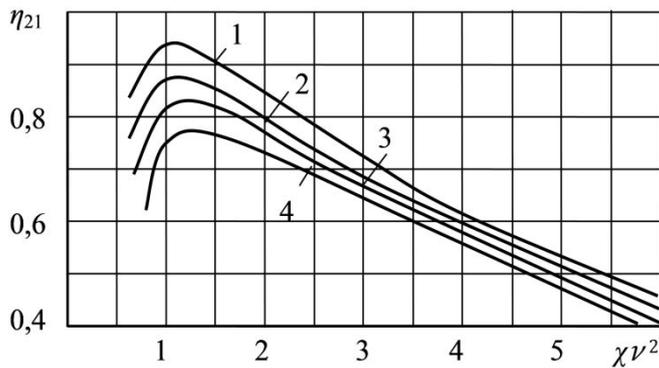


Рис. 2

параметра  $\Theta$ , равным 0,25, 0,5, 0,75, 1,0 соответственно. Из этих результатов следует, что с увеличением параметра  $\Theta$  коэффициент передачи энергии уменьшается. Зависимость  $\eta_{21}$  от параметра  $v$  носит экстремальный характер, достигая максимального значения в диапазоне изменения  $\chi v^2$  от 1 до 1,5.

Следовательно, с точки зрения повышения величины коэффициента передачи энергии в пластину, необходимо стремиться к уменьшению параметров  $\Theta$  и  $v$ .

Передача энергии второй волны деформации в пластину будет происходить до тех пор, пока усилия в контакте инструмента и пластины не станут равны удвоенным усилиям в контактном сечении, т.е. пока выполняется условие:

$$2P_{np2} > P_{k2}. \quad (3)$$

С учетом формул, полученных в работе [1], это условие для случая, когда длина бойка меньше длины инструмента, имеет вид:

$$\frac{q_2(1+q_2)}{1-q_2} > \left( \frac{4}{\Theta} t_n - 2 - q_2 \right) \exp\left( -\frac{4}{\Theta(1-q_2)} \right), \quad (4)$$

а для случая, когда длина бойка равна длине инструмента –

$$\frac{q_2}{1-q_2} > \left( \frac{4t_n}{\Theta(1+q_2)} - 1 \right) \exp\left( -\frac{4t_n}{\Theta(1-q_2)} \right), \quad (5)$$

где

$$t_n = \frac{t}{T} - 1, \quad q_2 = \frac{\chi v^2 - 1}{\chi v^2 + 1}.$$

Принимая в выражениях (4), (5)  $t_n = 1$ , что равносильно  $t = 2T$ , можно найти, при каких значениях  $\chi v^2$  передача энергии в пластину будет происходить на протяжении всего времени действия второй волны. Для обоих случаев это условие выполняется, если  $\chi v^2 \geq 1$ ,  $v \geq 1,756$ .

При невыполнении условия (3) передача энергии в пластину закончится раньше окончания действия второй волны, и её оставшаяся часть отразится от пластины как от жесткой опоры, унося с собой часть энергии начальной волны.

Момент времени, в который это произойдет, находится численно из неравенства (3). Например, при  $\Theta = 0,5$ ,  $\nu = 1,36$ ,  $\chi\nu^2 = 0,6$ , получается  $t_n = 0,165$ .

При повторном воздействии волны на пластину величина  $\Delta\eta_{22}$  составляет от 0,001 до 0,004. Большие значения из этого диапазона соответствуют большим значениям параметра  $\Theta$ .

На рис. 3 приведены графики изменения коэффициента передачи энергии при первом воздействии волны на пластину ( $\eta_{21}$ , кривая 1) и при двукратном воздействии ( $\eta_{22}$ , кривая 2). При построении этих графиков принято  $\Theta = 0,5$ . На них видно, что повторное воздействие отраженной волны на пластину существенно увеличивает коэффициент передачи в неё энергии удара. Причем это увеличение тем больше, чем большее значение имеет отношение диаметра инструмента к толщине пластины.

Например, при  $\chi\nu^2 = 5$ , при повторном воздействии коэффициент передачи энергии возрастает от 0,534 до 0,791, т.е. почти в полтора раза. Отсюда следует, что при выборе параметров и проектировании ударных систем машин для очистки поверхностей необходимо учитывать как минимум двукратное воздействие волн на пластину.

При длине бойка, равной длине инструмента, картина распространения волн деформаций в системе несколько иная. В качестве примера на рис. 4 показаны диаграммы первых трех прямых волн деформаций (а), трех отраженных волн (б) и усилий в контактном сечении (в) при трехкратном действии волн на пластину. Исходные данные для расчета этих диаграмм такие же, как и на рис.1:

$\Theta = 0,5$ ,  $\chi\nu^2 = 3$ , но длина бойка равна длине инструмента.

Расчет коэффициентов передачи энергии в системе с равными длинами бойка и инструмента показал, что с учетом двукратного воздействия волн деформаций на пластину эти коэффициенты несущественно отличаются от аналогичных показателей для системы с длиной бойка меньшей длины инструмента. Расхождение не превышает 2%. Но уровень максимальных напряжений во второй и третьей волнах во втором случае (рис. 4) соответственно в два и в четыре раза меньше, чем в первом (рис. 1). При этом в первом случае вторая волна, распространяющаяся в сторону пластины, имеет участок с деформациями растяжения. Это может привести к отходу инструмента от пластины и уменьшению количества энергии, передаваемой в пластину при действии на неё третьей волны.

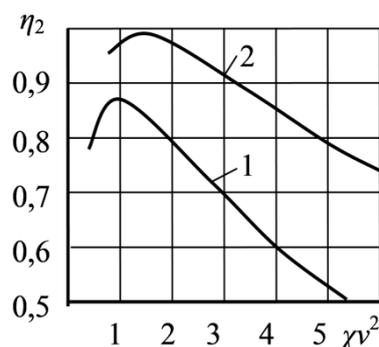


Рис. 3

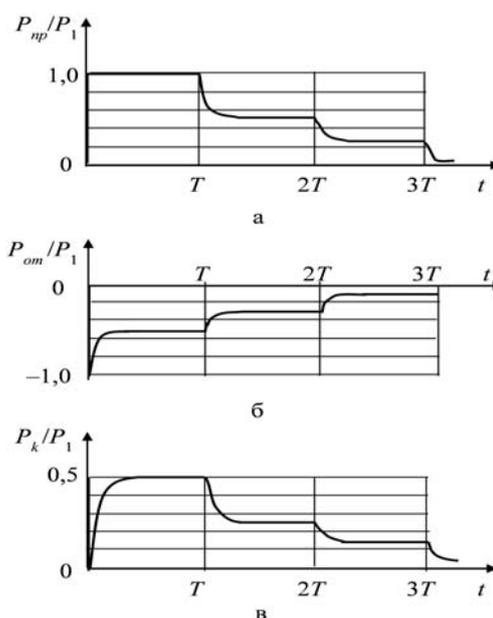


Рис. 4

В таблице 2 приведены результаты расчета коэффициентов передачи энергии начальной волны деформации в пластину  $\eta_{22}$  по полной формуле, и по приближенной формуле ( $\eta_{22} = 1 - q_2^4$ ) для различных параметров  $\Theta$  и  $\nu$ . При расчете принималось, что длина бойка равна длине инструмента.

Таблица 2.

$\nu$	2,15	2,48	2,78	3,04	3,28	3,51	3,93	4,30
$\chi\nu^2$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
$q_2$	0,20	0,3333	0,4286	0,50	0,5555	0,60	0,6666	0,7143
$\eta_{22} = 1 - q_2^4$	0,998	0,988	0,966	0,937	0,905	0,870	0,803	0,740
$\Theta = 0,25$	0,996	0,989	0,967	0,938	0,904	0,870	0,801	0,738
$\Theta = 0,50$	0,993	0,990	0,969	0,939	0,904	0,869	0,799	0,736
$\Theta = 0,75$	0,991	0,991	0,970	0,939	0,904	0,868	0,798	0,734
$\Theta = 1,0$	0,988	0,992	0,971	0,940	0,904	0,867	0,796	0,732

Из данных этой таблицы видно, что достаточно высокий коэффициент передачи энергии обеспечивается в диапазоне изменения параметра  $\nu$  от 1,5 до 3,5. В диапазоне изменения параметра  $\nu$  от 2 до 4,3 влияние параметра  $\Theta$  мало. С изменением  $\Theta$  от 0,25 до 1,0 изменение коэффициента передачи энергии лежит в пределах 1%. Но при больших значениях  $\nu$  влияние параметра  $\Theta$  может быть существенным. Напомним, что при первом воздействии волны на пластину коэффициент передачи энергии тем больше, чем меньшее значение имеет параметр  $\Theta$ .

Следует отметить, что при двукратном действии волн деформаций на пластину расчет коэффициента передачи энергии по приближенной формуле дает результат, отличающийся от результата расчета по полной формуле всего на 1,5%.

## ВЛИЯНИЕ ВИДА СВЯЗИ УДАРНОЙ МАССЫ С БАЛКОЙ КОРОМЫСЛОВОЙ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БАЛКИ

Колесников Н.А.

Тел.: 0 (554) 262444; e-mail: [nkolesnikov14@yandex.com](mailto:nkolesnikov14@yandex.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская  
Республика

В работах [1–3] было исследовано влияние вида связи ударной массы с балкой коромысловой ударной системы на собственные частоты и формы колебаний системы. Данная работа является продолжением этих исследований. В ней решается задача оценки влияния вида отмеченной связи на напряженное состояние балки.

Рассматриваются два случая: когда связь ударной массы с балкой шарнирная (рис. 1а), и когда эта связь жесткая (рис. 1б).

В первом случае расчетная схема имеет вид, показанный на рис. 1а. Ударная масса в ней представлена как жесткое тело массой  $m$  с податливой сферической ударной поверхностью радиуса  $R$ , балка – упругий стержень с распределенной массой  $m_0$ , имеющий постоянное по длине поперечное сечение с моментом инерции  $J$ . Удар наносится по жесткой наковальне. Принималось, что модули упругости  $E$  и коэффициенты Пуассона  $\mu$  для материалов всех элементов рассматриваемой системы одинаковые. Начало координаты  $z$  расположено в шарнирной опоре балки, и ось  $z$  направлена от опоры в сторону ударной массы.

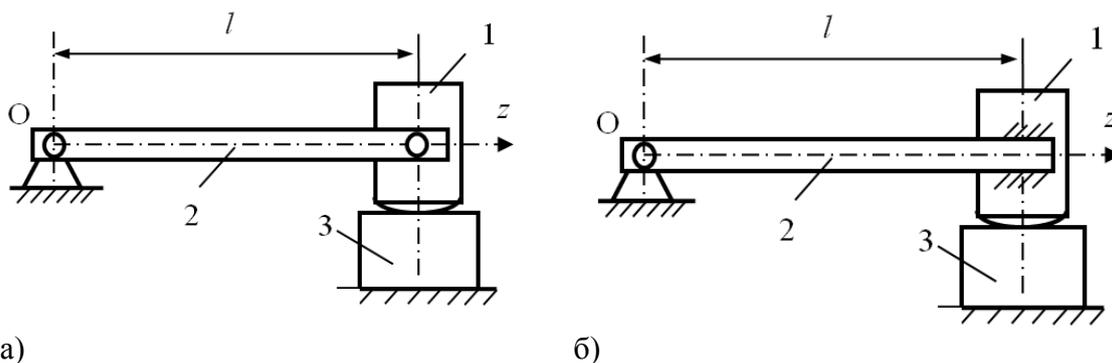


Рис. 1.

Для описания движения сечений балки в работе [2] использовалась техническая теория изгиба. Контактная характеристика ударной массы с наковальней описывалась законом Герца для случая соударения сферы с плоскостью. Анализ этой модели показал, что колебания балки можно условно разделить на нормальные, соответствующие колебанию балки на двух шарнирных опорах, и особые, учитывающие наличие ударной массы на конце балки.

Для рассматриваемой схемы существует одна особая форма  $u_{01}(z)$  и частота колебаний  $p_{01}$ , которые описываются формулами:

$$u_{01}(z) = \frac{sh(\alpha_{01}z) \sin \lambda_{01} + sh \lambda_{01} \sin(\alpha_{01}z)}{sh \lambda_{01} + \sin \lambda_{01}}, \quad (1)$$

$$p_{01} = \lambda_{01}^2 \sqrt{EJ / m_0 l^4}. \quad (2)$$

В этих формулах  $\alpha_{01} = \lambda_{01} / l$ , а величина  $\lambda_{01}$  при её значениях больших двух находится численно из соотношения:

$$tg \lambda_{01} = \frac{1}{1 + 2\lambda_{01} \left( k_m - \frac{3k_c}{\lambda_{01}^4} \right)}, \quad (3)$$

где

$$k_m = m / m_0 l, \quad k_c = cl^3 / 3EJ. \quad (4)$$

Нормальных форм колебаний бесконечное множество. Для них формы и частоты определяются по формулам:

$$u_k(z) = \sin \left( \lambda_k \frac{z}{l} \right), \quad \lambda_k = \pi k, \quad p_k = \pi^2 k^2 \sqrt{EJ / m_0 l^4}, \quad k = 1, 2, 3 \dots n. \quad (5)$$

В качестве примера в [2, 3] рассмотрена ударная система кривошипно-коромыслового молота ГУИМ-1 со следующими параметрами:  $m = 466$  кг,  $R = 0,26$  м,  $m_0 = 55,4$  кг/м,  $l = 1,205$  м,  $E = 20,4 \cdot 10^{10}$  Па,  $c = 54,148 \cdot 10^9$  Н/м,  $J = 8320 \cdot 10^{-8}$  м<sup>4</sup>,  $W = 616 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>. При таких параметрах безразмерные коэффициенты имеют следующие значения:  $k_m = 6,98$ ;  $k_c = 2763$ ,  $k_l = 0,271$ . В табл. 1 приведены первые шесть собственных частот колебаний балки, включая пять нормальных ( $k = 1 \dots 5$ ) и одну особую ( $k = 01$ ) частоту.

Таблица 1. Значения собственных частот колебаний балки

$k$	1	01	2	3	4	5
$\lambda_k$	3,1416	5,8175	6,328	9,425	12,566	15,708
$p_k, \text{с}^{-1}$	3762	12901	15265	33862	60193	94058

С учетом найденных форм и частот прогиб балки в сечении  $z$  для всех форм, кроме особой, описывается выражением:

$$y_k(z, t) = C_k \sin\left(\lambda_k \frac{z}{l}\right) \cos(p_k t + \varphi_k). \quad (6)$$

Постоянные  $C_k$ ,  $\varphi_k$ , входящие в это выражение, находятся по известным формулам из начальных условий движения  $y_k(z, 0) = 0$ ,  $\dot{y}_k(z, 0) = \omega_0 z$ , где  $\omega_0$  – угловая скорость коромысла в начальный момент удара. Формулы для их определения имеют вид [3]:

$$C_k = \frac{1}{M_k p_k} \left[ \int_0^l m_0 u_k(z) \dot{y}(z, 0) dz + m u_k(l) \dot{y}(l, 0) \right], \quad (7)$$

$$\cos \varphi_k = \frac{1}{M_k C_k} \left[ \int_0^l m_0 u_k(z) y(z, 0) dz + m u_k(l) y(l, 0) \right],$$

$$\sin \varphi_k = -\frac{1}{M_k C_k p_k} \left[ \int_0^l m_0 u_k(z) \dot{y}(z, 0) dz + m u_k(l) \dot{y}(l, 0) \right],$$

где  $M_k$  – обобщенная масса при  $k$ -той форме колебаний,

$$M_k = \int_0^l m_0 u_k^2(z) dz + m u_k^2(l). \quad (8)$$

Подставляя в эти формулы соответствующие выражения для амплитудных функций и учитывая начальные условия после вычисления интегралов, найдем:

$$\varphi_k = -\pi / 2, \quad C_k = (-1)^{k-1} \frac{2\omega_0 l}{p_k \lambda_k},$$

$$y(z, t) = 2\omega_0 l \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k-1}}{p_k \lambda_k} \sin\left(\frac{\pi k z}{l}\right) \sin p_k t. \quad (9)$$

При нормальных формах колебаний прогибы в крайних сечениях балки равны нулю, а в среднем сечении, при  $z = l/2$ , в разложении (9) остаются только симметричные (нечетные) формы колебаний.

Для особой формы (1)

$$y_0(z, t) = C_0 u_0(z) \sin p_0 t,$$

где  $C_0$  находится при подстановке формы (1) в соотношения (7), (8).

С учетом особой формы колебаний перемещение сечений балки выражается зависимостью:

$$y(z, t) = C_0 u_0(z) \sin p_0 t + 2\omega_0 l \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k-1}}{p_k \lambda_k} \sin\left(\frac{\pi k z}{l}\right) \sin p_k t.$$

Для второго случая (рис. 1б), когда ударная масса жестко связана с балкой, как показано в работе [3], существует две особые формы колебаний и бесконечное число нормальных форм. Собственные частоты колебаний в общем случае находятся по формуле

$$p_k = \lambda_k^2 \sqrt{EJ / m_0 l^4}, \quad (10)$$

где  $\lambda_k$  определяется численно из соотношения

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\left[ k_I \lambda^4 \left( k_m - \frac{3k_c}{\lambda^4} \right) - 1 \right] \operatorname{th} \lambda + 2k_I \lambda^3}{\left[ k_I \lambda^4 \left( k_m - \frac{3k_c}{\lambda^4} \right) - 1 \right] - 2\lambda \left( k_m - \frac{3k_c}{\lambda^4} \right) \operatorname{th} \lambda}, \quad k_I = I / m_0 l^3. \quad (11)$$

В табл. 2 приведены значения собственных частот для системы с такими же параметрами, как у системы с шарнирной связью, рассмотренной ранее.

Таблица 2. Значения собственных частот колебаний балки

$k$	01	1	02	2	3	4	5
$\lambda_k$	1,792	3,979	5,8226	7,0382	10,210	13,3517	16,4934
$p_k, \text{с}^{-1}$	1344	6624	14185	20726	43616	74587	113818
$B_k$	2,006	0,945	1,010	1,003	1,00	1,00	1,00
$M_k/m_0 l$	1,5984	0,4958	3,947	3,954	3,965	3,971	3,975
$C_k/\omega_0 l \times 10^5, \text{с}$	12,377	10,435	-5,422	5,916	-2,817	1,649	-1,082

Из анализа данных этой таблицы следует, что в рассматриваемом случае частоты особых форм 01 и 02 находятся по формулам (10), (11), а частоты нормальных форм с достаточной для инженерной практики точностью могут быть найдены по более простым формулам:

$$\lambda = \pi \left( k + \frac{1}{4} \right), \quad p_k = \pi^2 \left( k + \frac{1}{4} \right) \sqrt{\frac{EJ}{m_0 l^3}}.$$

Формы колебаний в безразмерном виде определяются как:

$$u_k(z) = K_2(\alpha_k z) - B_k K_4(\alpha_k z), \quad (12)$$

где

$$B_k = \frac{k_I \lambda_k^3 K_1(\lambda_k) - K_4(\lambda_k)}{k_I \lambda_k^3 K_3(\lambda_k) - K_2(\lambda_k)}. \quad (13)$$

Значения  $B_k$  для различных форм колебаний представлены в табл. 2. Из неё видно, что для всех форм колебаний, кроме первой, можно принять  $B_k = 1$ . Тогда, учитывая, что  $K_2(\alpha z) - K_4(\alpha z) = \sin(\alpha z)$ , для этих форм получаем:

$$u_k(z) = \sin \left( \lambda_k \frac{z}{l} \right) = \sin \left( \frac{\pi(k + 0,25)z}{l} \right). \quad (14)$$

Прогибы сечений балки и силовые параметры в сечениях определяются как сумма всех частных решений, соответствующих различным формам колебаний:

$$y(z, t) = \sum_{k=01}^n C_k u_k(z) \cos(p_k t + \varphi_k),$$

где постоянные  $C_k$ ,  $\varphi_k$  по-прежнему находятся из начальных условий задачи по формулам (7).

При начальных условиях  $y(z, 0) = 0$ ,  $\dot{y}(z, 0) = \omega_0 z$ , начальная фаза  $\varphi_k$  равна  $-\pi/2$ . При этом  $\cos(p_k t - 0,5\pi) = \sin p_k t$ .

Для нормальных форм колебаний при  $k \geq 2$  обобщенная масса системы  $M_k$  и постоянная  $C_k$  находятся по формулам:

$$M_k = \frac{m_0 l}{2} \left( k_m + 1 - \frac{1}{2\lambda_k} \right), \quad C_k = \sqrt{2} \omega_0 l \frac{(-1)^k}{p_k} \cdot \frac{(k_m - \lambda_k^{-1} + \lambda_k^{-2})}{(k_m + 1 - 0,5\lambda_k^{-1})}. \quad (15)$$

Формы колебаний для первой особой частоты ( $k = 01$ ) выражаются функцией

$$u_{01}(z) = K_2(\alpha z) - 2K_4(\alpha z) = 0,5(3 \sin \alpha z - sh \alpha z), \quad (16)$$

а для первой нормальной частоты ( $k = 1$ ) –

$$u_1(z) = K_2(\alpha z) - 0,945K_4(\alpha z) = 0,5(0,055sh \alpha z + 1,945 \sin \alpha z). \quad (17)$$

Значения  $M_k$  и  $C_k$ , вычисленные по формулам (15) для рассматриваемого примера, приведены в табл. 2. Они показывают, что при низких частотах обобщенная масса системы может меняться существенно, а при высоких частотах остается практически постоянной. Расхождения в значениях обобщенной массы для второй и пятой форм не превышают 0,7%.

Зная зависимости прогибов сечений балки, можно найти изгибающий момент и напряжения в сечениях балки для двух рассмотренных случаев по формулам:

$$M_u(z, t) = EJ \frac{\partial^2 y}{\partial z^2}, \quad \sigma_u(z, t) = \frac{M_u}{W},$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения изгибу.

Поскольку колебания балки являются затухающими, то для анализа напряжений, возникающих в её сечениях, достаточно рассмотреть первый полупериод колебаний с низшей частотой. Время этого полупериода рассчитывалось по формуле:

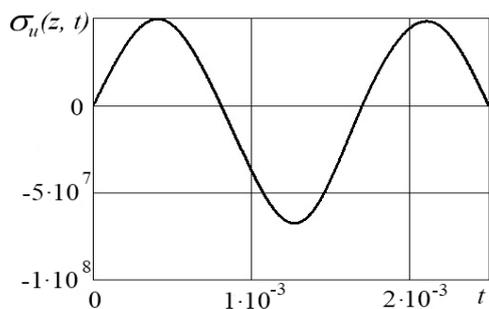
$$t = \pi / p_{01}$$

и равнялось  $2,34 \cdot 10^{-3}$  с.

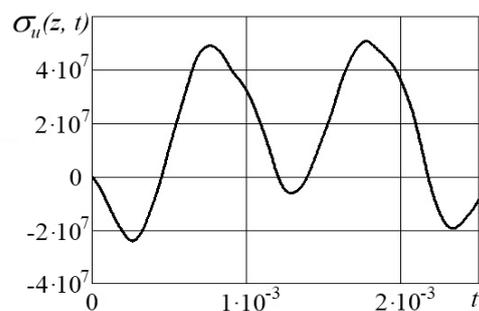
На рис. 2 показаны графики зависимости напряжений от времени в среднем сечении балки при шарнирной (а) и жесткой (б) связи балки с ударной массой, а также графики изменения напряжений в сечении  $z = l$  (в) при жесткой связи балки с массой. На графиках по оси абсцисс отложено время в секундах, а по оси ординат – напряжения в паскалях.

На этих графиках видно, что при шарнирной связи балки с ударной массой максимальные напряжения в среднем сечении составляют 68 МПа, при жесткой связи 51 МПа, т.е. на 25% меньше. Кроме этого, при жесткой связи возникают большие напряжения в соединении балки с ударной массой, которые достигают 325 МПа. В действительности они, конечно, меньше, поскольку резьбовое соединение, обладая определенной податливостью, снижает эти нагрузки.

Следует также обратить внимание на то, что при жестком соединении балки с массой в этом сечении преобладают высокочастотные составляющие напряжений, что отрицательно сказывается на усталостном сопротивлении конструкции разрушению.

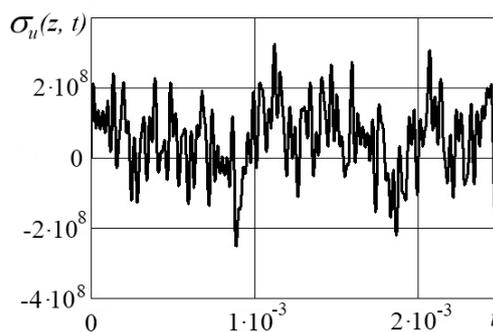


а)



б)

Рис. 2.



в)

Таким образом, проведенный расчет показывает, что жесткое соединение ударной массы с балкой недопустимо, поскольку в этом случае произойдет быстрое разрушение этого соединения. Шарнирное соединение обеспечивает уменьшение максимальных напряжений в балке примерно в 4,8 раз, но при таком соединении в процессе разгона коромысла ударная масса будет вращаться относительно оси крепления. В этом случае для обеспечения постоянных условий соударения ударная масса должна иметь форму шара.

Если ударная масса имеет иную форму, например форму цилиндра со сферической ударной поверхностью, то для гашения динамических нагрузок целесообразно вводить между балкой и ударной массой упругий элемент, например, рессоры. Однако такое решение усложняет конструкцию и требует дополнительного исследования с целью выбора оптимальных параметров упругого элемента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников Н.А. Собственные формы и частоты колебаний коромысловой ударной системы при различных связях бойка с коромыслом. Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы 5-й Международной конференции молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН. 2013. С. 231–235.
2. Еремьянц В.Э., Колесников Н.А. Колебания балки коромысловой ударной системы при её шарнирной связи с ударной массой. Теория машин и рабочих

- процессов. Сборник научных трудов. Бишкек: ИМАШ НАН КР. 2013. С. 131–135.
3. Еремьянц В.Э., Колесников Н.А. Колебания балки коромысловой ударной системы при её жесткой связи с ударной массой / В сб. Теория машин и рабочих процессов. Бишкек: ИМАШ НАН КР. 2013. С. 136–140.

## КОЛЕБАНИЯ ОСНАЩЕННОГО СТЕРЖНЯ ПОСЛЕ УДАРА ПО ЖЕСТКОЙ ПРЕГРАДЕ

Дроздова И.С.

тел.: 0772 14 76 00; e-mail: [drozdova92@gmail.com](mailto:drozdova92@gmail.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская  
Республика

В работах [1, 2] получено решение задачи об ударе оснащенным стержнем по жесткой преграде. Под оснащенным стержнем понимался упругий стержень, к которому с помощью упругих связей присоединены сосредоточенные массы, равномерно распределенные по его длине. Предложена оригинальная модель такого стержня с распределенными параметрами. При этом рассматривался период времени, в течение которого стержень находится в контакте с преградой.

В результате решения были получены зависимости от времени перемещений сечений центрального упругого стержня, перемещений сосредоточенных масс, присоединенных к стержню, усилий и напряжений в сечениях стержня, усилий и напряжений в упругих связях сосредоточенных масс со стержнем.

Перемещения сечений упругого стержня  $u_1(x,t)$  и сосредоточенных масс  $u_2(x,t)$ , где  $x$  – координата сечения,  $t$  – время, описываются формулами:

$$u_1(x,t) = \sum_{s=1}^{\infty} B_{s1} \cos \beta_s x [\sin p_{s1}t + C_s \sin p_{s2}t], \quad (1)$$

$$u_2(x,t) = \sum_{s=1}^{\infty} B_{s1} \lambda_{s1} \cos \beta_s x \left[ \sin p_{s1}t + \frac{\lambda_{s2}}{\lambda_{s1}} C_s \sin p_{s2}t \right], \quad (2)$$

а усилия в сечениях стержня  $P(x,t)$  и усилия в упругих связях  $F(x,t)$  – формулами:

$$P(x,t) = -ma^2 \sum_{s=1}^{\infty} B_{s1} \beta_s \sin \beta_s x [\sin p_{s1}t + C_s \sin p_{s2}t], \quad (3)$$

$$F(x,t) = c_0 \sum_{s=1}^{\infty} B_{s1} (1 - \lambda_{s1}) \cos \beta_s x \left[ \sin p_{s1}t - \frac{p_{s1}}{p_{s2}} \sin p_{s2}t \right], \quad (4)$$

где

$$B_{s1} = (-1)^s \frac{2V_0}{l} \cdot \frac{(1 - \lambda_{s2})}{\beta_s p_{s1} (\lambda_{s1} - \lambda_{s2})}, \quad B_{s2} = (-1)^s \frac{2V_0}{l} \cdot \frac{(\lambda_{s1} - 1)}{\beta_s p_{s2} (\lambda_{s1} - \lambda_{s2})}, \quad C_s = \frac{B_{s2}}{B_{s1}}.$$

$$\lambda_{s1} = 1 + \frac{a^2 \beta_s^2 - p_{s1}^2}{k^2}, \quad \lambda_{s2} = 1 + \frac{a^2 \beta_s^2 - p_{s2}^2}{k^2},$$

$$\beta_s = \frac{\pi(2s-1)}{2l}, \quad k^2 = \frac{c}{m}, \quad k_0^2 = \frac{c}{m_0}, \quad a^2 = \frac{E}{\rho}.$$

$E, \rho$  – соответственно модуль упругости и плотность материала стержня;  $m = \rho S$  – масса единицы длины центрального стержня;  $c$  – коэффициент жесткости связей сосредоточенных масс со стержнем на единичной длине стержня;  $c_0$  – коэффициент жесткости одной связи сосредоточенной массы со стержнем;  $S$  – площадь поперечного сечения стержня;  $m_0$  – величина сосредоточенной массы, приходящейся на единицу длины стержня. Знак минус в выражении (3) показывает, что в сечениях стержня действуют деформации сжатия.

Решение, полученное в предыдущих работах, справедливо до момента времени, пока в контактном сечении стержня и опоры не появятся деформации растяжения. Поскольку связь стержня с опорой неудерживающая, то деформаций растяжения в этом сечении быть не может и с момента их появления необходимо изменить граничные условия, считая оба торца стержня свободными.

Время  $T$ , соответствующее началу отхода стержня от опоры, находится из условия  $P(l, T) \geq 0$  или с учетом выражения (3):

$$\sum_{s=1}^{\infty} (-1)^{s-1} B_{s1} \beta_s [\sin p_{s1} T - C_s \sin p_{s2} T] \geq 0. \quad (5)$$

После отскока стержня от опоры граничные условия изменяются и принимают вид

$$X'(0) = 0, \quad X'(l) = 0. \quad (6)$$

При этом изменяется параметр  $\beta_s$ , зависящий от граничных условий. Он определяется как:

$$\bar{\beta}_s = \pi s / l, \quad s = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

Здесь и далее черта над обозначением параметра означает, что этот параметр соответствует собственным колебаниям стержня после его отскока от опоры.

Изменение параметра  $\beta_s$  приводит и к изменению собственных частот колебаний, которые находятся по формуле:

$$\bar{p}_s = \sqrt{\frac{1}{2}(a^2 \bar{\beta}_s^2 + k_0^2 + k^2)} \pm \sqrt{\frac{1}{4}(a^2 \bar{\beta}_s^2 + k_0^2 + k^2)^2 - a^2 \bar{\beta}_s^2 k_0^2}. \quad (8)$$

В табл. 1 представлены значения собственных частот, рассчитанные по формулам (7), (8) при следующих исходных данных:  $l = 0,37$  м;  $S = 11,341$  см<sup>2</sup>;  $m = 8,898$  кг/м;  $m_0 = 10,378$  кг/м;  $c = 11,136 \cdot 10^8$  Н/м<sup>2</sup>;  $c_0 = 6,438 \cdot 10^6$  Н/м;  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>;  $E = 20,7 \cdot 10^{10}$  Па.

Сравнение полученных результатов с результатами работы [3] показывает, что после отскока стержня от опоры частоты низшего спектра, связанные с колебаниями сосредоточенных масс, практически не изменились, а частоты высшего спектра, связанные с колебаниями самого стержня, увеличились. Причем это увеличение с ростом частот уменьшается. Например, первая частота высшего спектра после отскока стержня от опоры возросла в 1,8 раз, а восьмая – всего на 6,7%.

Таблица 1. Значения собственных частот колебаний стержня после его отскока от опоры

$s$	1	2	3	4	5	6	7	8
$\bar{\beta}_s$	8,491	16,982	25,472	33,963	42,454	50,945	59,436	67,926
$\bar{p}_{s1} \cdot 10^{-4}, c^{-1}$	1,002	1,027	1,032	1,034	1,035	1,035	1,035	1,035
$\bar{p}_{s2} \cdot 10^{-4}, c^{-1}$	4,509	8,793	13,13	17,48	21,83	26,18	30,54	34,90

Уравнение движения стержня после его отскока от опоры остается таким же, как и в работах [1–3], а его частные решения имеют вид:

$$u_{1s}(x, t) = \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \cos(\bar{p}_{s1}t + \bar{\varphi}_{s1}) + \bar{B}_{s2} \cos(\bar{p}_{s2}t + \bar{\varphi}_{s2}) \right], \quad (9)$$

$$u_{2s}(x, t) = \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \bar{\lambda}_{s1} \cos(\bar{p}_{s1}t + \bar{\varphi}_{s1}) + \bar{B}_{s2} \bar{\lambda}_{s2} \cos(\bar{p}_{s2}t + \bar{\varphi}_{s2}) \right]. \quad (10)$$

Постоянные интегрирования  $B$  и  $\varphi$ , входящие в это решение, определяются новыми начальными условиями, которые для частных решений записываются в виде:

$$u_{1s}(x, T) = B_{s1} \cos \beta_s x (\sin p_{s1}T + C_s \sin p_{s2}T), \quad (11)$$

$$u_{2s}(x, T) = B_{s1} \lambda_{s1} \cos \beta_s x \left( \sin p_{s1}T + \frac{\lambda_{s2}}{\lambda_{s1}} C_s \sin p_{s2}T \right), \quad (12)$$

$$\dot{u}_{1s}(x, T) = B_{s1} p_{s1} \cos \beta_s x \left( \cos p_{s1}T + \frac{p_{s2}}{p_{s1}} C_s \cos p_{s2}T \right), \quad (13)$$

$$\dot{u}_{2s}(x, T) = B_{s1} \lambda_{s1} p_{s1} \cos \beta_s x \left( \cos p_{s1}T + \frac{p_{s2} \lambda_{s2}}{p_{s1} \lambda_{s1}} C_s \cos p_{s2}T \right). \quad (14)$$

В результате решения получено:

$$u_1(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \cos[\bar{p}_{s1}(t-T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{B}_{s2} \cos[\bar{p}_{s2}(t-T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right], \quad (15)$$

$$u_2(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \bar{\lambda}_{s1} \cos[\bar{p}_{s1}(t-T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{B}_{s2} \bar{\lambda}_{s2} \cos[\bar{p}_{s2}(t-T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right], \quad (16)$$

где

$$\bar{B}_{s1} = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{p}_{s1} (\bar{\lambda}_{s2} - \bar{\lambda}_{s1})} \sqrt{\bar{p}_{s1}^2 (\bar{\lambda}_{s2} u_{1s}(x, T) - u_{2s}(x, T))^2 + (\bar{\lambda}_{s2} \dot{u}_{1s}(x, T) - \dot{u}_{2s}(x, T))^2},$$

$$\bar{B}_{s2} = \frac{\bar{Q}_s}{\bar{p}_{s2} (\bar{\lambda}_{s1} - \bar{\lambda}_{s2})} \sqrt{\bar{p}_{s2}^2 (\bar{\lambda}_{s1} u_{1s}(x, T) - u_{2s}(x, T))^2 + (\bar{\lambda}_{s1} \dot{u}_{1s}(x, T) - \dot{u}_{2s}(x, T))^2},$$

$$\cos \bar{\varphi}_{s1} = \left[ 1 + \frac{1}{\bar{p}_{s1}^2} \left( \frac{\bar{\lambda}_{s2} \dot{u}_{1s}(x, T) - \dot{u}_{2s}(x, T)}{\bar{\lambda}_{s2} u_{1s}(x, T) - u_{2s}(x, T)} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad \sin \bar{\varphi}_{s1} = \left[ 1 + \bar{p}_{s1}^2 \left( \frac{\bar{\lambda}_{s2} u_{1s}(x, T) - u_{2s}(x, T)}{\bar{\lambda}_{s2} \dot{u}_{1s}(x, T) - \dot{u}_{2s}(x, T)} \right)^2 \right]^{-1/2}.$$

$$\cos \bar{\varphi}_{s2} = \left[ 1 + \frac{1}{\bar{p}_{s2}^2} \left( \frac{\bar{\lambda}_{s1} \dot{u}_{1s}(x, T) - \dot{u}_{2s}(x, T)}{\bar{\lambda}_{s1} u_{1s}(x, T) - u_{2s}(x, T)} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad \sin \bar{\varphi}_{s2} = \left[ 1 + \bar{p}_{s2}^2 \left( \frac{\bar{\lambda}_{s1} u_{1s}(x, T) - u_{2s}(x, T)}{\bar{\lambda}_{s1} \dot{u}_{1s}(x, T) - \dot{u}_{2s}(x, T)} \right)^2 \right]^{-1/2}.$$

Усилия в упругих связях сосредоточенных масс со стержнем и усилия в сечениях стержня при этом описываются функциями:

$$F(x, t) = c_0 \sum_{s=1}^{\infty} \bar{B}_{s1} (1 - \bar{\lambda}_{s1}) \cos \bar{\beta}_s x \left[ \cos[\bar{p}_{s1}(t-T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \frac{(1 - \bar{\lambda}_{s2})}{(1 - \bar{\lambda}_{s1})} \bar{C}_s [\cos \bar{p}_{s2}(t-T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right],$$

$$P(x, t) = -ma^2 \sum_{s=1}^{\infty} \bar{B}_{s1} \bar{\beta}_s \sin \bar{\beta}_s x \left[ \cos[\bar{p}_{s1}(t - T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{C}_s \cos[\bar{p}_{s2}(t - T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right], \quad (17)$$

Дальнейшее решение связано с необходимостью прослеживания величины перемещения торца стержня, противоположного ударному, т.е.  $u_1(l, t)$ . При выполнении условия  $u_1(l, t) = 0$  необходимо вновь вернуться к прежним граничным условиям и продолжить решение задачи. При этом по сравнению с предыдущим решением в нем изменятся значения постоянных интегрирования  $B$  и  $\varphi$ .

Если время момента образования повторного контакта стержня с опорой обозначить через  $\theta$ , то начальные условия для последующего решения задачи будут иметь вид:

$$\begin{aligned} u_{1s}(x, \theta) &= \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \cos[\bar{p}_{s1}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{B}_{s2} \cos[\bar{p}_{s2}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right], \\ u_{2s}(x, \theta) &= \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \bar{\lambda}_{s1} \cos[\bar{p}_{s1}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{B}_{s2} \bar{\lambda}_{s2} \cos[\bar{p}_{s2}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right], \\ \dot{u}_{1s}(x, \theta) &= \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \bar{p}_{s1} \sin[\bar{p}_{s1}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{B}_{s2} \bar{p}_{s2} \sin[\bar{p}_{s2}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right], \\ \dot{u}_{2s}(x, \theta) &= \cos \bar{\beta}_s x \left[ \bar{B}_{s1} \bar{\lambda}_{s1} \bar{p}_{s1} \sin[\bar{p}_{s1}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s1}] + \bar{B}_{s2} \bar{\lambda}_{s2} \bar{p}_{s2} \sin[\bar{p}_{s2}(\theta - T) + \bar{\varphi}_{s2}] \right]. \end{aligned}$$

Решение уравнений движения при этих начальных условиях запишется как:

$$u_1(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x \left[ B_{s1} \cos[p_{s1}(t - \theta) + \varphi_{s1}] + B_{s2} \cos[p_{s2}(t - \theta) + \varphi_{s2}] \right], \quad (18)$$

$$u_2(x, t) = \sum_{s=1}^{\infty} \cos \beta_s x \left[ B_{s1} \lambda_{s1} \cos[p_{s1}(t - \theta) + \varphi_{s1}] + B_{s2} \lambda_{s2} \cos[p_{s2}(t - \theta) + \varphi_{s2}] \right]. \quad (19)$$

а усилия в сечениях стержня и в упругих связях определяются как:

$$P(x, t) = -ma^2 \sum_{s=1}^{\infty} B_{s1} \lambda_{s1} \beta_s \sin \beta_s x \left[ \cos[p_{s1}(t - \theta) + \varphi_{s1}] + \frac{\lambda_{s2}}{\lambda_{s1}} C_s \cos[p_{s2}(t - \theta) + \varphi_{s2}] \right], \quad (20)$$

$$F(x, t) = c_0 \sum_{s=1}^{\infty} B_{s1} (1 - \lambda_{s1}) \cos \beta_s x \left[ \cos[p_{s1}(t - \theta) + \varphi_{s1}] + \frac{(1 - \lambda_{s2})}{(1 - \lambda_{s1})} C_s \cos[p_{s2}(t - \theta) + \varphi_{s2}] \right],$$

где

$$\begin{aligned} B_{s1} &= \frac{Q_s}{p_{s1}(\lambda_{s2} - \lambda_{s1})} \sqrt{p_{s1}^2 (\lambda_{s2} u_{1s}(x, \theta) - u_{2s}(x, \theta))^2 + (\lambda_{s2} \dot{u}_{1s}(x, \theta) - \dot{u}_{2s}(x, \theta))^2}, \\ B_{s2} &= \frac{Q_s}{p_{s2}(\lambda_{s1} - \lambda_{s2})} \sqrt{p_{s2}^2 (\lambda_{s1} u_{1s}(x, \theta) - u_{2s}(x, \theta))^2 + (\lambda_{s1} \dot{u}_{1s}(x, \theta) - \dot{u}_{2s}(x, \theta))^2}, \\ \cos \varphi_{s1} &= \left[ 1 + \frac{1}{p_{s1}^2} \left( \frac{\lambda_{s2} \dot{u}_{1s}(x, \theta) - \dot{u}_{2s}(x, \theta)}{\lambda_{s2} u_{1s}(x, \theta) - u_{2s}(x, \theta)} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad \sin \varphi_{s1} = \left[ 1 + p_{s1}^2 \left( \frac{\lambda_{s2} u_{1s}(x, \theta) - u_{2s}(x, \theta)}{\lambda_{s2} \dot{u}_{1s}(x, \theta) - \dot{u}_{2s}(x, \theta)} \right)^2 \right]^{-1/2}, \\ \cos \varphi_{s2} &= \left[ 1 + \frac{1}{p_{s2}^2} \left( \frac{\lambda_{s1} \dot{u}_{1s}(x, \theta) - \dot{u}_{2s}(x, \theta)}{\lambda_{s1} u_{1s}(x, \theta) - u_{2s}(x, \theta)} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad \sin \varphi_{s2} = \left[ 1 + p_{s2}^2 \left( \frac{\lambda_{s1} u_{1s}(x, \theta) - u_{2s}(x, \theta)}{\lambda_{s1} \dot{u}_{1s}(x, \theta) - \dot{u}_{2s}(x, \theta)} \right)^2 \right]^{-1/2}. \end{aligned}$$

Если в процессе движения стержня вновь произойдет его отход от опоры, т.е. если будет выполняться условие  $P(l, t) \geq 0$ , свидетельствующее о появлении растягивающих усилий в контакте стержня и опоры, то необходимо вернуться к решениям (9), (10).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дроздова И.С. Колебания оснащенного стержня при ударе по жесткой преграде. /Наука. Техника. Инновации. Материалы Российской научной конференции молодых ученых. Новосибирск. НГТУ. 2012. С. 198 – 202.
2. Дроздова И.С. Напряженное состояние оснащенного стержня при ударе по жесткой преграде / Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы 5-й Международной конференции молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН. 2013. С. 235–239.
3. Еремьянц В.Э., Дроздова И.С., Муктарбекова Г.М. Расчет собственных форм и частот колебаний оснащенного стержня, описываемого различными моделями / Труды международной научной конференции «Современные проблемы механики сплошной среды». Бишкек: КГТУ. 2012. С. 374–378.

## ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАХ МАНИПУЛЯТОРА ОТБойНОГО АГРЕГАТА

Муктарбекова Г.М.

тел.: 0707 96-89-75; e-mail: [mmm.yo@mail.ru](mailto:mmm.yo@mail.ru).

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

При работе отбойных агрегатов с кривошипно-коромысловыми ударными механизмами (рис.1) часто происходит разрушение манипулятора, на который навешивается молот. Динамические нагрузки на элементы манипулятора зависят, кроме прочих факторов, от усилий прижатия молота к обрабатываемой поверхности. Поэтому одной из актуальных задач является исследование

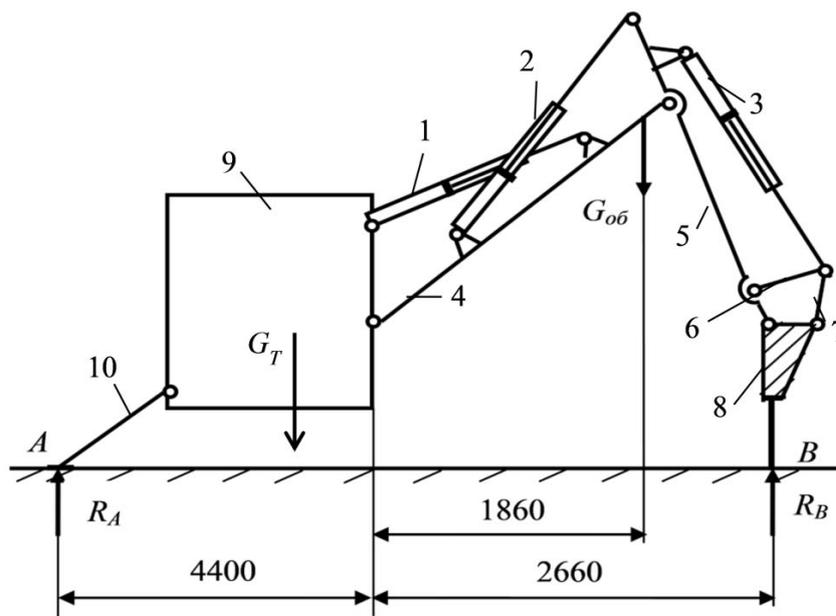


Рис. 1. Схема отбойного агрегата при минимальном вылете стрелы манипулятора.

взаимосвязи динамических нагрузок в манипуляторе отбойных машин от усилия прижатия молота с целью разработки рекомендаций по их уменьшению.

Усилие прижатия молота в различных положениях манипулятора различно и имеет максимальное значение, когда в процессе работы базовая машина опирается на две точки: инструмент, взаимодействующий с обрабатываемой поверхностью, и крайнюю опорную точку базовой машины. В рассматриваемом случае это нож отвала трактора МТЗ-80.

В работе [1] были определены максимальные значения усилия прижатия молота к обрабатываемой поверхности в зависимости от положения молота относительно базовой машины. При этом расчетная схема имела вид, показанный на рис. 1. В этой работе в значениях усилий была допущена опечатка. Скорректированные значения приведены в табл. 1, где под «положением молота» понимается расстояние между точкой крепления стрелы манипулятора и инструментом молота.

При определении реакций в кинематических парах и усилий в гидроцилиндрах учитывались силы тяжести звеньев манипулятора, которые прикладывались к центрам масс звеньев и имели следующие значения:  $G_1 = 765$  Н,  $G_2 = 523$  Н,  $G_3 = 523$  Н,  $G_4 = 1700$  Н,  $G_5 = 1200$  Н,  $G_6 = 80$  Н,  $G_7 = 80$  Н,  $G_8 = 4500$  Н,  $G_{об} = 12000$  Н,  $G_T = 50000$  Н. Здесь  $G_{об}$  - сила тяжести всего манипулятора,  $G_T$  - сила тяжести базовой машины.

Таблица 1.

Положение молота, мм	2660	3160	3480	4000	4160
$P$ , Н	26850	25560	24800	23700	23400

При расчетах применялись статические уравнения равновесия и графоаналитический метод определения реакций.

Для определения уравновешивающей силы в гидроцилиндрах заменяем один из гидроцилиндров реакцией, считая другие гидроцилиндры жесткими (рис. 2.). При этом на схеме «а» жестким и неподвижным считается звено 5, на схеме «б» - звено 4 и на схеме «в» - базовая машина. Заштрихованные фигуры на этих

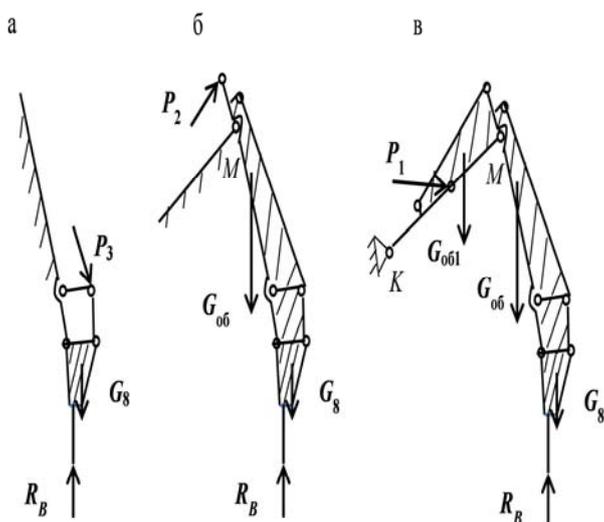


Рис. 2. Расчетные схемы звеньев манипулятора для определения уравновешивающей силы в гидроцилиндрах.

рисунках считаются одним жестким звеном.

Для схемы «а» сила  $P_3$  находится методом Жуковского как сила, уравнивающая все остальные известные силы. Для этого строится план скоростей точек группы звеньев, показанных на схеме «а». Затем он поворачивается на 90 градусов, и все силы, действующие на звенья, переносятся параллельно самим себе в одноименные точки плана скоростей. Составляется уравнение моментов всех сил относительно полюса плана, из которого находится неизвестная сила  $P_3$ .

Для схем «б» и «в» (рис. 2) неизвестные усилия  $P_2$  и  $P_1$  находятся с использованием уравнения суммы моментов сил относительно точек  $M$  и  $K$ .

Результаты расчета усилий в гидроцилиндрах для двух крайних положений манипулятора представлены в табл. 2. Там же указаны расхождения в результатах, полученных для крайних положений.

Из этой таблицы видно, что наибольшие усилия возникают в гидроцилиндре стрелы манипулятора 1 (рис. 1), а наименьшие – в гидроцилиндре поворота молота 3. Они отличаются на порядок. При максимальном вылете стрелы манипулятора усилия в гидроцилиндрах 1 и 3 на 17–20% больше, чем при минимальном. Усилия в гидроцилиндре поворота рукояти 2 с увеличением вылета стрелы от минимального до максимального положения возрастает в 1,85 раз. Но следует отметить, что эта цифра нуждается в уточнении.

Таблица 2.

Усилия в гидроцилиндрах, $H$		$P_1$	$P_2$	$P_3$
Вылет стрелы манипулятора	Минимальный (min)	83083	26991	2175
	Максимальный (max)	96891	77031	2594
Расхождение %		16,6	185	19,3

Из результатов расчета можно сделать вывод, что для снижения максимальных усилий в гидроцилиндрах целесообразно работать при малых вылетах стрелы манипулятора, т.е. при расположении молота как можно ближе к базовой машине.

Далее с учетом найденных сил  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  проведен расчет реакций в кинематических парах звеньев манипулятора при указанных крайних положениях. Расчет проводился графоаналитическим методом кинестатики.

Полученные результаты приведены в табл. 3. Индексы в условных обозначениях реакций показывают, какие звенья по номерам связаны данной кинематической парой. Например,  $R_{94}$  - это реакция, действующая со стороны звена 9 (стойки базовой машины, рис.1)) на звено 4 (стрелу манипулятора).

Таблица 3.

Реакции, $H$		$R_{94}$	$R_{45}$	$R_{56}$	$R_{67}$	$R_{68}$
Вылет стрелы	Минимальный	144564	46335	21480	21480	24100
	Максимальный	160481	73176	23197	23198	26452
Расхождение, %		11	58	8	8	10

Из данных табл. 3 следует, что наибольшие нагрузки возникают в кинематической паре, соединяющей стрелу с основанием базовой машины. Затем по величине следуют нагрузки в кинематической паре стрелы с рукоятью. Нагрузки в кинематических парах соединения молота с рукоятью ( $R_{56}$ ,  $R_{67}$ ,  $R_{68}$ ) примерно одинаковы.

С увеличением вылета стрелы манипулятора от минимального до максимального значения нагрузки в кинематических парах  $R_{94}$ ,  $R_{56}$ ,  $R_{67}$ ,  $R_{68}$  возрастают незначительно, на 8-11 %, в то время как в кинематической паре стрелы с рукоятью это возрастание достигает почти 60%.

Отсюда следует вывод, что положение манипулятора влияет главным образом на усилия в соединении стрелы с рукоятью. Это подтверждается и практикой. Это соединение наиболее часто выходит из строя, и вблизи него часто происходит поломка рукояти.

Следующей задачей в развитии этого направления является задача определения реакций в кинематических парах при работе молота, т. е. при динамических нагрузках.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Муктарбекова Г.М. Влияние положения манипулятора отбойного агрегата на максимальное усилие прижатия молота к обрабатываемой поверхности / Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы 5-й международной конференции молодых ученых. Бишкек: Научная станция РАН. 2013. С. 239–242.

### **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПОДАТЛИВОСТИ КОРОБА НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТИ ШАРА ПРИ УДАРЕ ПО ЕГО ПОВЕРХНОСТИ**

Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э.

тел.: 0543 900 527; e-mail: [termex21@mail.ru](mailto:termex21@mail.ru), [eremjants@inbox.ru](mailto:eremjants@inbox.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская  
Республика

При проектировании машин ударного действия различного назначения необходимо знать коэффициент восстановления скорости бойка ударной машины после удара. Этот показатель влияет на режим работы машины, поскольку определяет начальные условия движения бойка после удара. В связи с этим в работах [1 – 3] проводились экспериментальные исследования коэффициента восстановления скорости бойка в отбойных молотках и бетоноломах при взаимодействии их инструментов с различными горными породами и строительными материалами.

Расширение областей применения виброударной техники и технологий привело к появлению и развитию нового направления в технике, связанного с механизацией процессов очистки внутренних поверхностей труб, кузовов, приемных бункеров сыпучих сред от различного рода отложений. Проектирование виброударных машин для этих целей требовало знания коэффициента восстановления скорости бойка после удара по инструменту, взаимодействующему с обрабатываемой поверхностью пластины или оболочки.

Первой работой в этом направлении была работа [5], в которой изложены результаты экспериментов, полученные при ударе бойком по инструменту, опирающемуся на полку швеллера и на пластину. Швеллер имел толщину полки 5 мм, ширину 200 мм и длину 550 мм. Предполагалось, что полку швеллера можно

рассматривать как пластину, защемленную по двум противоположным сторонам. Твердость поверхности полки составляла 78–80 HRB. Пластина имела толщину 5 мм и размеры в плане 206×406 мм. Она опиралась на ребра по двум коротким сторонам, две другие стороны были свободны. Расстояние между опорами равнялось 208 мм. Твердость поверхности пластины 68–70 HRB.

При таких параметрах изгибная жесткость пластины была примерно вдвое меньше изгибной жесткости полки швеллера.

В экспериментах использовались два типа бойков с диаметром 43 мм и массами 0,533 и 1,004 кг. Ударный торец обоих бойков сферический, с радиусом сферы 50 мм. Инструмент имел диаметр 22 мм, массу 0,429 кг. Торцец инструмента, опирающийся на пластину, сферический с радиусом сферы 40 мм. Твердость ударных поверхностей бойков и инструмента 51–52 HRC.

Полученные результаты показали, что для обоих типов бойков при использовании инструмента с меньшей массой уменьшение изгибной жесткости пластины в два раза приводит к возрастанию коэффициента восстановления скорости бойка в 1,5 раза.

В то же время в работе [1] отмечается, что твердость поверхностей пластины и швеллера после 30 – 40 ударов изменялась незначительно – на 2 HRB, что свидетельствует о несущественном влиянии пластических деформаций поверхностей на полученные результаты. Но при этом трудно объяснить, за счет чего изменяется коэффициент восстановления ударяющего тела.

Можно предполагать, что это связано как раз с расходом энергии на пластические деформации. Чем больше конструкционная жесткость, тем больше контактные силы и больше пластические деформации в контакте инструмента с пластиной. На эти пластические деформации расходуется часть начальной энергии ударяющего тела и, вследствие этого, скорость отскока ударяющего тела уменьшается.

Такое предположение было основано на экспериментальных исследованиях, изложенных авторами данной статьи в работе [6]. В этих исследованиях было установлено, что при сбрасывании шара на поверхность короба в её центральной зоне коэффициент восстановления скорости шара существенно зависит от скорости удара. При малых скоростях – порядка 0,6 – 0,7 м/с – этот коэффициент равен 0,90 – 0,95. При этом контактные пластические деформации на поверхности короба пренебрежимо малы. С увеличением скорости удара до 3,1 м/с контактные пластические деформации возрастают, а коэффициент восстановления скорости шара уменьшается до 0,65 – 0,67.

В продолжение этих исследований в лаборатории «Динамика машин» кафедры «Механика» Кыргызско-Российского Славянского университета были проведены экспериментальные исследования коэффициента восстановления скорости шара при ударе в различных точках поверхности короба, имеющих различную конструкционную податливость.

Конструкции используемого для этого экспериментального стенда и размеры короба показаны на рис. 1. Стенд состоял из направляющей трубы 1, устанавливаемой на короб 3 и выставляемой строго вертикально с помощью треноги 2. С верхнего края трубы на поверхность короба сбрасывался шар диаметром 27 мм. Твердость поверхности шара составляла 65 HRC. Поверхность короба, по которой наносился удар, имела твердость 64 – 68 HRB. Для определения высоты отскока шара после удара в трубе сделана прорезь и нанесена шкала с ценой деления 1 мм. Отскок шара регистрировался с помощью цифровой видеокамеры SONY DCR-DVD 308. Запись с видеокамеры

переводилась на компьютер и далее пошаговым просмотром этой записи определялась высота отскока шара после каждого удара.

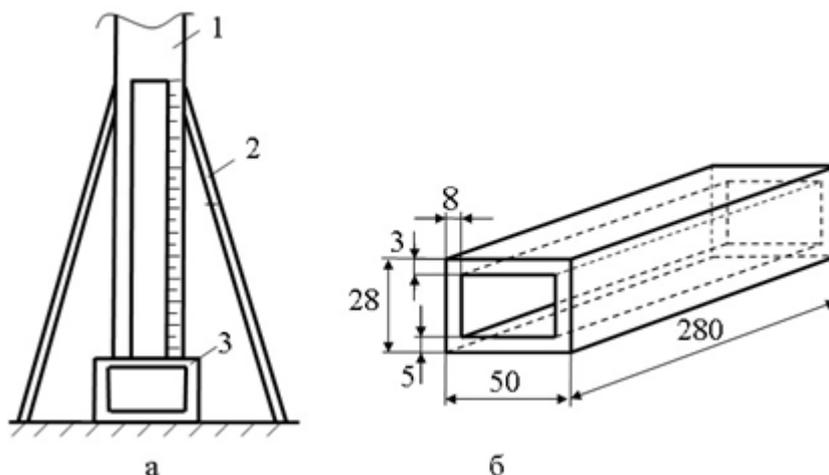


Рис. 1. Экспериментальный стенд (а) и конструкция короба (б).

По результатам этих опытов вычислялся коэффициент восстановления скорости шара:

$$R = -V_+ / V_- = \sqrt{h/H},$$

где  $V_-$ ,  $V_+$  – соответственно скорости шара до и после удара;  $H$  и  $h$  – соответственно высота падения и высота отскока шара.

Для оценки влияния конструкционной жесткости короба на коэффициент восстановления скорости шара при ударе были проведены эксперименты, в которых удары наносились в различных точках поверхности короба. Всего было проведено 90 опытов при сбрасывании шара с высоты 490 мм.

Статистическая обработка полученных результатов показала, что граничные условия на свободных сторонах короба влияют на коэффициент восстановления только вблизи этих сторон на расстоянии менее 50 мм от них. На основе этих результатов построена диаграмма изменения коэффициента  $R$  вдоль поперечной оси короба при ударе по его поверхности в средней зоне (рис. 2).

Из этого рисунка видно, что коэффициент восстановления скорости шара имеет наибольшее значение, равное 0,66, при ударе шаром посередине пластины. По мере приближения точки удара к жесткому краю пластины коэффициент восстановления уменьшается до 0,25 – 0,29, т.е. в 2,3 – 2,6 раз.

Это связано с тем, что в различных точках поверхности короба её конструкционная податливость разная. У краев поверхности над ребрами жесткости эта податливость наименьшая, а в центральной части поверхности – наибольшая.

На участках пластины, расположенных над ребрами жесткости, коэффициент восстановления не зависит от граничных условий на свободных краях пластины. Но над одним из ребер он был в среднем на 10 – 12% меньше, чем над другим. Это свидетельствует о неравномерной твердости поверхности пластины, которая может быть вызвана условиями её нагрева и охлаждения при сварке с ребрами.

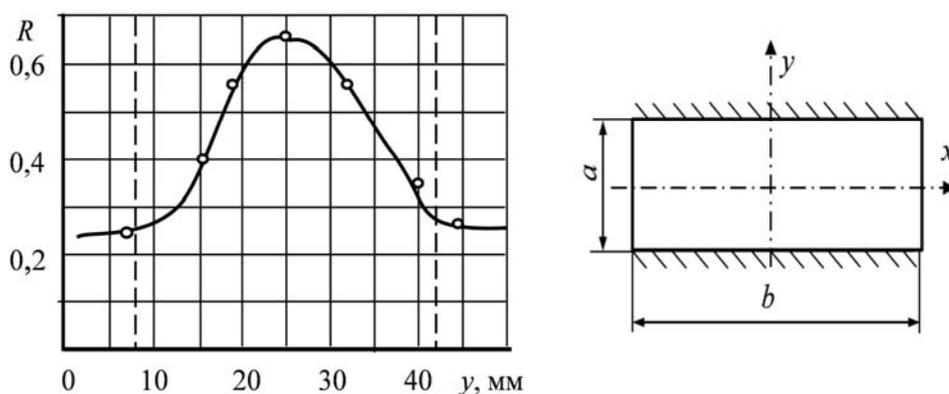


Рис. 2. Графики зависимости коэффициента восстановления скорости шара от координаты точки удара в центральной зоне поверхности короба (кривая 1) и у свободного края (кривая 2).

Во всех опытах после удара на поверхности пластины оставались отпечатки, вызванные пластической деформацией поверхности. Над ребрами жесткости диаметр этих отпечатков составлял 2,4 – 2,6 мм, при среднем значении 2,5 мм. В центральной зоне поверхности вдоль продольной оси  $x$  диаметр остаточных отпечатков изменялся в диапазоне от 2,05 до 2,25 мм при среднем значении 2,15 мм.

Таким образом, полученные результаты подтверждают высказанное предположение, что коэффициент восстановления скорости шара при ударе связан с конструкционной податливостью поверхности короба через затраты энергии на пластические контактные деформации.

В средней части короба за счет большой податливости происходит прогиб пластины, при этом часть энергии расходуется на изгибную деформацию пластины, контактные усилия при этом уменьшаются. Следовательно, уменьшаются и пластические деформации. Часть энергии, затраченной на изгибную деформацию пластины, затем вновь возвращается к шару. В данном случае пластина работает как пружина.

Над ребрами жесткости прогиба пластины нет. При этом контактные усилия и пластические деформации, на которые расходуется начальная энергия шара, больше, чем в центре пластины. Это приводит к уменьшению скорости отскока шара.

Задачей дальнейшей работы является установление взаимосвязи коэффициента восстановления скорости шара с конструкционной податливостью пластины, выраженной в виде аналитических функций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никишин Н.И. Отскок бойка и влияние его на работу отбойных молотков и бетоноломов / Труды ВНИИСтройдормаш. Т. XXX: Исследование и расчет ударных механизмов. М. 1961.
2. Горбунов В.Ф., Бабуров В.И., Жартовский Г.С., Опарин Ю.А., Триханов А.В. Ручные пневматические молотки. М.: Машиностроение. 1967.

3. Еремьянц В.Э., Султаналиев Б.С. Результаты исследования коэффициента отскока бойка отбойного молотка / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. № 2. 2004. С. 76 – 81.
4. Закаблукровский Н.Г., Покровский Г.Н., Серпенинов Б.Н. О влиянии скорости нагружения, соотношения масс и скорости бойка и волновода на эффективность передачи энергии удара // Передача удара и машины ударного действия. Сб. научных трудов. Новосибирск: ИГД СО АН СССР. 1976.
5. Еремьянц В.Э., Дандыбаев Е.С., Умербеков Т.Д. Отскок бойка при ударе по волноводу, взаимодействующему со стальной пластиной // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. № 2. 2005. С. 79 – 85.
6. Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э. Коэффициент восстановления скорости шара при ударе по поверхности короба / Материалы Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: Наука. Технологии. Инновации. Новосибирск: НГТУ. 2013.

### **ВЛИЯНИЕ КООРДИНАТ ПРИЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ НА ПОДАТЛИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КОРОБА**

Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э., Панова Л.Т.

тел.: 0543 900 527; e-mail: [termex21@mail.ru](mailto:termex21@mail.ru) , [eremjants@inbox.ru](mailto:eremjants@inbox.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В предыдущей статье [1] при исследовании коэффициента восстановления скорости шара при ударе по поверхности короба было установлено, что он зависит от координаты точки удара. Так, например, при ударе по жесткому краю внешней поверхности короба коэффициент восстановления существенно ниже, а пластические деформации поверхности больше, чем при ударе по центру этой поверхности. Очевидно, что это связано с конструкционной податливостью поверхности короба.

Для установления этой взаимосвязи перед данной работой была поставлена задача определения относительной податливости поверхности короба в различных её точках.

Известно, что податливость механической системы в какой либо точке определяется как величина перемещения этой точки под действием приложенной к ней единичной силы. Прогиб пластины в точке с координатами  $x, y$  определяется по формуле [2, 3] :

$$w(x, y, t) = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{W_{ij}(x, y) \cdot W_{ij}(x_0, y_0)}{\omega_{ij} \iint_S W_{ij}^2(x, y) dx dy} \int_0^t P(\theta) \sin[\omega_{ij}(t - \theta)] d\theta \quad (1.1)$$

$$i = 1, 2, 3 \dots; \quad j = 1, 2, 3 \dots$$

где  $W(x, y)$  – собственная форма колебаний;  $\omega_{ij}$  – собственная частота колебаний;  $m_0$  – масса одного квадратного метра пластины,  $m_0 = \rho \delta$ ;  $\rho$  – плотность материала пластины;  $\delta$  – толщина пластины;  $P(\theta)$  – внешняя сила, действующая на пластину в точке с координатами  $x_0, y_0$ ;  $\theta$  – время от начала действия внешней силы;  $t$  – текущее время.

Принимая в этой формуле  $P(\theta) = 1$  после вычисления интеграла получим:

$$w(x, y, t) = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{W_{ij}(x, y) \cdot W_{ij}(x_0, y_0)}{\omega_{ij}^2 \iint_S W_{ij}^2(x, y) dx dy} (1 - \cos \omega_{ij} t) . \quad (1.2)$$

Если вычислять прогиб в точке приложения силы, то  $W_{ij}(x, y) = W_{ij}(x_0, y_0)$ , и вместо (1.2) можно записать

$$w(x_0, y_0, t) = \frac{1}{m_0} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{W_{ij}^2(x_0, y_0)}{\omega_{ij}^2 \iint_S W_{ij}^2(x, y) dx dy} (1 - \cos \omega_{ij} t) . \quad (1.3)$$

Величина прогиба, определяемого по формуле (1.3), является податливостью поверхности пластины в точке с координатами  $x_0, y_0$ .

Найдем собственные частоты и формы колебаний, входящие в это выражение. Поверхность короба, по которой наносился удар шаром при проведении экспериментов [1], представляла собой пластину толщиной 3 мм с размерами в плане 50×280 мм, которая опиралась вдоль длинных сторон на боковые ребра толщиной 8 мм. С учетом этого расчетная схема пластины имела вид, показанный на рис. 1. В этой схеме  $a = 34$  мм,  $b = 280$  мм.

Для определения собственных форм и частот колебаний пластины, защемленной по двум противоположным сторонам и свободной по двум другим, использовался метод, предложенный в работе [3]. В соответствии с этим методом формы колебаний представляются в виде:

$$W_{ij}(x, y) = C_0 \cos(\gamma_{1j} y) \cos(\gamma_{2i} x) + C_1 \exp[-\alpha_{1ij}(0, 5a \pm y)] \cos(\gamma_{2i} x) + C_2 \exp[-\alpha_{2ij}(0, 5b \pm x)] \cos(\gamma_{1j} y). \quad (1.4)$$

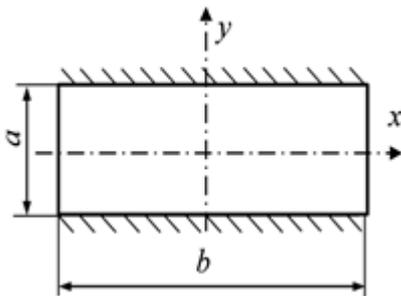


Рис. 1.

где  $\gamma_1 = \pi / \Lambda_y$ ,  $\gamma_2 = \pi / \Lambda_x$ ,  $\Lambda_x, \Lambda_y$  – длины полуволн вдоль соответствующих осей; знак минус в экспоненциальных функциях соответствует положительным направлениям осей  $x, y$ , а знак плюс – отрицательным.

$$C_1 = -C_0 \cos 0,5\gamma_{1j} a, \quad C_2 = C_0 \Theta_{ij} \cos 0,5\gamma_{2i} b, \quad (1.5)$$

$$\alpha_{1ij} = \sqrt{2\gamma_{2i}^2 + \gamma_{1j}^2} \quad \alpha_{2ij} = \sqrt{\gamma_{2i}^2 + 2\gamma_{1j}^2}, \quad (1.6)$$

$$\Theta_{ij} = \frac{v_{ij}^2 + \mu}{v_{ij}^2 + 2 - \mu}, \quad v_{ij} = \frac{\gamma_{2i}}{\gamma_{1j}}, \quad (1.7)$$

$\mu$  – коэффициент Пуассона.

Собственные частоты колебаний определяются по формуле:

$$\omega_{ij} = \alpha_{ij}^2 \sqrt{D / m_0}, \quad (1.8)$$

где

$$\alpha_{ij}^2 = \alpha_{1(ij)}^2 + \alpha_{2(ij)}^2, \quad D = \frac{E \delta^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (1.9)$$

$E$  – модуль упругости материала пластины.

Частотные уравнения при двух защемленных противоположных сторонах пластины и свободных двух других сторонах имеют вид [3]:

$$\operatorname{tg} 0,5\gamma_{1j} a = \sqrt{1 + 2v_{ij}^2}, \quad \operatorname{tg} 0,5\gamma_{2i} b = -\Theta_{ij}^2 \sqrt{1 + \frac{2}{v_{ij}^2}}. \quad (1.10)$$

В работе [3] предложена следующая методика определения параметров  $\gamma_{1j}$ ,  $\gamma_{2i}$ . Вначале определяется низшая собственная частота системы. Для этого вводится коэффициент формы пластины, равный отношению её сторон ( $k = b/a$ ), и записывается следующее соотношение, полученное из частотных уравнений системы

$$k = \frac{2 \left[ \operatorname{arctg} \left( -\Theta_{11}^2 \sqrt{1 + (2/v_{11}^2)} \right) + \pi \right]}{v_{11} \gamma_{11} a}. \quad (1.11)$$

Задаваясь значениями  $\gamma_{11}$ , вычисляя по формулам (1.7)  $v_{11}$ ,  $\Theta_{11}$ , можно подобрать значения  $\gamma_{11}$ ,  $v_{11}$ , а затем и  $\gamma_{21}$ , удовлетворяющие заданному отношению сторон пластины. Определив эти значения, можно по формулам (1.5) – (1.7) рассчитать коэффициенты, определяющие форму колебаний (1.4), а по формуле (1.8) найти собственные частоты колебаний пластины.

Расчеты, выполненные по этой методике при указанных размерах пластины, и исходных данных:  $E = 20,4 \cdot 10^{10}$  Па,  $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu = 0,3$ ,  $k = 8,2353$  показали, что условию (1.10) удовлетворяют следующие значения параметров  $\gamma_{11}$  и  $\gamma_{21}$ :

$$\gamma_{11} = 137,9886 = 1,4934 \frac{\pi}{a}, \quad \gamma_{21} = 20,0995 = 1,7914 \frac{\pi}{b}. \quad (1.11)$$

При этом в соответствии с формулами (1.6) – (1.9):

$$\alpha_{1(11)} = 140,886 \text{ м}^{-1}; \quad \alpha_{2(11)} = 196,18 \text{ м}^{-1}; \quad \Theta_{11} = 0,1866;$$

$$\alpha_{11}^2 = 19445 \text{ м}^{-2}; \quad m_0 = 23,55 \text{ кг} / \text{м}; \quad \sqrt{D/m_0} = 4,628 \text{ м}^2 / \text{с}, \quad \omega_{11} = 90 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

Учитывая периодичность частотных функций (1.10), последующие значения параметров  $\gamma_{ij}$  определяются по формулам:

$$\gamma_{1j} = \frac{2\pi}{a} (j - 0,2533). \quad \gamma_{2i} = \frac{2\pi}{b} (i - 0,1043) \quad (1.12)$$

В формуле (1.3) двойной интеграл, стоящий в знаменателе, умноженный на интенсивность массы  $m_0$ , представляет собой обобщенную массу системы при данной форме колебаний, т.е.

$$M_{ij} = m_0 \int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} W_{ij}^2(x, y) dx dy.$$

Возводя функцию (1.4) в квадрат, получим подынтегральное выражение, состоящее из шести слагаемых. Обозначая интегралы от каждого слагаемого через  $I_s$  и принимая  $C_1/C_0 = C_{10}$ ,  $C_2/C_0 = C_{20}$ , запишем:

$$\int_{-a/2}^{a/2} \int_{-b/2}^{b/2} W_{ij}^2(x, y) dx dy = C_0^2 (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6), \quad (1.13)$$

где

$$I_1 = \iint \cos^2(\gamma_{1j} y) \cos^2(\gamma_{2i} x) dy dx,$$

$$I_2 = 2C_{10} \iint \exp[-\alpha_{1(ij)}(0, 5a - y)] \cos(\gamma_{1j} y) \cos^2(\gamma_{2i} x) dy dx,$$

$$I_3 = 2C_{20} \iint \exp[-\alpha_{2(ij)}(0, 5b - x)] \cos(\gamma_{2i} x) \cos^2(\gamma_{1j} y) dy dx,$$

$$I_4 = C_{10}^2 \iint \exp[-2\alpha_{1(ij)}(0, 5a - y)] \cos^2(\gamma_{2i} x) dy dx,$$

$$I_5 = 2C_{10}C_{20} \iint \exp[-\alpha_{1(ij)}(0,5a-y) \cos(\gamma_{1j}y) \exp[-\alpha_{2(ij)}(0,5b-x) \cos(\gamma_{2i}x) dydx$$

$$I_6 = C_{20}^2 \iint \exp[-2\alpha_{2(ij)}(0,5b-x) \cos^2(\gamma_{1j}y) dydx.$$

Вычисляя интегралы, найдем:

$$I_1 = \frac{1}{4} \left( b + \frac{1}{\gamma_{2i}} \sin(\gamma_{2i}b) \right) \left( a + \frac{1}{\gamma_{1j}} \sin(\gamma_{1j}a) \right), \quad (1.14)$$

$$I_2 = \frac{C_{10}}{2\alpha_{ij}^2} \left( b + \frac{1}{\gamma_{2i}} \sin(\gamma_{2i}b) \right) \left[ \alpha_{1(ij)} (1 - \exp(-\alpha_{1(ij)}a)) \cos(0,5\gamma_{1j}a) + \right. \\ \left. + \gamma_{1j} (1 + \exp(-\alpha_{1(ij)}a)) \sin(0,5\gamma_{1j}a) \right],$$

$$I_3 = \frac{C_{20}}{2\alpha_{ij}^2} \left( a + \frac{1}{\gamma_{1j}} \sin(\gamma_{1j}a) \right) \left[ \alpha_{2(ij)} (1 - \exp(-\alpha_{2(ij)}b)) \cos(0,5\gamma_{2i}b) + \right. \\ \left. + \gamma_{2i} (1 + \exp(-\alpha_{2(ij)}b)) \sin(0,5\gamma_{2i}b) \right],$$

$$I_4 = \frac{C_{10}^2}{4\alpha_{1(ij)}} \left( b + \frac{1}{\gamma_{2i}} \sin(\gamma_{2i}b) \right) (1 - \exp(-2\alpha_{1(ij)}a)), \quad (1.15)$$

$$I_5 = \frac{C_{10}C_{20}}{2\alpha_{ij}^4} \left[ \alpha_{1(ij)} (1 - \exp(-\alpha_{1(ij)}a)) \cos(0,5\gamma_{1j}a) + \right. \\ \left. + \gamma_{1j} (1 + \exp(-\alpha_{1(ij)}a)) \sin(0,5\gamma_{1j}a) \right] \times \\ \times \left[ \alpha_{2(ij)} (1 - \exp(-\alpha_{2(ij)}b)) \cos(0,5\gamma_{2i}b) + \gamma_{2i} (1 + \exp(-\alpha_{2(ij)}b)) \sin(0,5\gamma_{2i}b) \right], \\ I_6 = \frac{C_{20}^2}{4\alpha_{2(ij)}} \left( a + \frac{1}{\gamma_{1j}} \sin(\gamma_{1j}a) \right) (1 - \exp(-2\alpha_{2(ij)}b)).$$

В этих выражениях коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  определяются из соотношений (1.5). Определив отдельные интегралы и подставляя их в (1.13), найдем общий интеграл, стоящий в знаменателе.

Дальнейший анализ полученных формул проводился при  $j = 1$  и  $i = 1 \dots 7$ . Такой интервал изменения  $i$  был принят в связи с тем, что при  $i = 6$  период колебаний в волнах, распространяющихся вдоль оси  $x$  примерно равен периоду колебаний волны с низшей частотой, распространяющейся вдоль оси  $y$ .

При этом постоянные значения имеют следующие величины:

$$j = 1, \quad \gamma_{11} = 138 \text{ м}^{-1}, \quad \gamma_{11}^2 = 19041 \text{ м}^{-2}, \quad C_1 = -0,6997 \text{ м}, \quad \sqrt{D/m_0} = 4,628 \text{ с}^{-1}, \\ \cos(0,5\gamma_{11}a) = -0,6997, \quad \sin(0,5\gamma_{11}a) = 0,7144, \quad \cos(\gamma_{11}a) = 0, \quad \sin(\gamma_{11}a) = -1, \\ \cos(0,5\gamma_{2i}b) = (-1)^i \cdot 0,947, \quad \sin(0,5\gamma_{2i}b) = (-1)^{i-1} \cdot 0,322, \quad \sin(\gamma_{2i}b) = -0,609.$$

В табл. 1. представлены значения параметров рассматриваемой системы, а также значения собственных частот, отдельных интегралов, общего интеграла обобщенной массы и знаменателя выражения (1.3).

Таблица 1. Результаты расчета параметров системы.

$i$	1	2	3	4	5	6	7
$\gamma_{2i}, \text{м}^{-1}$	20,10	42,54	64,98	87,42	109,86	132,3	154,7
$\alpha_{1(ij)}, \text{м}^{-1}$	140,9	150,5	165,8	185,3	207,8	232,5	258,7
$\alpha_{2(ij)}, \text{м}^{-1}$	196,2	199,7	205,7	213,8	224,0	235,8	249,1
$\alpha_{ij}^2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-2}$	19,455	20,851	23,264	26,683	31,110	36,544	42,990
$\nu_{ij}^2$	0,0212	0,0950	0,2217	0,4013	0,6338	0,9192	1,2575
$\Theta_{ij}$	0,1866	0,2201	0,2715	0,3338	0,400	0,4655	0,5266
$\omega_{ij} \cdot 10^{-3}, \text{с}^{-1}$	<b>90,0</b>	<b>96,5</b>	<b>107,7</b>	<b>123,5</b>	<b>144,0</b>	<b>169,1</b>	<b>198,9</b>
$C_{20}$	-0,1786	0,2084	-0,2571	0,3161	-0,3788	0,4408	-0,4987
$I_1 \cdot 10^5, \text{м}^2$	167,5	177,95	181,32	182,93	183,9	184,5	185,0
$I_2 \cdot 10^5, \text{м}^2$	-0,69	2,48	6,76	10,99	14,41	16,83	18,54
$I_3 \cdot 10^5, \text{м}^2$	2,21	2,35	2,50	2,77	2,88	2,92	2,89
$I_4 \cdot 10^5, \text{м}^2$	21,71	21,62	19,98	18,04	16,17	14,50	13,06
$I_5 \cdot 10^5, \text{м}^2$	-0,004	0,016	0,048	0,083	0,113	0,132	0,144
$I_6 \cdot 10^5, \text{м}^2$	0,109	0,146	0,241	0,313	0,429	0,552	0,644
$\sum I_s \cdot 10^5, \text{м}^2$	<b>190,83</b>	<b>204,56</b>	<b>210,75</b>	<b>215,13</b>	<b>217,90</b>	<b>219,43</b>	<b>220,23</b>
$\nu_{ij}^2 \sum I \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}^2$	<b>15,45</b>	<b>19,05</b>	<b>24,44</b>	<b>32,81</b>	<b>45,18</b>	<b>62,75</b>	<b>87,13</b>

Из этой таблицы видно, что в рассматриваемом случае обобщенная масса определяется в основном первым (1.14) и четвертым (1.15) интегралом, входящим в сумму (1.13). Остальные интегралы пренебрежимо малы. С увеличением номера формы колебаний обобщенная масса возрастает.

Из результатов расчета следует также, что экспоненциальный член в третьем слагаемом функции (1.4) на расстоянии, равном  $0,1b$  от свободного края пластины, пренебрежимо мал и составляет менее 0,0007.

Поэтому при определении податливости поверхности короба в зоне, удаленной от свободных краев более чем на  $0,1b$ , третьим слагаемым в выражении (1.4) можно пренебречь. Принимая при этом  $x = 0$ , получим для первой – главной формы колебаний вдоль положительной полуоси  $y$ , проходящей через центр пластины:

$$W_{11}(0, y) = C_0 [\cos(138y) + 0,7 \exp(-140,9(0,017 - y))] . \quad (1.16)$$

Податливость поверхности короба при данной форме колебаний с точностью до постоянного множителя  $C_0$  определится из (1.3) как

$$w(0, y_0) = \frac{1}{m_0} \frac{W_{11}^2(0, y_0)}{\omega_{11}^2 \iint_S W_{11}^2 dx dy} (1 - \cos \omega_{11} t) .$$

Результаты расчета коэффициента податливости вдоль оси  $y$  в центре пластины при первой форме колебаний в момент достижения максимального прогиба ( $t = 2\pi/\omega_{11}$ ) приведены на рис. 2 (кривая 1). Вторая и третья формы колебаний вдоль этой оси пренебрежимо малы.

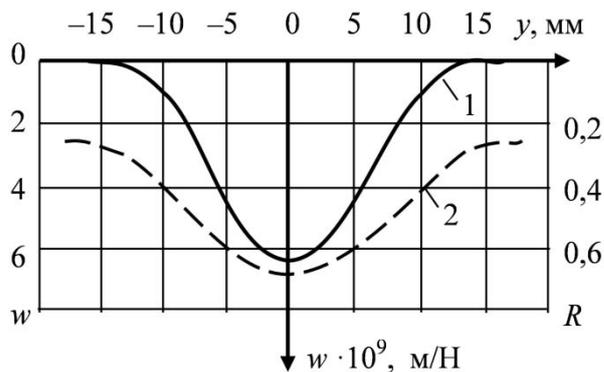


Рис. 2.

Сравнение этого рисунка с зависимостью коэффициента восстановления скорости шара при ударе по поверхности короба, приведенной в работе [1] (кривая 2), показывает, что общий характер изменения коэффициента восстановления такой же, как и изменение податливости пластины в точке удара. Но интенсивность изменения коэффициента восстановления меньше, чем податливости. Это связано с

пластическими деформациями поверхности пластины. Поэтому задачей дальнейшей работы является учет в модели как конструкционной податливости поверхности, по которой производится удар, так и её контактных пластических деформаций. Это позволит получить аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать значения коэффициента восстановления скорости ударяющего тела при виброударной обработке различных объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э. Влияние конструкционной податливости короба на коэффициент восстановления скорости шара при ударе по его поверхности. Статья в настоящем сборнике.
2. Еремьянц В.Э. Динамика ударных систем. Учебное пособие в 2-х частях. Часть 2. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2011. 322 с.
3. Еремьянц В.Э., Панова Л.Т., Асанова А.А. Деформации пластины, защемленной по двум противоположным сторонам при центральном поперечном ударе /Вестник КРСУ. 2010. Т. 10. № 10. С. 140 – 144.

### ДИНАМИКА КОРПУСА КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВОГО МЕХАНИЗМА МО-10

Арстанбек Алишер

тел.: 0558-757-756; e-mail: [alisherarstanbek@mail.ru](mailto:alisherarstanbek@mail.ru)

Кыргызско - Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В последние годы получили применение виброударные машины, основным исполнительным органом которых являются кривошипно-коромысловые ударные механизмы. Такие машины используются для очистки золошлакопроводов, угольных бункеров, разрушения асфальтобетонных покрытий, фундаментов и других строительных сооружений. В этих машинах ударный механизм устанавливается на манипулятор базовой машины или специальное опорное устройство.

При работе ударного механизма на его корпус действуют реактивные динамические нагрузки, которые передаются на опорное устройство, приводя к его быстрому разрушению. В связи с этим изучение этих нагрузок и разработка мер по их уменьшению является актуальной задачей. В данной работе эта задача решается применительно к кривошипно-коромысловому ударному механизму МО-10, кинематическая схема которого показана на рис.1.

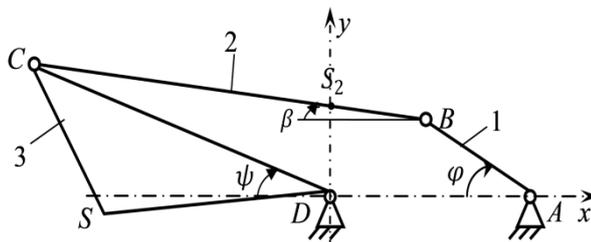


Рис. 1. Расчетная схема кривошипно-коромыслового механизма.

Ранее в работе [1] был проведен кинематический и силовой анализ кривошипно-коромыслового механизма МО-10. Силовой анализ проводился графоаналитическим методом кинетостатики. Недостатком этого метода являлось то, что вблизи особого положения механизма – перед ударом – возникали большие погрешности графического определения реакций в кинематических парах. В связи с этим в работе [2] был предложен аналитический метод определения реакций в кинематических парах кривошипно-коромысловых ударных механизмов, который позволил устранить недостатки графоаналитического метода и повысить точность расчетов.

С использованием этого метода в настоящей работе получены уточненные зависимости изменения реакций в опорах  $A$  и  $D$  от угла поворота кривошипа и от времени. Эти зависимости показаны на рис. 2, где  $R_{10x}$ ,  $R_{10y}$  – составляющие реакции вдоль осей  $x$  и  $y$ , действующей на опору  $A$  со стороны звена 1;  $R_{30x}$ ,  $R_{30y}$  – составляющие реакции, действующей на опору  $D$  со стороны звена 3. На графиках по оси абсцисс отложена обобщенная координата  $\varphi$  в радианах, а по оси ординат – значения реакций в ньютонах.

Максимальные значения полных реакций соответствуют углу поворота кривошипа 355 градусов и составляют:

$$R_{10} = -29700 \text{ Н}, \quad R_{12} = R_{23} = 32010 \text{ Н}, \quad R_{30} = -34477 \text{ Н}.$$

Горизонтальные составляющие опорных реакций имеют максимальные значения

$$R_{10x} = 29587 \text{ Н}, \quad R_{30x} = -33135 \text{ Н} \text{ при угле поворота кривошипа } 355 \text{ градусов}.$$

Максимальные значения вертикальных составляющих соответствуют углам поворота кривошипа 345 и 350 градусов и равны соответственно:  $R_{10y} = 3425 \text{ Н}$ ,  $R_{30y} = 16413 \text{ Н}$ . На рис. 2 видно, что горизонтальные составляющие опорных реакций гасят друг друга, а вертикальные, наоборот, суммируются.

Графики изменения во времени суммарных реакций вдоль осей  $x$  и  $y$ , действующих на корпус механизма между ударами, показаны на рис. 3, где по оси абсцисс отложено безразмерное время  $t/T$ , а по оси ординат – значение сил в ньютонах.

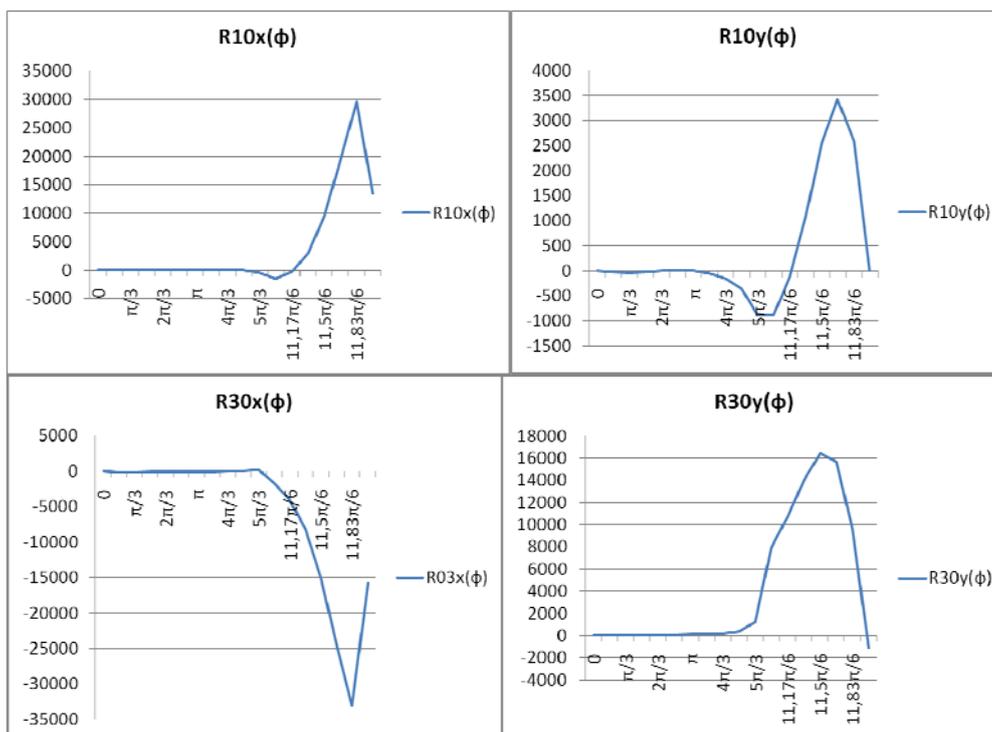


Рис. 2. Зависимости опорных реакций от обобщенной координаты.

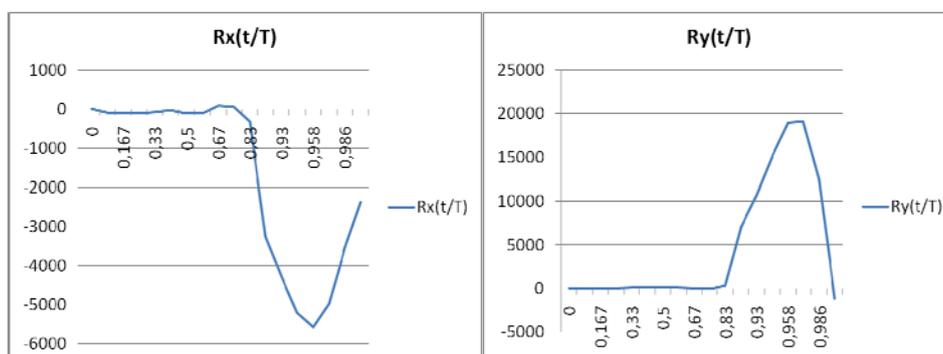


Рис. 3. Зависимости суммарных реакций от безразмерного времени.

Суммарные силы, действующие вдоль осей  $x$  и  $y$ , находились как

$$R_x = R_{10x} + R_{30x}, \quad R_y = R_{10y} + R_{30y}.$$

Максимальное значение суммарной силы вдоль оси  $x$  составляет 5500 Н, а вдоль оси  $y$  – почти 20000 Н, т.е. в 3,5 раза больше.

Безразмерное время определялось из следующих соображений. При равномерном вращении кривошипа угол его поворота  $\varphi$  пропорционален угловой скорости  $\omega$ :

$$\varphi = \omega t.$$

Период движения механизма определяется через угловую скорость как:

$$T = 2\pi/\omega.$$

Тогда

$$t/T = \varphi/2\pi,$$

и координаты по оси абсцисс изменяются от нуля до единицы.

На рис. 4 показана схема сил, действующих на корпус механизма МО-10 между ударами.

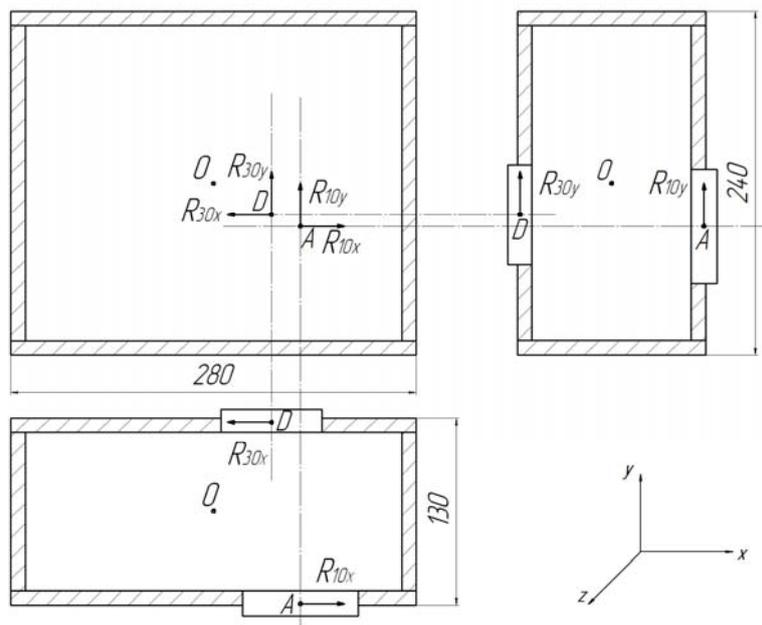


Рис. 4. Схема действия сил на корпус механизма.

На этом рисунке видно, что опорные реакции создают моменты сил относительно осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ . При этом максимальные значения моментов сил относительно центра корпуса (точки  $O$ ) равны соответственно:

$$M_x = -8,44 \text{ кНм}, M_y = 40,77 \text{ кНм}, M_z = 1,02 \text{ кНм}.$$

Таким образом, проведенные исследования показали, что между последовательными ударами на корпус ударного механизма действуют силы, приводящие к вертикальным и горизонтальным вибрациям. При этом силы, действующие в вертикальном направлении, в 3,5 раза больше сил, действующих в горизонтальном направлении.

Кроме этого на корпус действуют моменты сил, стремящиеся повернуть его относительно координатных осей. При этом наибольший момент действует относительно вертикальной оси  $y$ . Существенно меньший момент сил (в 4,8 раза) действует относительно горизонтальной оси  $x$  и в 40 раз меньший момент действует относительно оси  $z$ . Это следует учитывать при исследовании взаимодействия корпуса с опорными устройствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арстанбек А., Еремьянц В.Э. Кинематический и силовой анализ ударного механизма МО-10 / Материалы докладов 5-ой Международной конференции молодых ученых и студентов. Бишкек. 2013. С. 247–251.
2. Арстанбек А. Методика аналитического определения реакций в опорных устройствах кривошипно-коромыслового ударного механизма / Наука.

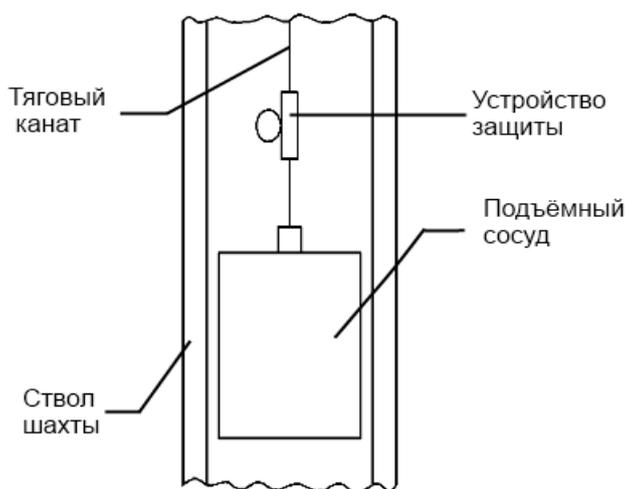
## УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТЯГОВОГО КАНАТА ОТ ОБРЫВА

Степанов С.Г., Забирова Э.К., Рахимов Д.Р.  
Кыргызско-Российский Славянский университет

При добыче полезных ископаемых подземным способом для подъема полезного ископаемого и перемещения работников, материалов, оборудования в шахту или рудник и на поверхность применяются шахтные подъемные установки, которые перемещают подъемные сосуды в стволах шахты с помощью тяговых канатов.

В процессе эксплуатации подъемных установок возможно аварийное застревание сосудов при их спуске и подъеме в стволе шахты, что может привести к обрыву тягового каната вследствие его перегрузки. Известны различные технические устройства для решения задачи обеспечения целостности каната при его перегрузке, но большинство этих устройств предлагается к применению при спуске подъемных сосудов. Технических предложений для решения этой задачи при подъеме сосудов достаточно мало (1, 2). Предлагаемое нами устройство позволяет повысить надёжность эксплуатации тягового каната и защищает его при перегрузке в случае застревания подъемного сосуда в стволе шахты при движении сосуда вверх.

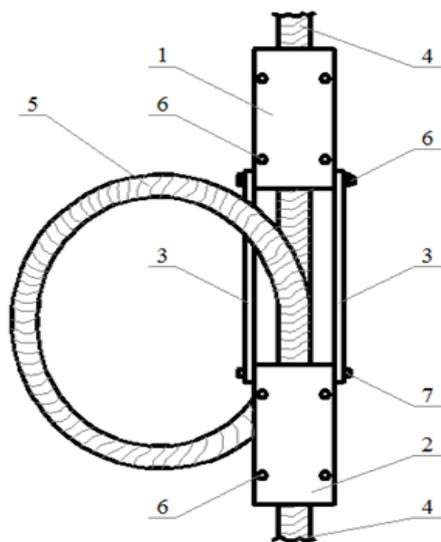
Предлагаемое устройство располагается над подъемным сосудом, как показано на приведенной ниже схеме.



Устройство защиты тягового каната от обрыва иллюстрируется схемой, представленной тремя изображениями. На изображении 1 представлен общий вид устройства в рабочем положении, на изображении 2 – боковой вид А на

изображении 1, на изображении 3 – общий вид устройства, сработавшего при перегрузке тягового каната.

Устройство включает верхний корпус 1 и нижний корпус 2, соединенные между собой пластинами 3 и жестко закреплённые на тяговом канате 4. Канат 4 установлен между корпусами 1,2 с напуском в виде петли 5, т.е. при выходе из нижнего торца корпуса 1 канат 4 образует петлю 5, заходящую в верхний торец корпуса 2. Корпуса 1,2 закреплены на канате 4 посредством зажима последнего болтовыми соединениями 6. Пластины 3 закреплены на корпусе 1 болтовыми соединениями 6, а корпус 2 соединён с пластинами 3 стержнями 7.

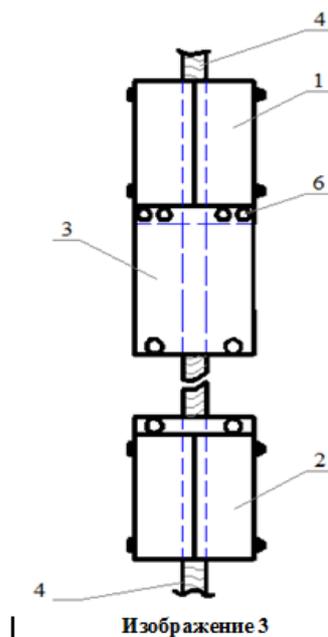
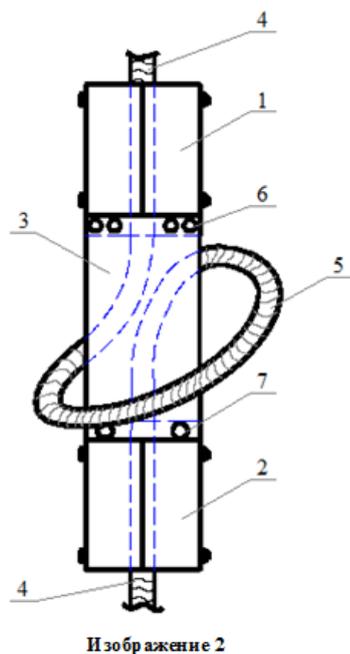


Изображение 1

Устройство работает следующим образом. При рабочем состоянии каната 4 (когда он не перегружен), тяговое усилие от подъёмной машины на сосуд (на изображениях не показаны) передается через верхний корпус 1, пластины 3 и нижний корпус 2. В аварийной ситуации, при возрастании нагрузки на канат 4 до разрывной, стержни 7, выполняющие роль предохранителя, срезаются под воздействием тягового усилия и корпуса 1,2 разъединяются. С момента разъединения корпусов 1, 2 действие тягового усилия на канат 4 прерывается и последний сокращается до полного снятия

натяжения. При этом канат 4 над корпусом 1 сокращается вверх, а канат 4 под корпусом 2 сокращается вниз, за счет чего корпуса 1, 2 распрямляют канатную петлю 5. Длина распрямляемой петли 5 компенсирует разрыв между корпусами 1, 2, который образуется при сокращении каната 4. После устранения причин перегрузки каната 4 корпуса 1, 2 сближаются и заново соединяются стержнями 7. Устройство подготовлено к работе.

Как видно из принципа действия устройства, в рабочем режиме, когда канат не перегружен, тяговое усилие от подъёмной машины на сосуд передается через верхнюю часть корпуса, предохранитель и нижнюю часть корпуса, при этом петля каната, расположенная между частями корпуса не загружена. В аварийной ситуации, при достижении величины нагрузки на канат близкой к разрывной (за счет натяжения каната), предохранитель срабатывает, части корпуса разъединяются и канат сокращается, распрямляя петлю. Сокращением каната устраняется (снимается) его натяжение и, соответственно, нагрузка на канат резко снижается до нуля. Разрыв, образуемый между частями корпуса при сокращении каната, компенсируется длиной распрямляемой петли, что обеспечивает целостность каната и сохранение его в рабочем состоянии.



Таким образом, исключается вероятность разрывного нагружения тягового каната и его разрушение, чем обеспечивается надежность работы устройства и сохраняется кинематическая связь сосуда с подъемной машиной за счет целостности каната, что соответственно обуславливает рабочее состояние подъемной установки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Латыпов И.Н. Шахтные подъемные установки. Уфа: Гилем. 2005.
2. Шамсутдинов М.М. Системы контроля напуска каната // Известия вузов. 2006. № 5,6.

#### К ВОПРОСУ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ НИЗОВОГО ОТКОСА

Аристархов С.О., Пархоменко Ю.Ф.

тел. : 0777872270, e-mail: [sergei90soft2@mail.ru](mailto:sergei90soft2@mail.ru); тел.: 0552251039

Кыргызско – Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Расчет устойчивости земляных откосов по круглоцилиндрической поверхности скольжения является приближенным приемом расчета, и степень устойчивости в нем оценивается отношением момента удерживающих сил к моменту сдвигающих сил относительно некоторой произвольно выбранной точки.

Задача рассматривается как плоская, действующие силы – вес грунта в области скольжения, силы трения и силы сцепления – условно переносятся на поверхность скольжения; гидродинамическая сила фильтрационного потока учитывается как объемная [1].

Степень устойчивости низового откоса оценивается коэффициентом запаса устойчивости  $k_{э}$ . В результате расчета заданного откоса надо найти минимальное значение  $k_{э}$  и сравнить эту величину с допускаемой  $(k_{э})_{\text{доп}}$ , при этом должно быть соблюдено условие:  $(k_{э})_{\text{мин}} \geq (k_{э})_{\text{доп}}$ , где величину допускаемого коэффициента запаса  $(k_{э})_{\text{доп}}$  назначают в зависимости от класса капитальности сооружения и условия работы откоса.

Таблица 1. Допустимые коэффициенты запаса устойчивости откосов

Сочетание нагрузок и воздействий	Класс плотины			
	I	II	III	IV
Основные	1,30 – 1,25	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,05
Особые	1,10 – 1,05	1,10 – 1,05	1,05	1,05

Рассмотрим расчет устойчивости откоса при следующих исходных данных:

- 1)  $H_{\text{пл}}=37,0$  м;
- 2)  $d_0=1,5$  м;
- 3) ширина по гребню плотины  $b_{\text{пл}}=10,0$  м;
- 4) коэффициент заложения низового откоса  $m_2=3,0$ ;
- 5) пористость грунта  $n=0,55$ ;
- 6) плотность грунта  $\gamma_r=1,95$  т/м<sup>3</sup>;
- 7) для грунта в естественном состоянии  $\varphi=38^\circ$  и  $c=0,01$  т/см<sup>2</sup>;
- 8) для грунта в насыщенном состоянии  $\varphi=36^\circ$  и  $c=0,01$  т/см<sup>2</sup>;
- 9) класс капитальности сооружения II.

Расчет ведем по методу круглоцилиндрической поверхности (рис.1) графоаналитическим способом, согласно методу, приведенному Волковым И.М. в работе [2]. Вычерчиваем поперечный профиль плотины, соблюдая горизонтальный и вертикальный масштабы одинаковыми. Проводим осредненную линию низового откоса А'В'. На профиль наносим кривую депрессионной поверхности фильтрационного потока в теле дамбы.

Коэффициент запаса на устойчивость определяется как отношение суммы моментов удерживающих сил к сумме моментов сдвигающих сил:

$$(1.0)$$

Действующие силы определяем в такой последовательности. По рекомендации В.В.Фандеева, центры кривых скольжения рекомендуется располагать в прямоугольнике ДЖЖ'Д'. Для построения этого прямоугольника из середины откоса (точка Б) прочерчиваем вертикаль и линию под углом  $85^\circ$  к откосу. Затем, пользуясь табл. 2, вычисляем радиусы БД и БЖ и проводим дуги ДД' и ЖЖ'.

Таблица 2. К построению кривой скольжения

Коэффициент откоса m	1	2	3	4	5	6
	0,75	0,75	1,0	1,5	2,2	3,0

	1,50	1,75	2,3	3,75	4,8	5,5
--	------	------	-----	------	-----	-----

В секторе ДЖЖ'Д' выбираем центр скольжения О, из которого радиусом R очерчиваем кривую скольжения АГ с таким расчетом, чтобы она проходила между осью плотины и бровкой низового откоса дамбы.

Для выявления всех действующих сил на откосе плотины массив АА'В'ГА делим на вертикальные полосы шириной  $b=0,1R$ . Разбивку полос начинаем с нулевой, которая располагается по обе стороны от вертикали, опущенной из точки О до пересечения с кривой скольжения АГ.

Подсчет действующих сил сводим в таблицу 3, порядок заполнения которой следующий.

$\sin \alpha$  для рассматриваемой полосы равен ее порядковому номеру, поделенному на 10. Для полос, расположенных от нулевой полосы слева,  $\sin \alpha$  – положительные, а для полос, расположенных справа - отрицательные. При этом для первой и последней полос  $\sin \alpha$  принимается в зависимости от доли полосы по отношению к полной ее ширине.

$\cos \alpha$  вычисляем по формуле:

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \quad (2.0)$$

По оси плотины измеряем среднюю ее высоту. От поверхности откоса плотины до линии депрессии грунт находится в состоянии естественной влажности, поэтому средняя высота полосы в этих пределах составляет  $h_{ec}$ . От линии депрессии до линии скольжения грунт насыщен водой, поэтому средняя высота полосы в этой зоне обозначается  $h_{нас}$ . Приведенную высоту полосы определяем по формуле:

$$h_{пр} = h_{ec} + h_{нас} \quad (3.0)$$

Объемную массу грунта при естественной влажности вычисляем по формуле:

$$\gamma_{ec} = (1 - n) \gamma_r k \quad (4.0)$$

Объемную массу взвешенного и насыщенного водой грунта определяем по формуле:

$$\gamma_{нас} = (1 - n)(\gamma_r - \gamma_v), \quad (5.0)$$

где  $n$  – относительная пористость грунта;  $\gamma_r$  – плотность грунта;  $\gamma_v$  – плотность воды;  $k$  – коэффициент, зависящий от влажности грунта.

Угол внутреннего трения  $\phi$  и удельное сцепление  $c$  принимаются по зонам соответственно состоянию и физико – техническим характеристикам грунтов.

Длину дуги кривой скольжения вычисляем по формуле:

$$l = R \beta \quad (6.0)$$

где  $R$  – радиус кривой скольжения;  $\beta$  – центральный угол дуги АМКГ.

Заполнив таблицу 3, получаем в результате суммирования данные по графам 5, 7, 11, 14, которыми пользуемся для определения коэффициента запаса на устойчивость по развернутой формуле:

$$k_3 = \frac{F_{cl}}{F_{sd}} \quad (7.0)$$

где  $F_{cl}$  – сила трения;  $F_{sd}$  – сила сцепления;  $F_{sd}$  – сдвигающая сила от собственного веса;  $F_{sd}$  – сдвигающая сила от гидродинамического давления фильтрационного потока;  $r$  – плечо силы  $F_{sd}$ .

Таблица 3. Подсчет действующих сил

№ по лосы	sin α	cos α	h <sub>сс</sub>	h <sub>нас</sub>	h <sub>пр</sub>	h <sub>пр</sub> sin α	h <sub>пр</sub> cos α	φ	tg φ	h <sub>пр</sub> cos α / tg φ	c	l	cl, кН
10	0,92	0,392	2,0	-	2,42	2,226	0,95	38°	0,78	0,741	0,01	30,53	3,05
9	0,90	0,436	12,66	-	13,08	11,772	5,703	38°	0,78	4,448			
8	0,80	0,6	21,473	-	21,893	17,514	13,136	38°	0,78	10,246			
7	0,70	0,714	22,18	4,483	24,063	16,844	17,181	36°	0,726	12,473	0,01	7,33	0,7
6	0,60	0,8	20,09	9,78	24,198	14,52	19,358	36°	0,726	14,054	0,01	7,33	0,7
5	0,50	0,866	19,08	13,685	24,828	12,414	21,501	36°	0,726	15,61	0,01	94,02	9,4
4	0,40	0,916	17,75	16,505	24,682	9,873	22,61	36°	0,726	16,415			
3	0,30	0,954	15,7	18,41	23,432	7,03	22,354	36°	0,726	16,229			
2	0,20	0,98	13,64	19,506	21,832	4,366	21,395	36°	0,726	15,533			
1	0,10	0,995	11,94	19,855	20,279	2,028	20,178	36°	0,726	14,649			
0	0,0	1,0	12,05	19,491	20,236	0,0	20,236	36°	0,726	14,691			
-1	-0,10	0,995	10,46	18,426	18,2	-1,82	18,109	36°	0,726	13,147			
-2	-0,20	0,98	8,88	16,648	15,872	-3,174	15,554	36°	0,726	11,292			
-3	-0,30	0,954	7,29	14,123	13,222	-4,0	12,614	36°	0,726	9,158			
-4	-0,40	0,916	5,7	10,789	10,231	-4,092	9,371	36°	0,726	6,803			
-5	-0,50	0,866	4,12	6,541	6,867	-3,433	5,947	36°	0,726	4,317			
-6	-0,59	0,807	2,53	1,204	3,036	-1,791	2,45	36°	0,726	1,78	0,01	2,44	0,24
				Σ=189,446		Σ=80,277				Σ=181,586			Σ=14,09

Площадь фильтрационного потока в зоне сползаемого массива: ;

Средний градиент в этой зоне:  $I = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{9,0}{98,9} = 0,099$ ; где Δh и Δl – параметры градиента фильтрационного потока в зоне сползаемого массива.

Радиусы для построения сектора ДД'ЖЖ', в котором размещаются центры наиболее опасных кривых скольжения, имеют следующие значения:

$$БД = k_1 H_{пл} = 1,0 \cdot 37,0 = 37,0 \text{ м}; \quad БЖ = k_2 H_{пл} = 2,3 \cdot 37,0 = 85,1 \text{ м}.$$

В результате графического построения профиля плотины, кривой скольжения и сползаемого массива имеем: R = 70,0 м; b = 0,1R = 7,0 м; число полос- 17.

Путем подсчета величин, по данным табл. 2, получено:

= 181,586;  $\Sigma cl = 14,09$  кН; = 80,277; = 189,446 · 7,0 = 1326,122 м<sup>2</sup>; I = 0,099. Плечо силы гидродинамического давления Ω равно r = 63,5. Объемная масса грунта в естественном состоянии: γ<sub>ест</sub> = (1 – 0,55) · 1,95 · 1,16 = 1,017 т/м<sup>3</sup>; при насыщении и взвешивании- γ<sub>нас</sub> = (1 – 0,55) · (1,95 – 1,0) = 0,427 т/м<sup>3</sup>.

$$\text{Приведенная средняя высота полосы } h_{пр} = h_{сс} + \frac{0,427}{1,017} h_{нас} \approx h_{сс} + 0,42 h_{нас}.$$

Подставляя все данные, полученные графоаналитическим способом, вычисляем коэффициент запаса на устойчивость при радиусе скольжения R = 70,0 м по формуле (7.0).

$$k_3 = \frac{7,0 \cdot 1,95 \cdot 181,586 + 14,09}{7,0 \cdot 1,95 \cdot 80,277 + 1326,122 \cdot 0,099} \cdot \frac{63,5}{70,0} = \frac{2492,74}{1215,251} = 2,05.$$

Из расчета следует, что вычисленный коэффициент устойчивости низового откоса дамбы хвостохранилища вполне удовлетворяет нормальным условиям работы сооружений II класса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Замарин Е.А., Фандеев В.В. Гидротехнические сооружения. М.: Колос. 1965. 623 с.
2. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федичкин И.К. и др. Проектирование гидротехнических сооружений. М.: Колос. 1977. 384 с.
3. Гидротехнические сооружения / Учеб. пособие для вузов. Под ред. Н.П. Розанова. М.: Стройиздат. 1978. 647 с.

## АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА

Верзунов С.Н.

тел.: 0553722030; e-mail: [abalckin@hotmail.com](mailto:abalckin@hotmail.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

### Введение

При иридодиагностике тип радужной оболочки позволяет оценить уровень наследственной жизнестойкости, сопротивляемости, адаптационных и регенеративных возможностей организма. Чем плотнее, компактнее расположены трабекулы на светлых радужках, тем крепче и здоровее организм. На темноокрашенных радужках при высокой степени плотности поверхность должна быть ровная, однообразно окрашенная, без просвечивающих волокон радужки [1].

Большого внимания при изучении текстуры радужек заслуживает классификация иридогенетических типов, построенная на морфофункциональных особенностях радужной оболочки глаза. Из 16 классификационных единиц автора J. Deck три (лимфатический, гематогенный и смешанный типы) являются обобщающими, а три других (панкреотриадный, кадиоренальный и сердечно-брюшной типы) — мало доказанными. Поэтому в настоящее время в иридодиагностике актуально классифицировать иридогенетические типы по десяти, в достаточной степени подтвержденным, типам радужных оболочек [2].

При классификации радужных оболочек глаза, как и во многих прикладных задачах, измерять степень сходства объектов существенно проще, чем формировать описания признаков. Например, гораздо легче сравнить две фотографии радужки и сказать, что они принадлежат одному классу, чем понять, на основании каких признаков они схожи. Такие ситуации часто возникают при распознавании изображений. Они характеризуются тем, что «сырые» исходные данные не годятся в качестве признаков описаний. Есть ещё одна характерная особенность этих задач. Если мера сходства введена достаточно удачно, то оказывается, что схожим объектам, как правило, соответствуют схожие ответы. В задачах классификации это означает, что схожие объекты гораздо чаще лежат в одном классе, чем в разных. Если задача в принципе поддаётся решению, то граница между классами не может «проходить повсюду»; классы образуют компактно локализованные подмножества в пространстве объектов. Это предположение принято называть гипотезой компактности [3].

Таким образом, при классификации необходимо внимательно подходить к представлению исходной информации еще хотя бы потому, что время, затраченное, например, на классификацию по алгоритму k-ближайших соседей, увеличивается с ростом объема входной информации. В связи с этим существует

проблема уменьшения избыточной информации, которая обычно сводится к сжатию признакового пространства путем сокращения мощности используемых структурных описаний. В настоящей работе предлагается алгоритм классификации радужной оболочки глаза с использованием преобразования Хоара и метода k-ближайших соседей.

### 1. Постановка задачи

В общем виде, исходной информацией для классификации являются описания объектов (ситуаций, предметов, явлений или процессов)  $S$  в виде векторов значений признаков для рассматриваемых объектов  $S = (x_1(S), x_2(S), \dots, x_n(S))$  и значений некоторого «основного свойства»  $y(S)$  объекта  $S$ . Свойство  $y(S)$  принимает конечное число значений. Значения признаков  $x_i, i = 1, 2, \dots, n$ , характеризующих различные стороны – свойства объектов  $S$ , для некоторых объектов  $S_1, S_2, \dots, S_m$ , считаются известными. Задача классификации (распознавания, прогноза, идентификации) состоит в определении значения свойства  $y(S)$  некоторого объекта  $S$  по информации  $S_1, S_2, \dots, S_m, y(S_1), y(S_2), \dots, y(S_m)$ , которая называется обучающей или эталонной выборкой [4]. Одной из подзадач этой задачи является сжатие признакового пространства путем сокращения мощности используемых структурных описаний  $y(S_1), y(S_2), \dots, y(S_m)$ , что и достигается предлагаемым ниже алгоритмом.

### 2. Описание алгоритма уменьшения количества избыточной информации с использованием вейвлет-преобразования Хоара

В основу алгоритма уменьшения количества избыточной информации в цветном изображении радужной оболочки глаза положено двухмерное вейвлет-преобразование Хоара [5], которое выполняется следующим образом.

1. Пусть двумерный входной сигнал представляется матрицей  $S$ . К каждой строке матрицы  $S$  применяется одномерное преобразование Хоара. Пары соседних элементов ставятся в соответствие два числа:

$$a_i = \frac{S_{2i} + S_{2i+1}}{2}; b_i = \frac{S_{2i} - S_{2i+1}}{2}$$

2. Повторяя предыдущую операцию для каждого элемента строки исходной матрицы, на выходе получают два вектора, один из которых является огрубленной версией входного сигнала —  $a$ , а второй содержит детализирующую информацию.
3. Аналогично к каждому столбцу полученных матриц применяют одномерное преобразование Хоара и на выходе получают четыре матрицы, одна из которых является аппроксимирующей составляющей исходного сигнала, а три оставшиеся содержат детализирующую информацию — вертикальную, горизонтальную и диагональную.

Алгоритм уменьшения количества избыточной информации с применением преобразования Хоара используется в описанной ниже технологии классификации изображения глаза человека (п.6).

### 3. Описание технологии обработки

#### 3.1. Первый этап обработки

1. На вход алгоритма обработки подается изображение глаза человека в цветовом пространстве RGB (красный-зеленый-синий).
2. Выделяется радужная оболочка из изображения. Для этого на изображении проводится две окружности, центры которых могут не совпадать. Внутренняя окружность соответствует зрачку, а внешняя – радужке.

3. Производится преобразование квадрата изображения, описанного вокруг внешней окружности, в полярную систему координат по формулам:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}; \varphi = \arctg\left(\frac{x}{y}\right),$$

где  $x, y$  — прямоугольные координаты, а  $r$  и  $\varphi$  — полярные координаты точки.

4. После этого каждая строка изображения приводится к высоте 256 пикселей, и все изображение приводится к той же ширине. Результат этого преобразования показан на рисунке 1.

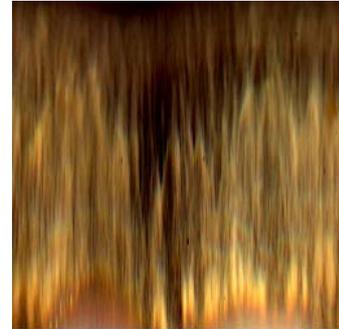


Рис. 1. Изображение радужной оболочки глаза в полярной системе координат.

5. Выполняется переход от цветового пространства RGB в HSV по формуле:

$$H = \begin{cases} 0, \text{ если } \max = \min, \\ 60^\circ \cdot \frac{G - B}{MAX - MIN}, \text{ если } \max = R \text{ и } G \geq B, \\ 60^\circ \cdot \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360^\circ, \text{ если } \max = R \text{ и } G < B, \\ 60^\circ \cdot \frac{B - R}{MAX - MIN} + 120^\circ, \text{ если } \max = G, \\ 60^\circ \cdot \frac{R - G}{MAX - MIN} + 240^\circ, \text{ если } \max = B, \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0, \text{ если } \max = 0, \\ 1 - \frac{MIN}{MAX}, \text{ если иначе,} \end{cases}$$

$$V = \max;$$

где  $H$  — цветовой тон;  $S$  — насыщенность;  $V$  — яркость;  $R$  — компонента красного;  $G$  — компонента зеленого;  $B$  — компонента голубого канала;  $\max$  — максимальное значение из  $R, G, B$ , а  $\min$  — минимальное из них.

6. Восемь раз выполняется преобразование Хоара для компонентов  $H$  и  $S$  изображения так, как это было указано в разделе 2.

### 3.2. Второй этап обработки

Для проверки предложенного алгоритма классификации радужных оболочек глаза был использован набор изображений глаз [6], который содержит по три изображения левого и правого глаза 64-х человек. В результате первого этапа обработки для каждого изображения получается два числа, одно из которых отражает превалирующий цвет изображения, а второе - его насыщенность. Таким образом, получается два вектора длиной 386 элементов, каждый из которых нормализуется путем деления на величину максимального элемента. Каждый из элементов этих векторов содержит одну из координат изображения в

пространстве признаков. После этого можно классифицировать изображения  $X^l$  путём голосования по  $k$ -ближайшим соседям [7]. Каждый из соседей  $x_{i,u}$ ,  $i = 1, \dots, k$  голосует за отнесение изображения  $u$  к своему классу  $y_{i,u}$ . Алгоритм относит изображение  $u$  к тому классу  $y$ , который наберёт большее число голосов:

$$a(u; X^l, k) = \arg \max_{y \in Y} \sum_{i=1}^k [y_{i,u} = y]$$

На практике оптимальное значение параметра  $k$  определяют по минимуму ошибочно выполненных классификаций, в данном случае  $k=3$  (рис. 2).

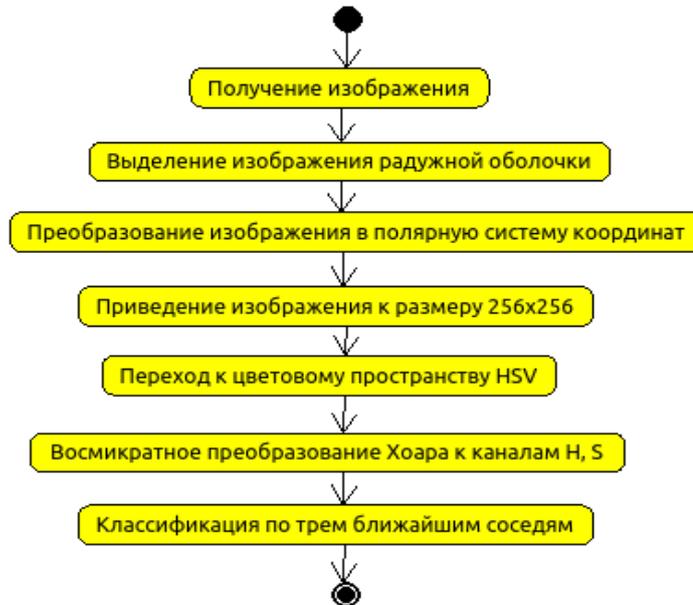


Рис. 2. Алгоритм обработки изображения радужной оболочки.

### 3. Оценка эффективности алгоритма

Для количественной оценки правильности классификации исходная последовательность изображений случайно разделяется на две части, одна из которых содержит обучающую выборку, а другая – тестовую. Результат классификации показан на рисунке 3.

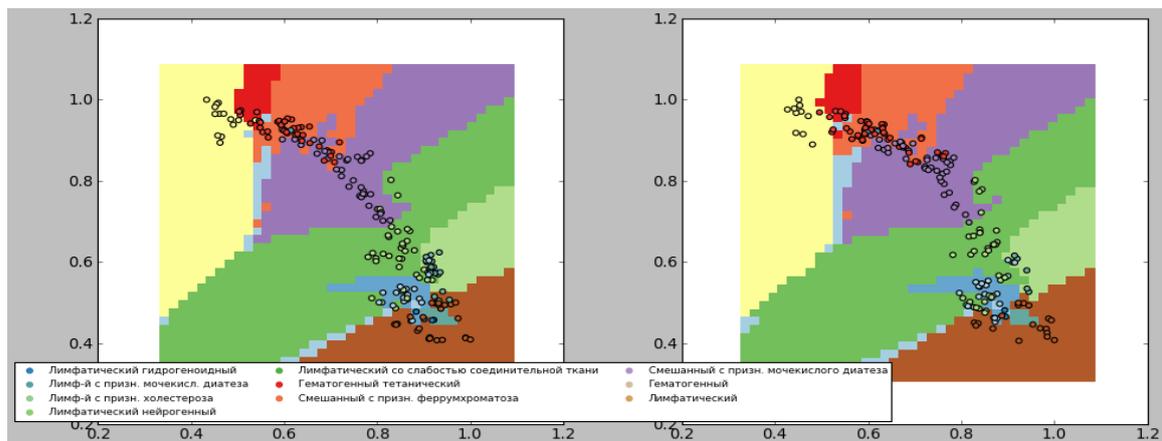


Рис. 3. Распределение элементов по классам обучающей (слева) и тестовой (справа) выборки.

Операцию случайного разбиения исходной последовательности изображений нужно повторить несколько десятков раз для исследования зависимости алгоритма от исходных данных. Для 256 повторений, количество верных ответов в среднем для обучающей выборки составило 88%, а для тестовой - 76 % (рис. 4).

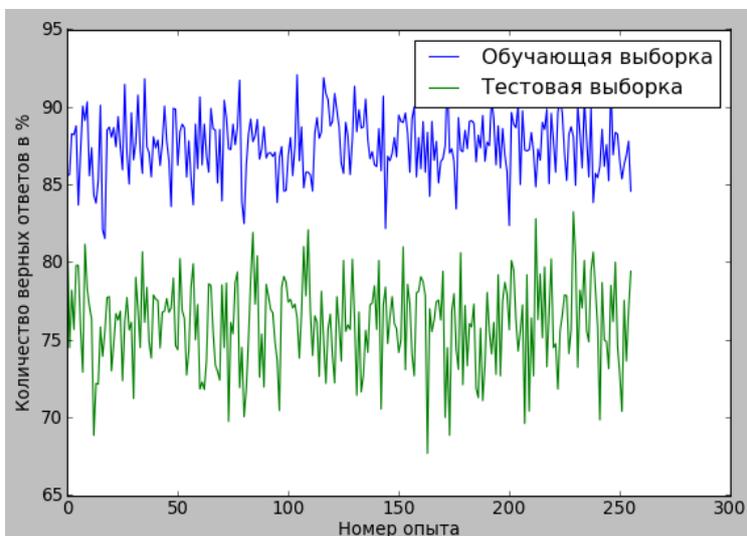


Рис. 4. Зависимость алгоритма от входных данных.

### Заключение

Таким образом, в работе предложен алгоритм классификации радужных оболочек глаза по десяти иридодиагностическим классам, который дает в среднем 76% верных ответов. В настоящее время алгоритмом используется лишь небольшая часть доступной информации - преобладающий цвет и насыщенность изображения, однако алгоритм может быть легко расширен так, чтобы при классификации учитывалась информация о распределении цвета и насыщенности по изображению и скорости их изменения.

В дальнейшем планируется ввести в алгоритм этапы предобработки изображения, настройку насыщенности, цвета, гамма-коррекцию. Все это позволит увеличить точность алгоритма.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Данилюк О.А. Практическая иридодиагностика и фитотерапия. Ростов-на-Дону: Феникс. 2006.
2. Верзунов С.Н. Уменьшение избыточной информации при классификации радужных оболочек глаза с использованием преобразования Коэна-Добеши-Фаво. Проблемы автоматизации и управления. Бишкек: Илим. 2013.
3. Айзерман М.А., Браверман Э.М., Розоноэр Л.И. Метод потенциальных функций в теории обучения машин. М.: Наука. 1970.
4. Журавлев Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. Распознавание. Математические методы. Программная система. Практические применения. М.: Фазис. 2006.
5. Сэлмон Д. Сжатие данных, изображений и звука. М.: Техносфера. 2004.
6. Dobes Michal and Machala Libor, Iris Database. <http://www.inf.upol.cz/iris/>
7. Воронцов К.В. Машинное обучение (курс лекций). <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/6/6d/Voron-ML-1.pdf>

## **ПРИМЕНЕНИЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА И МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ РАСЧЕТЕ ОБЪЕМА ПРОДАЖ ФИРМЫ**

Кроха А.А.

тел.: (+996) 0550 45 31 94; e-mail: [alice.krokha@gmail.com](mailto:alice.krokha@gmail.com)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

1. Многомерные статистические методы как методы выявления необходимой информации для построения адекватной модели, рассматриваемого процесса.
2. Факторный анализ и метод главных компонент как методы нетривиального понимания экономических явлений.
3. Выбор факторного анализа и метода главных компонент в качестве методов анализа и расчета объема продаж фирмы.
4. Ограничения применения факторного анализа.
5. Минусы применения факторного анализа при проведении исследований экономических явлений.
6. Перспективность использования рассматриваемых методов при исследованиях экономических явлений на микроуровне.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика. Классификация и снижение размерности. М. 1989.
2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М. 1997.
3. Иберла К. Факторный анализ. М. 1980.
4. Митина О.В., Михайловская И.Б. Факторный анализ для психологов. М. 2001.
5. Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. С-Пб. 2008.
6. Пациорковский В.В., Пациорковская В.В. SPSS для социологов / Учеб.пособие. М.: ИСЭПН РАН. 2005. 433 с.
7. Харман Г. Современный факторный анализ. М. 1972.

## **КРИТЕРИИ И СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

Булавин А.В.

тел.: +996 555006352; e-mail: [Sasha\\_Bula@mail.ru](mailto:Sasha_Bula@mail.ru)

ОсОО «САЛГАР», г. Бишкек, Кыргызстан.

Актуальность удобного, оперативного и качественного анализа производственных процессов в условиях не только конкуренции, но и в принципе современного ритма работы многих организаций сложно переоценить. Справедливости ради стоит отметить, что востребованность анализа как метода не нова, как и потребность в его оптимизации, но только в последние десятилетия появляются доступные для большинства технические возможности ее качественной реализации.

Появление все новых возможностей оптимизации обработки информации, в частности анализа, в свою очередь порождает потребность в определении критериев, по которым можно было бы оценить степень «совершенства» используемой технологии анализа и нет ли необходимости в ее реинжиниринге. В этой связи целесообразно исследование конкретных критериев и системы показателей оценки оптимальности аналитических процессов.

Для понимания природы какого бы то ни было процесса необходимо произвести его анализ. В целом любой процесс можно описать математически как зависимость изменения состояния одних данных процесса от изменения состояния других. Определение этой зависимости есть задача анализа. Технология поиска указанной зависимости проходит несколько этапов. На первом этапе производится разложение процесса на составляющие элементы, на втором - устанавливается взаимозависимость изменений между интересующими данными. Следующий этап уже имеет непосредственное отношение к оптимизации аналитического процесса. На этой стадии производится структуризация изученных данных на основе установленной зависимости.

Цель структуризации сводится к возможности комплексного рассмотрения однотипных данных, меняющих индивидуальное значение, в своей группе, в рамках определенного либо установленного допущения.

В контексте исследования под оптимизацией аналитического процесса подразумевается, с точки зрения количественной характеристики - его упрощение, с точки зрения качественной характеристики – размер погрешности результата.

Если формулировать цель оптимизации анализа максимально просто, определение будет иметь примерно следующий вид: максимум точной, полезной, готовой к использованию и принятию решения информации, минимум умственных и физических усилий для ее получения.

В данной статье мы рассмотрим критерии оценки качества оптимизации анализа и то, по каким показателям ее можно определить.

### **Критерии**

**Объем входящих данных.** Точность проводимого исследования во многом определяется объемом учитываемых факторов, имеющих влияние на результат. Данные могут иметь качественный и количественный характер. Качественные характеристики включают в себя весь спектр данных различного происхождения, имеющих какую бы то ни было причинно-следственную связь с исследуемым объектом. Количественные характеристики представляют собой одни и те же данные, собранные в различные временные промежутки. Чем больше объем входящих данных, тем информативней и точнее исследование. Если в случае с входящими данными, имеющими качественную природу, точность достигается за счет минимизации погрешности на неучтенные данные, в случае с входящими данными, имеющими количественную природу, она достигается в результате минимизации погрешности посредством действия статистического закона больших чисел. Полноту объема учета входящих данных можно выразить в процентах. Соответственно, чем выше процент учета, тем более полный учет входящих данных.

**Степень автоматизации ввода входящих данных.** Трудоемкость анализа во многом определяется технологией сбора первичной информации. Поскольку первичной информации обычно бывает достаточно много, в случаях, когда ее сбор не связан с естественным производственным процессом учета, организация аналитического исследования становится более трудоемкой, и, как следствие,

менее удобной и затратной. Степень автоматизации можно определить процентным соотношением ручного и автоматизированного труда, значение которой может меняться от 0% до 100%. В случае полной (100%-й) автоматизации все исходные данные берутся, как правило, из производственной транзакционной системы (1С-бухгалтерия, программы, ведущие протокол технологического процесса, и тому подобное). В случае нулевой автоматизации ввода входящих данных вся необходимая для анализа информация собирается специально. На пример, если исследование опирается на исходные данные, не связанные с обязательным учетом в производственном процессе, либо учет на предприятии не автоматизирован. Различные сочетания возможностей и потребности аналитического исследования определяют различную степень автоматизации ввода входящих данных.

**Объем выходящих данных.** В отличие от объема входящих данных объем выходящих данных имеет обратно пропорциональную зависимость со степенью информативности результата аналитического процесса. То есть, если в начале анализа имеет место быть несколько типов входящих данных, например: товароборот, рентабельность, доход, прибыль, затраты на кредит и т.п., а после их обработки все сводится к одному выходному показателю – «доходность операционных активов», для лица, принимающего решение о максимально выгодном размещении капитала, данный показатель будет очень информативен при сравнении его с аналогичным показателем другого бизнеса. Если же лицо, принимающее решение, рассматривает все вышеперечисленные данные как выходящие (входящими в данном случае могут быть те же данные, представленные по каждому товару по позиционно), процесс принятия решения усложняется, так как выбор менее очевиден и требует дополнительного анализа. Как следствие аналитический процесс менее оптимизирован.

**Возможность внесения оперативных поправок.** Сколь бы ни был полным объем входящих данных, как правило, он не бывает абсолютно полным. В этой связи необходима возможность оперативной корректировки данных, являющихся входящими по смыслу, но не входящие в список входящих данных. Например, если в рассматриваемый период по отдельно взятой позиции была продажа большого объема товара, данную сделку необходимо исключить из общей статистики, в случае, если продажа была сделана из числа бракованной партии товара, проданного ниже себестоимости. В противном случае это увеличит погрешность анализа.

**Сложность обслуживания.** Под обслуживанием обычно подразумевается обслуживание программных и аппаратных средств, обеспечивающих оптимизацию аналитического процесса, связанную с обновлением программного продукта, совместимостью с другим ПО (в том числе обновлённым), возможностью совместного использования, обеспечением необходимой степени подготовки и переподготовки пользователей и т.п. Под сложностью обслуживания - необходимая частота вышеперечисленных действий.

#### **Показатели**

В отличие от критериев показатели представляют собой более комплексные параметры определения оценки оптимизации аналитического процесса, основанные, в том числе, на указанных критериях.

**Соотношение объемов входящих и выходящих данных.** Данным соотношением определяется степень реализации критериев, объема входящих и выходящих данных, относительно их идеального вида. Измерить можно

отношением одного к другому, например: 10/2, то есть 10 показателей входящих данных сводятся к 2 показателям выходящих данных.

**Соотношение объема входящих данных и степени автоматизации их ввода.** Поскольку качество анализа напрямую связано с объемом входящих данных, степень автоматизации их ввода напрямую связана с полнотой их учета. То есть, при низкой степени автоматизации сбора и ввода входящих данных их полнота становится уязвима к различного рода факторам, осложняющим ее сбор (ограничение во времени, ограничение затрат на сбор, увеличение вероятности ошибки вследствие меньшего количества времени на проверку данных). Измерить можно количеством показателей входящих данных и процентом их автоматизированного ввода, например 40/95%, то есть 40 показателей входящих данных на 95% вводятся автоматически и постоянно доступны в готовом виде.

**Степень структуризации данных (количество исключений).** Оперировать данными, структурированными по группам, гораздо менее трудоемко, нежели обрабатывать каждый элемент группы отдельно. Показатель степени структуризации данных является составляющим показателем соотношения объема входящих и выходящих данных, а также показателем читаемости данных. Измерить можно процентной долей исключений данных, не относящихся к той или иной группе в рамках определенного либо установленного допущения.

**Читаемость выходящих данных.** В целом читаемость или воспринимаемость данных, как правило, связаны со степенью однотипности и однородности представления информации. При этом однотипная и однородная форма представления может относиться не только к числам, но и к размеру строк, столбцов, шрифта, обособлению итоговых данных и т.п. В части оптимизации аналитического процесса большее значение имеет приведение данных к сравнимому виду с указанием, при необходимости, не только абсолютных, но и относительных величин.

**Конечная фактическая погрешность в прогнозе.** Показатель итоговой погрешности в прогнозе является одним из ключевых, определяющих смысл оптимизации в целом. Оптимизацию можно считать оправданной, если конечная погрешность меньше по сравнению с альтернативной технологией анализа, либо для получения такого же результата затрачивается меньше средств и времени.

В данной статье было рассмотрено 5 критериев и 5 основных показателей оценки оптимизации аналитических процессов, использование которых дает возможность объективной оценки сравнения различных альтернатив технологии анализа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глинский В.В. Статистический анализ /Учеб. пособие. Под ред. Глинского В.В., Ионина В.Г. М.: ИНФРА-М. 2002. 241с.
2. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики / Учебник. Под. ред. чл.-корр. РАН Елисеевой И.И. М.: Финансы и статистика. 2004.
3. Пол А. Самуэльсон, Вильям Д. Нордхаус. Экономика. М.: Бином – КноРус.1997.
4. Электронная энциклопедия «Википедия». <http://www.wikipedia.org>.

## АУДИТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Алкадыров А.С.

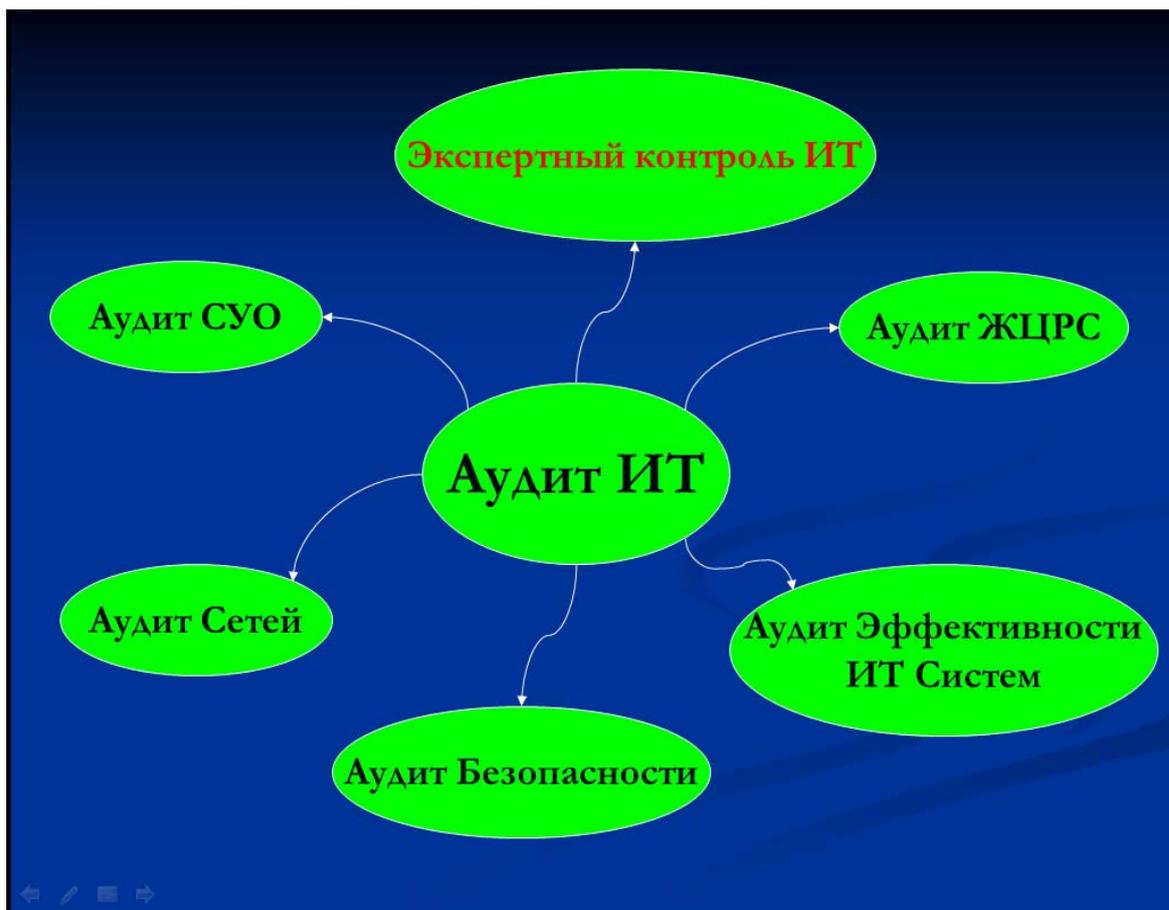
тел.: 0312 323-545; моб.: 0555888299; факс: 0312 323-886; e-mail:  
[a.alkadyrov@esep.kg](mailto:a.alkadyrov@esep.kg)

Счетная палата Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызстан.

После развала Советского Союза в Кыргызстане, как и во всем мировом сообществе, бурно развиваются информационные технологии. В различных отраслях экономики, государственном и частом секторе активно началось внедрение информационных систем в целях автоматизации их деятельности. Однако данный процесс в настоящее время происходит без контроля и регулирования со стороны государства: действующая нормативно-правовая база в ИТ-сфере не отвечает требованиям времени, зачастую внедряемые информационные системы не соответствуют международным стандартам и т.д.

В целях обеспечения должного контроля, повышения качества ИС в Кыргызстане назрела необходимость во внедрении ИТ-аудита. В наиболее широком понимании ИТ-аудит - это процесс получения и оценки данных, чтобы определить: обеспечивает ли ИС безопасность и целостность данных, эффективно ли потребляет ресурсы и повышает ли эффективность деятельности организации?

Предлагаю рассмотреть следующую модель ИТ-аудита:



Экспертный контроль информационных технологий.

1. Введение и постановка задач:
  - Введение
    - принципы обработки данных;
    - принципы ИТ
  - Проблемы/влияние ИТ
2. Процесс аудита.
3. Модель средств управления ИТ.
4. Планирование экспертного контроля ИТ.
5. Документирование систем ИТ.
6. Общие меры контроля:
  - a) организационный и управленческий контроль;
  - b) физический контроль и контроль окружающей среды;
  - c) логический контроль доступа;
  - d) сетевые средства управления;
  - e) сторонние средства управления поставщика услуг;
  - f) средства управления конечными пользователями;
  - g) операционные средства управления ИТ;
  - h) средства управления за изменениями;
  - i) роль аудиторов в системе развития.
7. Прикладные средства контроля:
  - a) процесс ввода и контроль вывода;
  - b) мастер файл и средства управления за данными.
8. Тестирование средств управления ИТ.
9. Использование СААТТs (инструменты и методы аудита с помощью компьютера).
10. Отчетность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бармен Скотт. Разработка правил информационной безопасности. М.: Вильямс. 2002. 208 с.
2. Семененко В.А. Информационная безопасность: Учебное пособие. М.: МГИУ. 2004. 215 с.

## **МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНО-АСИНХРОННЫХ ЛОКАЛЬНО-СИНХРОННЫХ МИКРОСХЕМ (GALS)**

Беляев А.А.

тел: +996 772 016641; e-mail: [artem\\_belyaev@mail.ru](mailto:artem_belyaev@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская  
Республика

Проектирование сверхбольших интегральных схем сложно представить в глобально-синхронной парадигме. Распределение низкочастотных сигналов при частоте процессора в районе гигагерца создает проблемы перегрева и распределения потреблённой энергии. В дополнение, размещение комплекса

систем на интегральной схеме требует синхронизации множества частот в единую схему. Каждый интерфейсный вызов должен очень точно синхронизироваться [1].

Фундаментально отличающееся от синхронного проектирования – асинхронное проектирование. Пересылка данных на всех уровнях контролируется локальными сигналами, т.н. «handshakelines» - реализация обратной связи путем обмена служебными сигналами [2]. И если асинхронные системы спроектированы должным образом, то они потребляют меньше энергии и могут быть производительнее, чем такие же синхронные. Но здесь встает вопрос цены за глобальное перепроектирование микросхем.

Существует третий путь при проектировании микросхем - сделать схему глобально асинхронной локально синхронной. В зависимости от ситуации и требований, блоки интегральных схем могут быть спроектированы синхронно или асинхронно. Синхронные блоки содержат собственные таймеры и комплектуются асинхронными адаптерами (wrapper). Адаптеры позволяют управлять всей пересылкой данных в и из соответствующих модулей и доставлять сигнал локального таймера для синхронной части интегральной схемы [1].

Первый, кто систематизировал и описал глобально асинхронную локально синхронную схему, был Шапиро (1984) [3]. Он работал над выравниванием локальных частот с глобальными для предотвращения нестабильности.

Все асинхронные блоки объединяются в собственную самоконтролирующую сеть, и они имеют одинаковый протокол взаимодействия.

При анализе, почему GALS не принимается индустрией, было найдено несколько проблем, которые не решены до сих пор. Первое: плохо проработано проектирование связей внутри микросхем. Второе: основная сила GALS- это улучшение взаимодействия между частями микросхемы, лучшие показатели EMI и уменьшение потребления энергии, что не всегда достигается на практике. И последнее, разработанные приложения для GALS-проектирования не всегда хорошо вписываются в концепцию GALS.

Соответственно, решения для проектирования GALS нуждаются в следующем: стандартизация интерфейсов (сейчас в каждой разработке по GALS существует свой собственный интерфейс взаимодействия), проектирование GALS должно опираться на стандартные инструменты и технологии проектирования, дополненные специальными расширениями для асинхронного дизайна. Также средства проектирования GALS должны быть с открытым исходным кодом и в свободном доступе для быстрого развития и обмена опытом.

Из проектов в данном направлении за последнее время было реализовано два проекта:

- Проект GALAXY
- Проект SEDATE

Проект GALAXY – одна из последних разработок [4]. Он задумывался как проект, в котором будет разработан стандарт и определены инструменты для проектирования глобально-асинхронных локально синхронных интегральных схем.

По результатам исследований были разработаны:

- Стандарт Асинхронно/Синхронного Интерфейсного Протокола (Asynchronous/SynchronousIP (ASIP) standard). Он представляет собой формат файла для описания смешанных синхронно-асинхронных интерфейсов.

- GALAXYIDE—среда для редактирования описания GALS-микросхем.
- Пользовательский интерфейс для проектирования.
- Генератор кода для перевода ASIP-форматов SystemC, Verilog, ASM и VHDL.
- Интерфейс для связи с внешними инструментами.
- Интерфейс для моделирования.
- Дополнения для Verilog, SystemC, VHDL, Petri Nets, STG.

С помощью разработанных инструментов были получены:

- Методология калибровки сигналов таймера.
- Описание модели адаптеров в сетях Петри.
- Спроектирован процессор- IHP 60Gbit baseband processor
- Улучшены показатели ЕМІ.

Проект SEDATE занимался исследованием использования и адаптации различных стандартов для проектирования GALS [5]. В результате было представлено несколько адаптированных стандартов проектирования и среда разработки:

- Static/Dynamic Data Flow Structures (SDFS/DDFS).
- Среда - Workcraft framework для представления моделей графов.
- Улучшенный механизм дополнений к среде Workcraftframework.
- Разработано дополнение для сетей Петри и Графов перехода сигналов (SignalTransitionGraph (STG)).
- Интеграция моделирования микросхем с сетями Петри.
- Интерфейс для проверки и моделирования.

Текущие исследования призваны автоматизировать перепроектирование синхронных микросхем в GALS. На данном этапе были проведены исследования в области преобразования существующих глобальных синхронных микросхем в вид графа перехода сигналов (SDT) для последующей кластеризации (разбиения графа на кластеры).

Кластеризация позволяет разбить синхронную микросхему на почти независимые части для последующего объединения в GALS-структуру. Параметры разбиения должны быть сведены в формулу, которая учитывает различные параметры микросхем. Основной целью преобразования синхронных микросхем в GALS является уменьшение потребляемой энергии. Поэтому перевод в граф состояний из синхронной микросхемы должен учитывать параметры областей и частей микросхемы. После перевода микросхемы в граф состояний мы получаем представление микросхемы в виде направленного графа, в вершинах которого есть количественные оценки, а ребра представляют собой связи между компонентами микросхемы. Разбиение должно учитывать также расстояние между определёнными компонентами микросхемы.

В результате оценки параметров разбиения были получены следующие выводы:

- Представление:
  - Поведенческие свойства—поток данных.
  - Структурные свойства—соединения.
- Дополнительные свойства в описании графа:
  - Физические свойства - размещение, частота.
- Разбиение для целей оптимизации при проектировании:

- Скорость – минимизация количества ребер, соединяющих кластеры (для уменьшения задержки сигнала).
- Потребляемая энергия (минимизация ЕМІ).
- Размер микросхемы (на данном этапе проставляется наименее приоритетным параметром).

С данными ограничениями задача оптимального разбиения гиперграфа на части известна как NP-полная [6]. Тем не менее, с тех пор как разбиение на части является критичной для некоторых практических задач, были разработаны эвристические алгоритмы со временем выполнения, близким к линейному времени. Несколько эвристик, основанных на перемещении для разбиения на «К» частей, описывается в [7].

Согласно выводам, одним из основных методов является эвристика Fiduccia-Mattheyses (FM) и ее вариации. Эвристика FM не может получить оптимальный результат за линейное время, но позволяет получить приемлемый результат разбиения. Далее анализ может выполняться другими, более точными, но более сложными алгоритмами для маленьких кластеров. Проведенные исследования показали приемлемость эвристики Fiduccia-Mattheyses (FM) для целей кластеризации. Последующий анализ кластеров проводился перебором вариантов.

В заключение хотелось бы отметить, что исследования в данном направлении только начинаются, но уже получилось добиться результатов по преобразованию микросхем в вид графа перехода сигналов и его последующего анализа. Также был определен основной метод для разбиения графов - Fiduccia-Mattheyses (FM). Дальнейшие исследования должны показать возможности перевода графа перехода сигналов в микросхемы GALS и использование существующих адаптеров для соединения участков микросхем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Daniel M. Chapiro. Globally-Asynchronous Locally-Synchronous Systems. PhD thesis, Stanford University, October 1984.
2. A. Hemani, T. Meincke, S. Kumar, A. Postula, T. Olsson, P. Nilsson, J. Oberg, P. Ellervee, and D. Lundqvist. Lowering power consumption in clock by using globally asynchronous, locally synchronous design style. In Proc. ACM/IEEE Design Automation Conference, 1999.
3. David S. Bormann and Peter Y.K. Cheung. Asynchronous wrapper for heterogeneous systems. In Proc. International Conf. Computer Design (ICCD), October 1997.
4. Проект GALAXY. <http://www.galaxy-project.org/>
5. D. Sokolov, A. Yakovle. Clockless circuits and system synthesis. IEE Proc. Comput. Digit. Tech., Vol. 152, No. 3, May 2005.
6. F. A. Aloul, I. L. Markov and K. A. Sakallah, .Faster SAT and Smaller BDDs via Common Function Structure, *ICCAD*, 2001, pp. 443-448.
7. F. A. Aloul, I. L. Markov and K. A. Sakallah, .MINCE: A Static Global Variable-Ordering for SAT Search and BDD Manipulation., *Journal of Universal Computer Science*, vol. 10, no. 12, pp. 1559-1562, December 2004.

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ СТАБИЛИЗАТОРА РАСХОДА ВОДЫ

Алимшоева М.М., Логинов Г.И., Пархоменко Ю.Ф.

тел: (996-312) 44-95-76, (996-312)44-95-83; e-mail.ru: [munisa\\_mail@mail.ru](mailto:munisa_mail@mail.ru)

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызстан

Наиболее работоспособной и распространенной конструкцией стабилизатора, применяемой на энергетических и ирригационных системах, является стабилизатор расхода воды типа секционного ступенчато-коробчатого щита (ССКЩ) (рис.1).

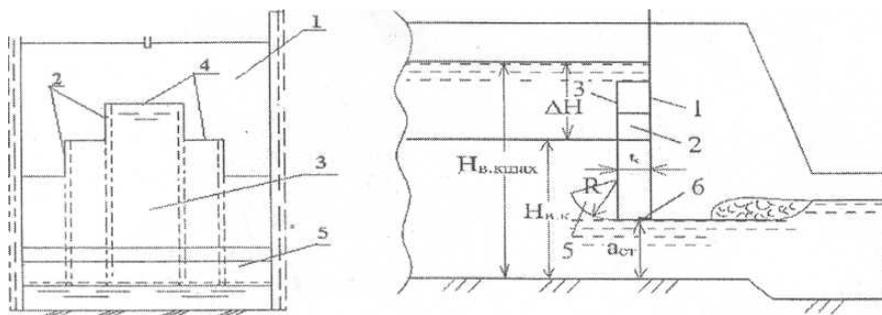


Рис. 1. Расчетная схема стабилизатора расхода типа ССКЩ: 1- плоский щит; 2- вертикальные перегородки; 3- передняя стенка; 4- полые секции; 5- криволинейный козырек; 6- горизонтальный козырек; 7- винт управления;  $H_{в.к.}$  - расчетный минимальный напор перед стабилизатором;  $H_{в.к.мах}$  - расчетный максимальный напор перед стабилизатором;  $a_{ст}$  - открытие стабилизатора;  $\Delta H$  - расчетная величина изменения напора перед стабилизатором;  $B_{во}$  - ширина в свету стабилизатора;  $R$  - радиус кривизны козырька;  $t_c$  - ширина короба.

Результаты испытаний на натуральных объектах (водозаборные сооружения на реке Сокулук в каналы Жантай, Казенный и Орто) показали следующие недостатки ССКЩ. Стабилизатор обеспечивает точность стабилизации расхода воды в пределах  $\pm 5\%$  в расчетном диапазоне изменения уровней в верхнем бьефе, что недостаточно для условия выполнения им функции водомерного устройства, требующего точности измерений расхода при водоподачи  $\pm 3\%$ ; проточные короба стабилизатора часто забиваются плавающим мусором и илстыми частицами.

При изменении величины открытия стабилизатора меньше максимальной расчетной величины  $a_{ст\max}$  функциональная зависимость  $a_{ст} = f(q)$  отклоняется от линейной. Анализ результатов моделирования (рис. 2) показал, что повышение точности стабилизации до  $\pm 3\%$  в конструкции приведенного прототипа связано с конструкцией передней стенки. Стенка с гребнем, выполненным в виде восходящих ступеней, переливаясь через которые водный поток при повышении уровня воды верхнем бьефе больше минимального расчетного  $H_{в.к.}$  в нижний бьеф поступает с различными значениями расходов. При разных напорах перед затвором попадает, на различных уровнях, в виде истечения через водослив или отверстие, по этой причине расходная характеристика  $Q = f(H_{в.к.})$  имеет повышенную амплитуду отклонений от расчетного значения расхода  $Q_p$

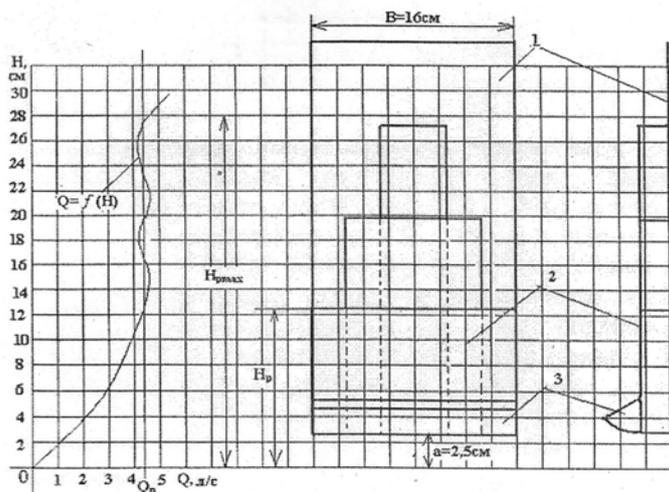


Рис. 2. Совмещенные расчетная схема стабилизатора расхода и графика зависимости  $Q = f(H_{вк})$ , 1- плоский затвор; 2- ступенчатая стенка; 3- криволинейный оголовок;  $Q_p$  - расчетный расход.

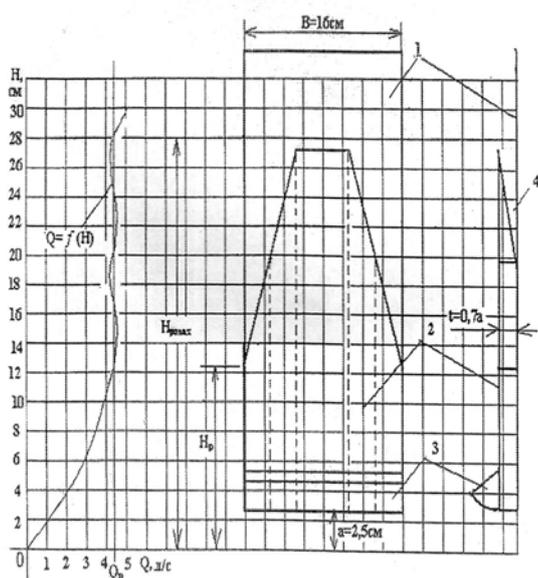


Рис. 3. Совмещенная расчетная схема стабилизатора расхода с трапециевидной передней стенкой и графика зависимостей  $Q=f(H_{вк})$ .

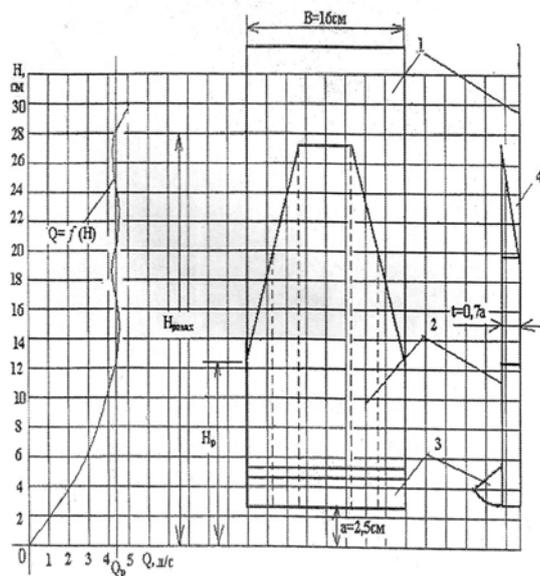


Рис. 3. Совмещенная расчетная схема стабилизатора расхода с трапециевидной передней стенкой и графика зависимостей  $Q=f(H_{вк})$ .

Для устранения этого недостатка вместо передней ступенчатой стенки нами была устроена трапециевидная стенка с наклонными боковыми гранями, которая позволила уменьшить амплитуду отклонений расходов в функции  $Q=f(H_{вк})$  (рис. 3).

Для уменьшения металлоемкости ширина короба стабилизатора  $t_c$  была уменьшена от величины максимального открытия аст max, до  $0,7 \text{ аст max}$ , а криволинейный оголовок выполнен без боковых пластин. Сокращение ширины короба обеспечило более ранний переход перелива воды через гребень передней стенки стабилизатора, в режиме истечения через отверстие, с равными уровнями воды в верхнем бьефе и у полотнища плоского щитового затвора. Это предопределило ускорение вступления в полноценную работу секций короба и более позднее их отключение.

Совмещение расчетных схем стабилизаторов расхода с различными по форме передними стенками их графиками зависимостей  $Q=f(H)$  позволило установить связь поведения расходной характеристики с расположением уровня воды в верхнем бьефе относительно проточных элементов устройства. При этом появилась возможность определения, при каких уровнях воды и режимах истечения через гребень передней стенки наблюдается равенство значений расходов истечения расчетному значению.

При оценки влияния формы гребня передней стенки на рабочие характеристики, нами был сделан вывод, что устройство сопротивлений при различных режимах истечения в отдельные секционные короба стабилизатора снижает амплитуду отклонений величин расходов поступающих из верхнего бьефа в нижний до 3% при отношении напоров  $H_{вктах}/H_{вк}=2,32$ . Этот факт доказывает, что проведенные усовершенствования улучшили рабочие параметры стабилизатора, переведя его в разряд водоемных устройств, при сохранении высокого диапазона колебаний расчетных расходов.

Внедрение представленных конструкций в производство (рис. 4) с последующими исследованиями подтвердило предположения.

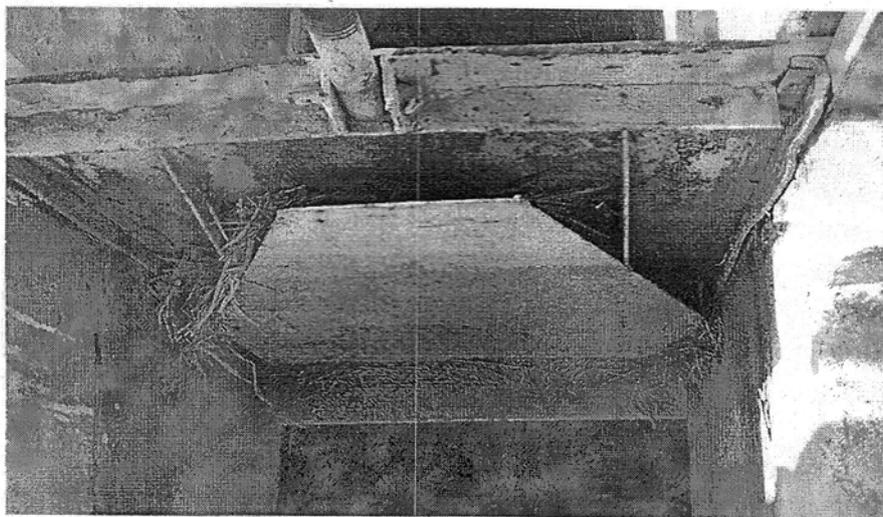


Рис. 4. Усовершенствованный стабилизатор расхода с трапециевидной передней стенкой, установленный на водоприемном оголовке ирригационной сети после 6-ти лет эксплуатации.

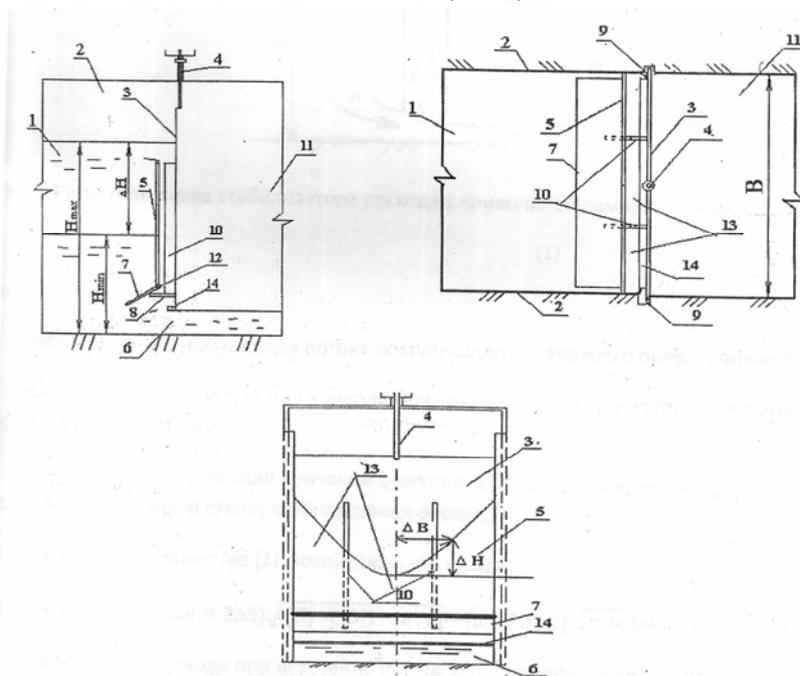


Рис. 5. Схема устройства новой конструкции стабилизатора расхода; 1- водоприемный оголовок; 2- береговой устой; 3- плоский щитовой затвор; 4- винтовой подъемник; 5- передняя стенка; 6- отверстие под затвором; 7- вращающаяся пластина; 8- штанга взаимодействия; 9- закладные части; 10- внутренние вертикальные перегородки; 11- отводящий канал; 12- шарнир вращения; 13- полые секции; 14- горизонтальный козырек.

Если первый негативный фактор был устранен при усовершенствовании стабилизатора, то при последующих только обострились. То есть устройство

дополнительных сопротивлений ухудшило очистку коробов от плавающего мусора, увеличило металлоемкость и не решило проблемы абсолютной линейности функции  $аст = f(q)$ .

Дальнейший анализ принципа действия, рабочих параметров и характеристик, существующих недостатков predetermined создание новой конструкции стабилизатора расхода типа «коробчатый щит» (рис. 5).

В ходе разработки конструкции была рассмотрена необходимость создания плавного увеличения и уменьшения величины расходов воды, подаваемой в полые секции через переднюю стенку при изменении уровней воды в верхнем бьефе перед стабилизатором. С этой целью верхняя кромка передней стенки была выполнена в виде параболы, горизонтальные координаты ЛВ которой находятся в функциональной зависимости с вертикальными координатами изменения уровней воды ЛН. Для вывода этой зависимости было рассмотрено уравнение баланса расходов поступающих в нижний бьеф через элементы стабилизатора расхода по расчетной схеме (рис. 6).

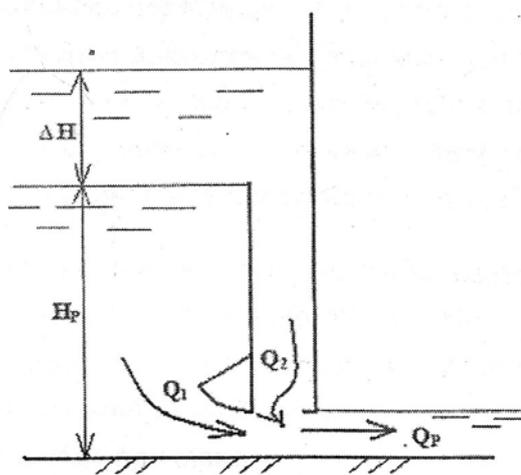


Рис. 6. Расчетная схема стабилизатора расхода с криволинейным козырьком.

$$Q_p = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

где:

$Q_p$  - расчетное значение расхода потока, поступающего из верхнего бьефа в нижний;

$Q_1$  - расход воды, проходящий под криволинейным козырьком при напорах в верхнем бьефе больше расчетного;

$Q_2$  - расход воды, поступающей в нижний бьеф через полые секции при истечении потока через переднюю стенку стабилизатора расхода.

В свою очередь уравнение (1) можно записать в виде:

$$\mu_{кк} B \sqrt{(H_p - аст)} = \mu_{кк} (B - 2\Delta B) \sqrt{H_p + \Delta H - аст} + \mu_{г.к.} 2\Delta B \sqrt{H_p + \Delta H - аст} \quad (2)$$

( $\mu_{кк}$  - коэффициент расхода при истечении из-под криволинейного козырька;

$аст$  - открытие стабилизатора;

$B$  - ширина отверстия под стабилизатором, соответствует ширине стабилизатора в свету;

$\mu_{г.к.}$  - коэффициент расхода при истечении из-под плоского затвора или горизонтального козырька.

Преобразовав уравнение (2), получаем зависимость для определения горизонтальной координаты  $2 \Delta B$ :

$$\Delta B = \frac{\mu_{кк} \sqrt{H_p + \Delta H - aсг} - \sqrt{(H_p - aсг)}}{(\mu_{кк} - \mu_{гк}) \sqrt{H_p + \Delta H - aсг}}$$

Для повышения эксплуатационной надежности разработанной конструкции стабилизатора расхода передняя стенка была отделена от плоского щитового затвора и жестко закреплена в береговых устоях. Это позволит облегчить очистку полых секций при их засорении путем вертикального перемещения затвора относительно уровней воды в верхнем бьефе при регулировании расходов подаваемых в нижний бьеф. Последний фактор предупреждает погружение нижней отметки гребня передней стенки под уровень воды при расчетном напоре в верхнем бьефе и, тем самым, предотвращает преждевременное включение в работу секций стабилизатора.

Криволинейный козырек представленных выше стабилизаторов расходов (рис. 1, 2, 3) состоит из двух элементов: нижней криволинейной пластины и верхней - наклонной. В свою очередь, верхняя пластина является образующей гидравлической струи, поверхность которой описывает криволинейная пластина своим продольным контуром, рассчитанным на пропуск расхода при максимальном открытии. На наш взгляд это негативно отражается на функциональных связях гидравлических параметров стабилизатора при малых открытиях, а в частности на линейности зависимости  $aсг = f(q)$ . По этой причине в новой конструкции стабилизатора отсутствует нижняя криволинейная пластина козырька, а верхняя наклонная выполнена плавающей с перемещением вокруг оси шарнира вниз под действием силы тяжести, вверх управляемая штангой взаимодействия. Положение наклонной пластины фиксируется штангой взаимодействия, жестко закрепленной на плоском щитовом затворе, при регулировании величины открытия стабилизатора. Величина открытия плавающей пластины находится в определенной пропорциональной зависимости от открытием плоского щитового затвора.

Выполнен расчетный анализ применения уравнения баланса расходов (1) к предложенной конструкции стабилизатора (рис. 5) для определения горизонтальной координаты  $2 \Delta B$  относительно расчетной схемы (рис. 7) :

$$2 \Delta B = \frac{aпп \mu_{пк} \sqrt{H_p + \Delta H - aсг} - \sqrt{(H_p - aсг)}}{(\mu_{пк} - \mu_{гк}) \sqrt{H_p + \Delta H - aсг}},$$

где  $\mu_{пк}$  - коэффициент расхода воды при истечении из под вращающейся пластины, может быть принят, согласно рекомендациям (3), равным коэффициенту расхода  $\mu = 0,57$  истечения из-под щита при наклонном его расположении ( $\beta = 110$  градусов);  $\mu_{гк}$  - коэффициент расхода воды при истечении из-под горизонтального козырька;  $aпп$  - величина открытия плавающей пластины.

Приняв равенство коэффициентов расхода истечений из-под плавающей пластины и горизонтального козырька, а также выразив отношение  $aгк/aпп = aпп$ , уравнение (4) примет вид:

$$2\Delta B = \frac{\varepsilon_{пп} \nu \mu_{лк} \sqrt{H_p + \Delta H - a c t} - \sqrt{(H_p - a c t)}}{\varepsilon_{пп}(\mu_{лк}) \sqrt{H_p + \Delta H - a c t}},$$

где  $\varepsilon_{пп}$  - коэффициент сжатия струи при истечении воды из-под плавающей пластины, закрепленной через шарнир на передней стенке стабилизатора, может быть принят равным 0,588 (3).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рохман А.И. Стабилизаторы расхода воды типа «Секционный коробчатый щит» и методика их работы. Сельское хозяйство Кыргызстана: проблемы и достижения в образовании и научно-исследовательской работе / Сборник научных трудов КАА. Вып 2. Секция: Гидромелиорация и землеустройство. Бишкек/ 1999. С. 38-43.
2. Бекбоев Р.С., Рохман А.И., Атаманова О.В., Омуралиева У.С. Реконструкция комплекса сооружений на внутривоспольственной оросительной сети. Наука и новые и новые технологии. Материалы 1-го съезда инженеров Кыргызской Республики. Бишкек. 2002. № 1. С. 86-89.
3. Справочник по гидравлическим расчетам. П.Г. Киселев, А.Д. Альтшуль, Н.В. Дальниченко и др. Под ред. П.Г. Киселева. М.: Энергия. 1972. 294 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

№		стр.
1	Инчин П.А., Шпади М.Ю. РАДИОЗАТМЕННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА С ПОМОЩЬЮ НАНОСПУТНИКОВ	3
2	Лозбин А.Ю., Инчин П.А, Шпади М.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ ВНЕШНЕЙ ИОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ ИЗЛУЧЕНИЕМ НАГРЕВНОГО СТЕНДА НААРР	7
3	Иванчукова А.В., Джунисбекова В.Е. ОЦЕНКА СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДОВ АСТАНА И АЛМАТЫ ПО ДАННЫМ РАДАРНОЙ СПУТНИКОВОЙ СЪЁМКИ	12
4	Тойшиев Н.С., Нуракынов С.М. ВАРИАЦИИ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ В ПЕРИОД ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 18 МАРТА 2011 ГОДА	16
5	Кайранбаева А.Б., Садыков К.А., Виляев А.В. ОБРАБОТКА ДАННЫХ И ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ GPS-ПУНКТА «ТУРГЕНЬ»	22
6	Рябенко О.В., Соколов А.Н. ЗАПИСИ СТАНЦИЙ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С ОЧАГАМИ НА ТЕРРИТОРИИ АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ	25
7	Чалова В.С. ОБЛАЧНОЕ ХРАНИЛИЩЕ ДАННЫХ (НА ПРИМЕРЕ СЕЙСМИЧНОСТИ)	31
8	Мамбетсадыкова А., Маметова Б.К., Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. РОЛЬ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ОБРАБОТКЕ РЕЖИМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КЫРГЫЗСТАНЕ	34
9	Мамбетсадыкова А.А., Иманкулов Б., Суранова К.Ж. ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ УЛУЧШЕНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ ЧУЙСКОЙ ВПАДИНЫ	40
10	Маметова Б.К., Иманкулов Б., Кендирбаева Дж.Ж., Гребенникова В.В. СОЗДАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ В КОЧКОРСКОЙ ВПАДИНЕ	46
11	Волкова Т.Л. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ СБОРА СТАТИСТИКИ СЕТЕВЫХ ИТЕРФЕЙСОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	52
12	Крупенникова И.С., Галаганов О.Н. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ АЗИИ	57
13	Лужанская Т.А. ДЕФОРМАЦИОННОЕ УПРОЧНЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД	60
14	Долгушев В.Г., Воробьев Д.А., Коваленко В.А. ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «BLAST MAKER» - НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА КАРЬЕРАХ	63
15	Гасанова А.Т. ОРГАНИЗАЦИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ОЦИФРОВКЕ ГОРОДСКИХ И СЕЛЬСКИХ КАДАСТРОВЫХ КАРТ	65

16	Едигенов М.Б. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТОЧНЫХ ВОД АО «ССГПО» И ГОРОДА РУДНОГО В СЕВЕРНОМ КАЗАХСТАНЕ НА ПОДЗЕМНУЮ ГИДРОСФЕРУ И РЕКУ ТОБОЛ	67
17	Едигенов М.Б. ПРОГНОЗЫ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВАСИЛЬЕВСКОГО НАКОПИТЕЛЯ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА В ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И РЕКУ ТОБОЛ	69
18	Коваленко В.А., Райымкулов М.А. ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ	71
19	Шакиров А.Э. ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ЛЕДНИКА ЮЖНЫЙ ЭНИЛЧЕК	73
20	Полинчук А.Ю., Закупин А.С. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ОТ СЕЙСМОСТАНЦИИ REFTEK 130 DAS	75
21	Плисовицкая Е. А., Бобровский В. В., Брагин В. Д. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ГЕОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ КОРЫ	79
22	Лазарева Е.А. ТИПЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОМЕХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГЕОМАГНИТНОГО МОНИТОРИНГА	85
23	Матюков В.Е. МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЕ И МАНГИТОВАРИАЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ПАМИРО-АЛАЙСКОМ РЕГИОНЕ	93
24	Мясников Д.С. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРИЕМНОГО ТРАКТА ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ	98
25	Лашин О.А. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНИХ АМПЛИТУД ЗОНДИРУЮЩИХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА С ШУМОПОДОБНЫМИ СИГНАЛАМИ	106
26	Мансуров А.Н. РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО ДАННЫМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ	112
27	Мансуров А.Н. РЕШЕНИЕ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ДЛЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ВПАДИНЫ	118
28	Енягин Ю.В. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ЛИНЕЙНО-УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	124
29	Мажников М.С. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ GPS- ИЗМЕРЕНИЙ	129
30	Забинякова О.Б. ПРОЕКЦИОННЫЕ РАЗНОСТНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ МАКСВЕЛЛА	134
31	Турдушев И.А. ВЕТРОВЫЕ ТЕЧЕНИЯ В ВОДОЕМЕ: АНАЛИЗ МОДЕЛИ, ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ	139

32	Махмудов. Е.Р. ПЕРЕНОСНОЙ РЕГИСТРАТОР ИНФРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ АТМОСФЕРЫ JORES	144
33	Усупов Ш.Н. ОБ ОПЫТЕ ПОИСКА И РАЗВЕДКИ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТРУБОК ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	149
34	Воронцова Е.В. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВАРИАЦИЙ ПЭС И ИОНОГРАММ ДЛЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ, СВЯЗАННЫХ С СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ	150
35	Мубассарова В.А., Закупин А.С. СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ	155
36	Мубассарова В.А., Закупин А.С. ПРОГРЕССИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ, СЫПУЧИХ СРЕД И ЖИДКОСТЕЙ	160
37	Исаков С.С., Габдулин Р. Р., Гейбель Ю.А., Шабуров Д.Ш. МИКРОКОНТРОЛЛЕРНОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРОВАЛЬНЫМ СТАНКОМ НА БАЗЕ МИКРОСКОПА	165
38	Ню В.В. ПЕРЕДАЧА ЭНЕРГИИ УДАРА В СИСТЕМЕ «БОЕК- ИНСТРУМЕНТ-ПЛАСТИНА» ПРИ УПРУГОЙ КОНТАКТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ИНСТРУМЕНТА И ПЛАСТИНЫ	171
39	Ню В.В. ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ «БОЕК-ИНСТРУМЕНТ-ПЛАСТИНА» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ УДАРА	176
40	Колесников Н.А. ВЛИЯНИЕ ВИДА СВЯЗИ УДАРНОЙ МАССЫ С БАЛКОЙ КОРОМЫСЛОВОЙ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БАЛКИ	180
41	Дроздова И.С. КОЛЕБАНИЯ ОСНАЩЕННОГО СТЕРЖНЯ ПОСЛЕ УДАРА ПО ЖЕСТКОЙ ПРЕГРАДЕ	186
42	Муктарбекова Г.М. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ РЕАКЦИЙ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАХ МАНИПУЛЯТОРА ОТБОЙНОГО АГРЕГАТА	190
43	Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э. ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ПОДАТЛИВОСТИ КОРОБА НА КОЭФФИЦИЕНТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СКОРОСТИ ШАРА ПРИ УДАРЕ ПО ЕГО ПОВЕРХНОСТИ	193
44	Васильков Р.Е., Еремьянц В.Э., Панова Л.Т. ВЛИЯНИЕ КООРДИНАТ ПРИЛОЖЕНИЯ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ НА ПОДАТЛИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КОРОБА	197
45	Арстанбек Алишер ДИНАМИКА КОРПУСА КРИВОШИПНО- КОРОМЫСЛОВОГО МЕХАНИЗМА МО-10	202
46	Степанов С.Г., Забирова Э.К., Рахимов Д.Р. УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТЯГОВОГО КАНАТА ОТ ОБРЫВА	206
47	Аристархов С.О., Пархоменко Ю.Ф. К ВОПРОСУ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ НИЗОВОГО ОТКОСА	208
48	Верзунов С.Н. АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА	212

49	Кроха А.А. ПРИМЕНЕНИЕ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА И МЕТОДА ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ ПРИ РАСЧЕТЕ ОБЪЕМА ПРОДАЖ ФИРМЫ	217
50	Булавин А.В. КРИТЕРИИ И СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОЦЕНКИ ОПТИМИЗАЦИИ АНАЛИТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	217
51	Алкадыров А.С. АУДИТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	221
52	Беляев А.А. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНО-АСИНХРОННЫХ ЛОКАЛЬНО-СИНХРОННЫХ МИКРОСХЕМ (GALS)	222
53	Алимшоева М.М., Логинов Г.И., Пархоменко Ю.Ф. УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ СТАБИЛИЗАТОРА РАСХОДА ВОДЫ	226
	СОДЕРЖАНИЕ	233

Тираж 150 экз.  
Формат издания 60x84 1/8. Объем 20 п.л.  
Научная станция РАН в г. Бишкеке