

УЎК: 550.34

ЯРАТИЛГАН АВТОНОМ РАҚАМЛИ СЕЙСМИК СТАНЦИЯНИНГ САМАРАДОРЛИГИ

Тўхтасинов Аҳмаджон Ҳасанжон ўғли,
геофизикавий тадқиқот усуллари кафедраси таянч докторанти;

Хусанбаев Даврон Джураевич,
геофизикавий тадқиқот усуллари кафедраси доценти

Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университети

Аннотация. Мақола 3 каналли автоном рақамли сейсмик станцияни яратиш бўйича бажарилаётган илмий тадқиқот натижаларига асосланган. Ушбу станция сейсмик сигналларни очиқ каналда, турли кучайтирилиш имкониятига эга, 8 дан 50 миллисекундгача бўлган дискретизация қадами билан, 20 ва ундан ортиқ сутка вақт узлуксиз ёзиб, GPS ўрнатилганлиги вақт ва координаталар аниқлигини таъминлаб беради. АРССнинг техник характеристикалари ишлаб чиқилган, блок-схемалари тузилган ва унинг ишлаш алгоритмлари кўрсатилган. Сейсмик станциянинг намунаси яратилган, станцияни қўллаш мумкин бўлган соҳалар, ҳал этилиши мумкин бўлган муаммолар кўрсатиб ўтилган. Сейсмик станциянинг ўлчамлари ва оғирлигининг кичик эканлиги логистик харажатлар, яъни дала ишлари харажатларини бир неча баробарга қисқартиради, етарлича катта хотира ҳажми, фойдаланиш қулайлиги ва сейсмик ҳодисаларни рақамли қайд этишининг мукамал сифати станциядан кенг қўламда фойдаланиш учун шароит яратади.

Таянч тушунчалар: рақамли сейсмик станция, сейсмометр, дискретизация, GPS, сейсмология, АРСС, кристалл пойдевор, Мохо юзаси.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЗДАННОЙ АВТОНОМНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Тухтасинов Аҳмаджон Ҳасанжон ўгли,
базовый докторант кафедры геофизических методов исследования;

Хусанбаев Даврон Джураевич,
доцент кафедры геофизических методов исследования

Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека

Аннотация. Статья посвящена научным исследованиям по разработке 3-канальной автономной цифровой сейсмической станции (АЦСС), которая будет иметь возможность регистрации сейсмических сигналов в открытом канале, с длительностью записи до 20 суток и шагом дискретизации от 8 до 50 миллисекунд, с различными степенями усиления сигнала, а также запуска с GPS. Проведены анализ и систематизация существующих материалов по теме, определены характеристики АЦСС, составлены блок-схемы, алгоритмы работы и пусконаладки станции. Собран пилотный образец сейсмической станции и проведено тестирование плат. Небольшие размеры и вес сейсмической станции снижают затраты на логистику, т. е. полевые работы обходятся в несколько раз дешевле, а достаточно большой объем памяти, простота использования и отличное качество цифровой записи сейсмических событий создают условия для широкомасштабного использования станции.

Ключевые слова: цифровая сейсмическая станция, дискретизация, GPS, сейсмология, АЦСС, кристаллический фундамент, поверхность Мохо.

THE EFFECTIVENESS OF THE AUTONOMOUS DIGITAL SEISMIC STATION

Tukhtasinov Akhmadjon Khasanjon ogli,

Basic Doctoral Student of the Department of Geophysical Research Methods;

Khusanbayev Davron Djourayevich,

Associate Professor of the Department of Geophysical Research Methods

National University of Uzbekistan

Abstract. The article is based on the results of scientific research on the creation of a 3-channel autonomous digital seismic station. The station is launched using a GPS navigator, recording seismic signals in an open channel, with different amplification, with a sampling step of 8 to 50 milliseconds, continuous recording for 20 days or more. The paper develops the technical characteristics of ATSSS, creates the block diagrams and shows the algorithms of its performance. A sample of the seismic station has been elaborated, which shows the problems to be solved by the areas in which the station can be applied. The small size and weight of the seismic station reduce logistics (field work) costs, i.e., field work is several times cheaper, and a sufficiently large memory capacity, ease of use and excellent quality of digital recording of seismic events create conditions for large-scale use of the station.

Keywords: digital seismic station, seismometer, sampling, GPS, seismology, ASP, MOVZ, crystal foundation, Moho surface.

Кириш

Дунё бўйлаб кўп сонли табиий офатлар ва вайронагарчиликлар билан боғлиқ бўлган энг катта геофизик офатлар литосферанинг сейсмик фаоллиги натижасида рўй беради, бу кўпинча зилзилалар кўринишида намоён бўлади. Зилзилалар, умуман олганда, ернинг ички қисмидаги эластик деформацияланган жинсларда тўпланган потенциал энергиянинг ушбу жинсларнинг тебраниш энергиясига ўтишини англатади. Содир бўлган эластик тебранишлар зилзила ўчоғи марказидан ҳар хил масофаларга тарқалади ва муҳим маълумот манбаи бўлиб хизмат қилади. Улар ҳодисаларнинг асосий хусусиятларини (сейсмиклик, ер қобиғининг ҳаракатлари, ер юзаси плиталари ҳаракати, деформациялар) ва зилзила параметрларини (магнитуда, энергия, эпицентр-гача бўлган масофа ва бошқалар) аниқлашга имкон беради. Бундан ташқари, ушбу маълумотлар геофизик ишларни бажариш учун ҳам хизмат қилади, яъни улардан ер қобиғининг геологик-геофизик ички тузилиш моделини қуришда фойдаланилади.

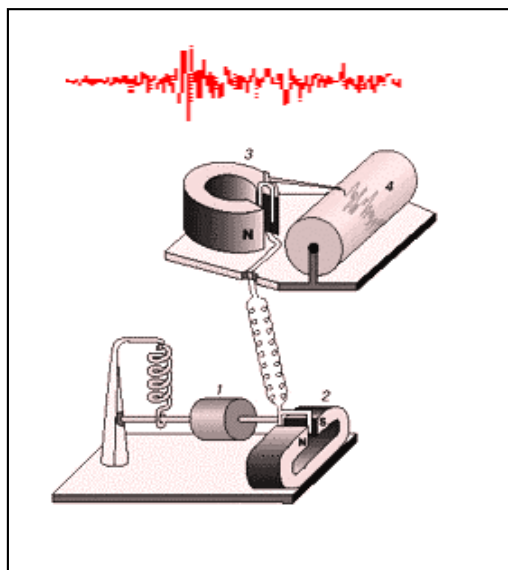
Ўтган асрнинг 60-йилларида сейсмология ва сейсмик қидирувларда P, Ps, Sp, S тўлқинларининг кенг синфидан фойдала-

нишнинг янги услуби (MOVZ-зилзилаларнинг алмашилган тўлқинлари усули) пайдо бўлди. Бу тўлқинларни қайд этишнинг оддий усули зилзила натижасида содир бўлган эластик тўлқинлардан фойдаланишдир. Аксинча ҳолатда эса бундай энергияга эга бўлган тебранишни ҳосил қилиш катта харажат ва атроф-муҳитга талофат келтирганлиги сабабли сунъий йўл билан бундай ер силкинишининг ҳосил қилиш имкони йўқ. Шунингдек, турли зилзилалардан келиб чиқадиган ёзувларнинг статистик тўпланиш имконияти Ps тўлқинларини ер қобиғи ва юқори мантиянинг чуқурликдаги тузилишини ўрганишда асосий манба сифатида танлашга имкон беради [1].

Маълумки, Россия империяси ҳудудида кучли зилзилалар ҳақида биринчи сейсмографик маълумотлар XVII-XVIII асрларга бориб тақалади. Сейсмик ҳодисаларнинг географияси ва табиатини тизимли ўрганиш XIX аср охири ва XX аср бошларига тўғри келади. Улар Иван Васильевич Мушкетов, академик, князь Б.Б. Голицин (1850–1902) номлари билан боғлиқ. Бу олимлар мамлакатдаги биринчи зилзилалар каталогини, Александр Петрович Орлов эса (1840-1889) "Россия империясининг зилзилалар каталоги"ни

тузган. Йиллар мобайнида сейсмик ҳодисаларнинг геологик табиатига асосий эътибор қаратилди. Бунда К.И. Богданович, В.Н. Вебер, Д.И. Мушкетов, Ф. Монтесу де Баллор, А. Зеберг ва бошқаларнинг

илмий изланишлари фан ривожланишига катта ҳисса қўшди. Шу билан бирга, сейсмометрик ускуналар ишлаб чиқилиб, сейсмик станциялар тармоғи яратила бошланди.



1-расм. Б.Б. Голицин томонидан яратилган электромагнит сейсмографнинг тузилиши ва ишлаш принципи

1-тупроқнинг тебраниши пайтида мувозанат ҳолатини сақловчи вертикал маятник; 2-электр сигнал узатиладиган доимий магнит майдонидаги маятникнинг ҳаракатланувчи учидagi тупроқнинг механик тебранишларига ўхшаш шаклдаги ҳаракатланувчи рамка; 3-маятник доирасидан келадиган электр сигнални ўзгартирадиган ва қоғоз ёки ойнага ёзувчи; 4-сейсмограммани ёзиб оладиган қоғозли барабан.

Тадқиқот методологияси

Сейсмографлар яратишда уларнинг аниқ ишончли маълумотга эга бўлиши устида иш бошлаган дастлабки олимлардан бири Борис Борисович Голицин (1862–1916) бўлиб, у 1902 йилда рус сейсмологияси ва жаҳон сейсмометриясининг асосларини яратди. Унинг фаолияти билан зилзилаларнинг табиати ва сабабларини ўрганишда янги физик-математик давр бошланди.

Б.Б. Голициннинг ўта сезгир сейсмографларни яратиши ва Пулково, Боку, Иркутск, Макеевка, Тошкент ва Тифлида биринчи сейсмик станцияларнинг очилиши туфайли сейсмик ҳодисалар ва ёзувлар ҳақида энг ишончли маълумотлар олина бошланди.

XX асрнинг 60-йилларига келиб, сейсмик асбобларнинг магнит тасмага қайд қилувчи янги авлоди яратилди. Албатта, уларнинг имкониятлари мавжуд-

ларига қараганда анча юқори эди. Магнит тасмада маълумотни рўйхатга олиш, уни таҳлил қилишда турли хил услубий усулларни қўллаш учун кенг имкониятлар мавжуд эди. Тўлқинларнинг кинематик ва динамик хусусиятларини ўрганиш, спектрал ва поляризация таҳлилларини ўтказиш, рақамли ишлов бериш ва бошқалар шулар жумласидан. Шу билан бирга, ишлаб чиқарилаётган асбоблар тадқиқотнинг геологик ва иқтисодий самарадорлигини ошириш ҳамда узоқ вақт автоном ишлаш қобилиятига эга бўлган. 1969 йилда “Казгеофизприбор” заводи томонидан СССР Фанлар Академиясининг Физика институти ташаббуси билан магнит лентали “Черепаха” номли сейсмик қайд этгич яратилди [2]. 1973–1991 йилларда ушбу асбоб турли хил модификацияларда ишлаб чиқарилди. “Черепаха” билан магнит ленталарга ёзиб олинган сейсмик ёзувларни қайта ишлаш учун ВСС-12 мо-

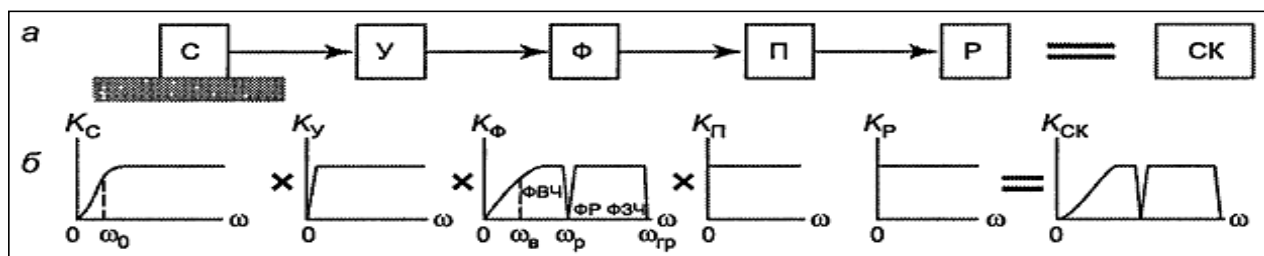
делли кўшимча кузатув қурилмаси ёрдамида керакли сейсмик ёзувлар ажратилиб, рақамли кўринишга олинган.

Аналоги ушбу асбоб сигнал спектрларини транспозиция қилиш принципи асосида ишлайди. Бу эса қуйидагиларни таъминлашга имкон берди: 1) сейсмик маълумотларнинг узлуксиз узоқ вақт давомида магнит тасмада ёзиб олиниши; 2) автоном станцияларнинг магнит тасмаларида қайд этилган маълумотларга ишлов бериш вақтини қисқартириш; 3) қайд этилган ультра паст частотали маълумотларни қайта ишлаш.

Ҳозирги кунга келиб, магнит тасмаларнинг эскириши қайд қилинган сейсмограммалар сифатининг ёмонлашувига, бу эса, ўз навбатида, сейсмограммаларни визуализация қилиш ва қайта ишлашда муаммолар келиб чиқиши ҳамда дала ишларини олиб боришда мураккабликларга олиб келади.

Сейсмик тадқиқотларда рақамли қайд қилиш станцияларидан фойдаланиш сейсмология ва сейсморазведкада жуда муҳим янги қадам бўлди [1]. Рақамли қайд қилиш усули, бир томондан, сейсмик майдонни кузатишнинг аниқлигини бир неча марта оширган бўлса, иккинчи томондан, фақатгина рақамли сейсмик маълумотларни ЭҲМда турли дастурлар ёрдамида тўлиқ қайта ишлаш имконини яратади ва бу жараёни тўлиқ автоматлаштириш имкониятини беради.

Сейсмик канал (СК) бешта кетма-кет ишлайдиган модулларни ўз ичига олади: а) сейсмик қабул қилгич (С), кучайтиргич (У), филътр (Ф), аналог-рақамли конвертор (П) ва қайд қилгич (Р). Улардан дастлабки учтаси (С-У-Ф) каналнинг аналог қисмини, охири иккитаси (П-Р), унинг рақамли қисмини ташкил этади (2-расм).



2-расм. Сейсмик қайд қилиш канали (СК)

а) ускуна сейсмик каналнинг таркибий қисмлари; б) умумий ҳолда таркибий қисмлар ва каналнинг амплитуда-частотали тавсифи.

Рақамли ёзувда доимий электр токи бир зумда иккилик кодда рақамланган амплитуда намуналарига айлантиради. Бунинг учун иккита операция кетма-кет бажарилади: 1) вақтни квантлаш; 2) ўлчов олиш ва даражани квантлаш, кодлаш.

АЦП (аналог-рақамли конвертор) чиқишдан сейсмик тебранишлар дискрет намуналарининг рақамли қийматлари рақамли қайд қилувчига юборилади. У ерда улар маълум бир ёзиб олиш мосламаси ёрдамида магнит муҳитда иккилик кодга айлантиради ва қайд этилади. Натижада олинган ёзув – рақамли сейсмограмма, сейсмик ёзув формати деб номланадиган маълум тузилишга эга бўлади. Замонавий сейсмик станцияларда халқаро сейсмик

қидирув амалиётида қабул қилинган бир нечта ёзувни сақлайдиган стандарт форматларидан бирини танлаш мумкин. Бундай бирлаштириш турли хилдаги сейсмик станциялардан олинган дала ёзувларини бир текисда ўқий олиш имконини беради [3].

Экспериментал геофизиканинг ривожланиши янги илмий қарашлар, ғояларнинг ривожланиши, мавжуд сейсмик ёзув ускуналарини такомиллаштириш билан узвий боғлиқдир. Рақамли қайд қилиш сейсмик кузатув тизимларининг кўламани сезиларли даражада оширишга имкон беради. Сейсмик станцияларнинг оғирлиги ва ўлчамлари, шунингдек, хусусий шовқин даражасини пасайтириш, сиг-

наллар сифати ва станциялар узоқ вақт мустақил ишлаш қобилиятини ошириш, маълумотни компьютерга ортиқча жараёнларсиз тез ва осон узатиш, координаталар билан боғлиқ муаммолар бўлмаслиги учун GPS-дан фойдаланиш сейсмик станциянинг амалиётда самарали ишлашига имкон беради.

Бугунги кунда сейсмология ва геофизиканинг регионал ишларини бажаришда қўлланилаётган усул эластик тўлқинларни уч компонентли қайд этиш усули бўлиб, бу усул сейсмометрлардан олинган тебранишлар маълумотларини учта ўзаро перпендикуляр йўналишда қайд этиш имконини беради: битта вертикал (Z-компонент) ва шимолга (N-компонент) ҳамда шарққа (E-компонент) йўналтирилган иккита горизонтал компонент [4]. Дала сейсмик маълумотларини тўплаш тизимларини ривожлантиришдаги асосий тенденция дастурий таъминотнинг кучайиши ва уларнинг аппаратларини минималлаштиришдир. Бунда катта мослашувчанликка ва тизимларни созлаш, бошқариш ва улардан фойдаланиш жараёнида юқори даражадаги автоматлаштиришга эришилади.

Таҳлил ва натижалар. Юқоридаги хусусиятларга эга автоном рақамли сейсмик станцияни яратишда қуйидаги техник хусусиятлар белгилаб олинди. Сейсмик сигналларни очиқ каналда ёзиб олиш, узлуксиз рўйхатга олиш муддати 20 кунгача ва дискретизация қадами 8 дан 50 миллисекундгача, турли даражадаги сигналларни кучайтириш ва GPS орқали аниқ вақт ва координаталарни белгилаш аниқлигини таъминлаб беради. Станцияни ишга туширишда бошқарув блоки Wifi ва USB орқали боғланиб (ноутбук, планшет ёки уяли телефон орқали) ишга туширилиши мумкин. Агар керак бўлса, йиғилган маълумотни кейинчалик қайта ишлаш учун сейсмик станцияни тўхтатмасдан USB порт орқали файлларни компьютерга юклаб олиш имконини беради. Сейсмик сигналларни рақамли қайд қилиши ва нисбатан ихчам ўлчамлари туфайли янги станция дала ишларини амалга ошириш учун мослашувчан схемани ташкил қилиш, логистика харажатларини камайтириш орқали молиявий ресурсларни тежаш ва дала ишлари тезлигини ошириш имконини беради (жадвал).

Жадвал

АРСС нинг асосий техник тавсифлари қуйидагилардан иборат

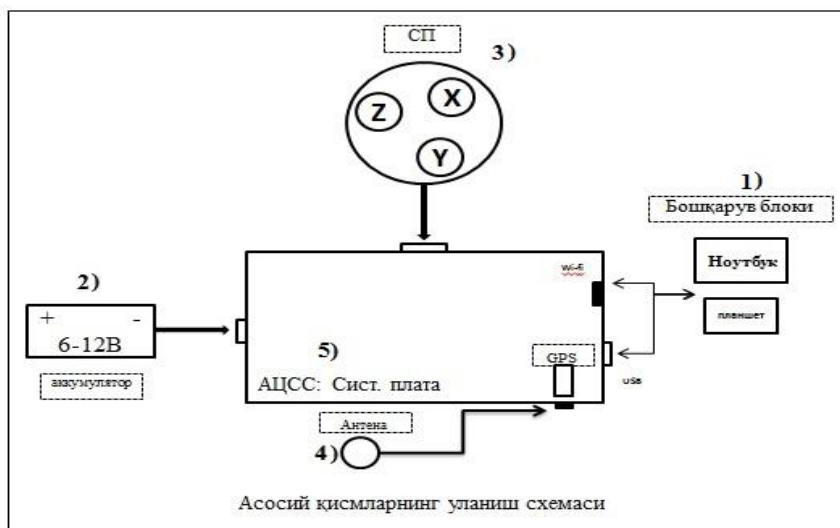
1.	Кирувчи каналлар сони:	3
2.	Разрядлар сони:	АЦП 24
3.	Кучайтириш босқичлари:	1,2,4,8,16,32,64
4.	Кирувчи максимал сигнал:	5.0 V
5.	Икки ёнма-ён каналлараро ўзаро таъсирланиш (dB, максимал):	80 dB
6.	Дискретлаш оралиғи (мс):	8,16,24,32,50
7.	Flash-хотирага маълумотларни сақлаш кенгайтмаси:	ZXY
8.	Flash-хотира сиғими (Gb, минимум):	1 Gb
9.	Flash-хотира сиғими (Gb, максимум):	16 Gb
10.	Сейсмостанция билан ишлаш:	РС билан "dialog" режимида
11.	Маълумотларни қайд этиш тури:	Тўхтовсиз
12.	Қайд қилишни 100 % назоратида сейсмограммаларни Flash-хотирага ёзиш (секунд):	3
13.	Вақтларни синхронлаш аниқлиги (3 та сунъий йўлдош кўринаётганда):	1 ms дан кам эмас
14.	АЦСС ишчи ҳарорати оралиғи (град. С):	-20 ... +40
15.	Электр таъминоти тури:	Аккумулятор
16.	Электр таъминоти кучланиши (V):	6V...15V
17.	Электр таъминоти қуввати:	6V дан 12V гача кучланишда 1.5 A/сутка
18.	Сейсмостанциянинг оғирлиги (кг):	0.5
19.	АЦСС нинг габарит ўлчамлари (датчикларсиз) (мм):	80x80x50

ЕР ҲАҚИДАГИ ФАНЛАР

Станция ҳар қандай импульсли сейсмик сигнал манбалари билан ишлаши мумкин. Станциянинг кичик ўлчамлари ва оғирлиги, кам энергия истеъмоли, хотиранинг етарлича катта ҳажми, станцияни сейсмологик кузатув тизимини кенгайтириш, МОВЗ усули ёрдамида минтақавий сейсмик қидирув ишларини бажариш (ер қобиғининг чуқур тузилишини ўрганиш, мезозойгача ва кристалли пойдеворни аниқлаш, Мохоровичич чегарасини аниқ-

лаш) ва бошқа геологик муаммоларни ҳал қилишда фойдаланиш имконини беради [5].

Сейсмик станция (АЦСС) қуйидаги блоklar ва тизимлардан иборат: бошқарув блоки; сейсмик сигналларни тўплаш блоки, аниқ вақт тизимлари, АЦП платаси, маълумотларни компьютерга узатиш тизимлари, энергия манбаи тизими (УПС) ва сейсмометр ёрдамчи қурилмалар комплекти (3-расм).

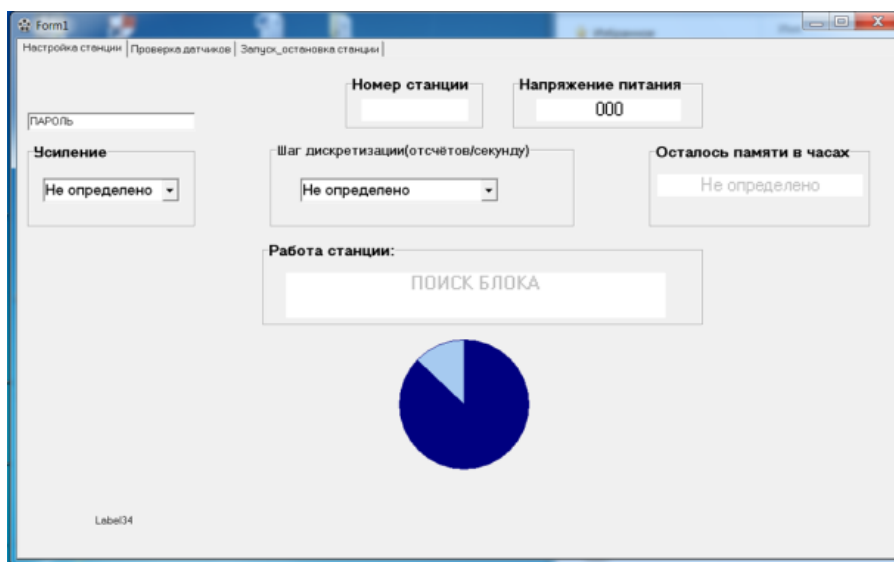


3-расм. АРСС асосий қисмларининг уланиш схемаси

1) бошқарув блоки; 2) аккумулятор; 3) сейсмоприёмник (датчик);
4) GPS антенна; 5) АЦСС сейсмик станция.

АРСС бошқарув блоки компьютер дастурий таъминоти орқали ноутбук ёки планшет, мобил телефондан фойдаланган

ҳолда ишга туширилади ва бу учун USB ёки Wi-Fi ёрдамида уланиши мумкин (4-расм).



4-расм. Станция ишлайдиган тўртта асосий режим

1) станцияни созлаш; 2) сейсмоприёмникларни текшириш; 3) маълумотларни хотирага ёзиш;
4) маълумотларни компьютерда кўрсатиш.

ЕР ҲАҚИДАГИ ФАНЛАР

АРССни бошқариш тўртта асосий режимдан иборат:

- “НАСТРОЙКА СТАНЦИИ” – кириш сигналларининг ёзиб олиш параметрларини керакли ҳолатга келтириб созлаш мумкин (маълумотларни қайд этиш қадами, кучайтириш даражаси);

- “ПРОВЕРКА ДАТЧИКОВ” – хотирага ёзмасдан сейсмоприёмниклар ишлашини текшириш (Z,N,E каналлар ва уларнинг кутбланишини текшириш);

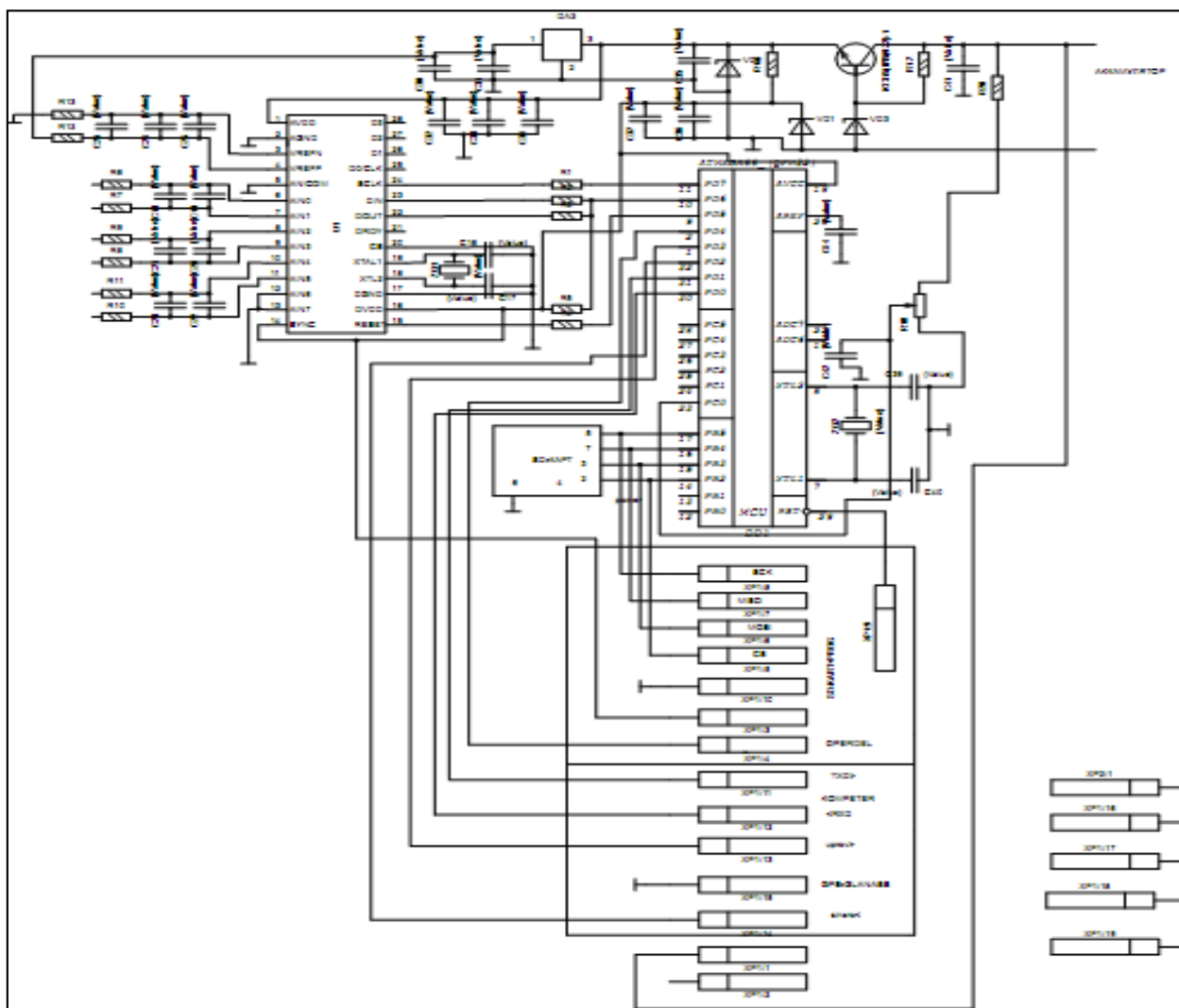
- “ЗАПИСЬ ДАННЫХ НА ДИСК” – сеймик ёзувларни хотирага ёзиш, сақланган маълумотларни кўчириб олиш;

“ВЫДАЧА ДАНЫХ НА КОМПЬЮТЕР” – хотирадаги маълумотларни компьютердан ўқиш учун мўлжалланган.

Сеймик сигналларни йиғиш ва тўplash модули ATmega8 микросхемасига асосланган. Булар 8 килобайт ички дас-

турлаштирилган Флеш хотирага эга бўлган 8 битли микроконтроллерлардир. Микроконтроллер паст ўтказувчан филтрлар хусусиятлари ҳамда АЦСС қувват манбаи ва SD-картадаги маълумотларни сақлашни бошқаради (5-расм).

Энергия билан таъминлаш блоки маълумот йиғиш модули билан битта платада йиғилган ва КТ 315 транзисторлари асосида ишлаб чиқарилган. Бундан ташқари, сеймик сигналларни йиғиш ва тўplash блоки иккита периферик, чекка – аналог платадан (буфер кучайтиргичлари ва филтрлардан) ҳамда индикация ва бошқарув панелидан иборат. Индикация панели станция ишини тезкор бошқариш имконини беради. LEDнинг ёниб-ўчиб туриши АЦСС ва станция дастурининг нормал ишлашини кўрсатади.



5-расм. АРССнинг принципиал схемаси

Хулоса ва таклифлар

Ушбу мавзу бўйича мавжуд материалларни ўрганиш, тизимлаштириш ва таҳлил қилиш яратилаётган автоном рақамли сейсмик станциясининг хусусиятларини аниқлашга имкон берди. У ҳар қандай импульсли сейсмик сигнал манбалари билан ишлаши мумкин. АЦП 24 битга эга. АРСС компьютер билан "диалог" режимида компьютер томонидан бошқарилади. Сейсмик маълумотларни қайд этиш узлуксиз бўлиб, уни флеш хотирага сақлаш ва бу маълумотларни сейсмик станцияни ўчирмасдан компьютерга кўчириш имконияти мавжуд.

АРССни очиқ каналда барча тўлқинларни қайд этиши, тадқиқотчига керакли

тўлқинларни ажратиб олиб, қайта ишлашда тўлқинларни нафақат кинематик, балки динамик параметрларини ҳам ўрганиш имконини беради. Бу эса геологик муҳитнинг зичлиги, ўтказувчанлиги, қаттиқлиги ва бошқа петрофизик хусусиятлари ҳақида маълумот олишга имкон беради.

Станциянинг ўлчамлари ва оғирлигининг кичик эканлиги логистик харажатлар, яъни дала ишлари харажатларини бир неча баробарга қисқартиради, кам энергия истеъмоли, етарлича катта хотира ҳажми, фойдаланиш қулайлиги ва сейсмик ҳодисаларни рақамли қайд этишнинг мукамал сифати станциядан кенг кўламда фойдаланиш учун шароит яратади.

Манба ва адабиётлар

1. Kosarev G.L. Inversion of teleseismic P-wave particle motions for crustal structure in Fennoscandia/ G.L. Kosarev, L.I. Makeyeva, L.P. Vinnik // PEPI. – 1987. – Vol.47. – Pp. 11-24.
2. Сейсмоприемник низкочастотный трехкомпонентный СК-1П: Техническое описание и инструкция по эксплуатации // НПО «Геофизика». Завод «Казгеофизприбор». – Алма-Ата, 1977. – 12 с.
3. Марков Н.Г. Автоматизированные системы сбора и регистрации сейсмической информации. – М.: Недра, 1992. – 220 с.
4. Пузырев Н.Н. Методы и объекты сейсмических исследований. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. – 301 с.
5. Атабаев Д.Х., Хусанбаев Д.Д., Атабаева Н.Э. Результаты комплексного изучения глубинного строения земной коры зоны сочленения Туранской плиты и орогенных сооружений Тянь-Шаня // Вестник НацУУз. – 2016. – № 3/2. – С. 179-184.
6. Сенин Л.Н., Сенина Т.Е. Регистратор сейсмических сигналов «Регистр» // Приборы и техника эксперимента. – 2005. – № 6. – С. 141-142.

Тақризчи:

Алимухамедов И.М. Илғор технологиялар маркази, Геофизика ва наноминералогия лабораторияси мудири, г-м.ф. номзоди.