

## Автоматизированная система сейсмологических наблюдений

© **В. А. Дядюра**, **И. Ю. Михайлик**, **А. З. Ганиев**, 2010

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина  
Поступила 11 марта 2009 г.

*Представлено членом реколлегии В. П. Коболевым*

Автоматизовану систему сейсмічних спостережень (АССС) створюють для збору, накопичення та забезпечення оперативного доступу до сейсмологічних даних. В ієрархії АССС визначають три рівня: автоматичні пункти сейсмологічних спостережень (АПСС), регіональні сейсмологічні центри (РСЦ) та Національний центр сейсмологічних даних (НЦСД). Розглянуто функціональне призначення АПСС, РСЦ і НЦСД. Особливу увагу приділено конструкції АПСС, каналам зв'язку між АПСС та центрами збору даних. Наведено конструкцію апаратних і програмних засобів ядра розгалуженої інформаційно-рахункової мережі.

Automated system of seismic observations (ASSO) is being produced for collecting, accumulation and making immediate access to seismologic data. There are 3 system levels in ASSO hierarchy: automatic points of seismologic observations (APSO), regional seismologic centers (RSC) and a National seismologic data center (NCDA). Functional designation of ADAP, RSC and NCDA is being considered. Special attention has been paid to APSO design, to connection channels between APSO and centers of collecting the data. Design of logistics and software means of the core of ramified information-calculation system has been given.

**Общие положения.** Анализ зарубежных литературных источников показывает, что организации системы сейсмологических наблюдений в большинстве стран мира уделяется значительное внимание. На их создание и функционирование выделяются значительные финансовые ресурсы. Установлены бесспорные тенденции создания цифровых систем с автоматизацией процессов сбора, хранения и оперативной обработки данных, а также использования современных средств измерения, оцифровки, регистрации колебаний грунта в пунктах сбора и передачи данных в Центр сбора, т.е. создание автоматических систем сейсмологических наблюдений (АССН) [Дядюра и др., 2000а].

При создании АССН в любом регионе мира ставятся следующие три основные задачи [Дядюра и др., 2000б]:

- оперативный контроль сейсмоактивности региона и сопредельных территорий, целью которого является оперативная реакция на зарегистрированные землетрясения и, следовательно, уменьшение потерь при ликвидации их последствий;
- изучение специфики геологического региона, целью которого является уточнение

модели его глубинного строения и повышение достоверности карт сейсмического районирования;

- изучение сейсмической обстановки в районах расположения потенциально опасных с экологической точки зрения промышленных объектов (атомные и гидроэлектрические станции, крупные химические предприятия и т.п.).

При решении каждой из задач, в части выполнения сейсмологических наблюдений в целом, предъявляются общие и специфические требования.

Основные общие требования:

- выполнение непрерывных наблюдений и регистрации данных в соответствии с международными стандартами;
- ведение полных баз данных и архивов с неограниченным временем хранения информации.

Специфические требования при решении задачи оперативного контроля сейсмоактивности:

- возможность определения факта сейсмического события в квазиреальном масштабе времени;
- сгущение пунктов наблюдений в наиболее сейсмоопасных территориях региона.

Специфичным для решения задачи расширения знаний о геологическом строении региона является:

- равномерное размещение пунктов наблюдений на всей территории региона;
- допускается разрыв во времени моментов регистрации данных, их загрузки в базу и выполнением обработки.

Специфичным для решения задачи изучения сейсмической обстановки в окрестностях размещения экологически опасных промышленных объектов являются [Инструкция ..., 1981]:

- расположение пунктов наблюдений в окрестности размещения объектов, т. е. создание так называемой «малой сейсмической группы», которые в настоящее время нашли распространение в системах контроля испытаний ядерного оружия;
- допускается временной разрыв между регистрацией и обработкой данных.

Создание АССН для Украины — актуальная задача, однако ее решение, к сожалению, находится в начальной стадии, особенно при выполнении основных требований и организации оперативного контроля сейсмической обстановки [Дядюра, Михайлик, 2000].

Выполненный обзор показывает, что более 40 стран мира (главным образом, технически отсталые) решение проблемы нашли в закупке и установке «под ключ» системы LIBRA канадской фирмы Nonometrix. Однако необходимость высоких капитальных затрат и современная экономическая ситуация в Украине делают такое решение практически неприемлемым.

Вместе с тем научные и конструкторские работы, выполненные в Институте геофизики НАН Украины, позволяют сделать заключение о возможности создания АССН Украины, соответствующих международным стандартам, своими силами. Такой подход позволит в дальнейшем совершенствовать систему наблюдений независимо от внешнего производителя [Ганиев, Михайлик, 2004].

В дальнейшем тексте в основном будет рассматриваться АССН, выполняющая функции оперативного контроля сейсмической активности (АССН оперативного контроля).

**Структура АССН оперативного контроля.** В иерархии АССН по функциональной предназначенности существует три уровня [Бойко, Савинков, 1989; Ганиев, Михайлик, 2004]:

- автоматические пункты сейсмологических наблюдений (АПСН);

- региональные сейсмологические центры (РСЦ);

- национальный центр сейсмологических данных (НЦСД).

*1. Автоматический пункт сейсмологических наблюдений.* Функционально АПСН предназначен для:

- непрерывного съема данных с комплекса датчиков, фиксирующих колебания грунта по трем взаимоперпендикулярным направлениям ( $X, Y, Z$ ) в месте расположения АПСН и формирования дискретно-непрерывного потока кодов, соответствующих изменению амплитуд зарегистрированных колебаний (амплитуд сейсмических сигналов);

- обработки (сжатии) кодов в реальном масштабе времени и их накоплении в буферной и внешней памяти регистратора;

- передачи информации в центр сбора данных (ЦСД) в заданных режимах работы [Бертсекас, Галлагер, 1989; Ганиев, 2004; 2005].

Основная особенность АПСН заключается в том, что он работает в автоматическом режиме, а управление его работой осуществляется дистанционно из НЦСД или РСЦ. В состав АПСН входят:

- датчик точного времени (ДТВ);
- датчики сейсмических сигналов (сейсμοприемники);
- автоматический цифровой сейсмический регистратор (АЦСР);
- средства передачи данных от АЦСР в ЦСД;
- система энергообеспечения.

Датчик точного времени (ДТВ). ДТВ обеспечивает синхронизацию работы АПСН в целом и привязку к точному времени регистрируемых амплитуд сигналов. В качестве ДТВ на АПСН используются приемники спутниковой навигационной системы GPS как наиболее точные и доступные из любой точки расположения АПСН.

Датчики сейсмических сигналов. Сейсμοприемники вырабатывают электрические сигналы, пропорциональные амплитуде колебаний грунта в заданных направлениях. Традиционно датчики фиксируют вертикальные (компонента  $Z$ ) и горизонтальные колебания по направлениям север—юг и запад—восток (компоненты  $X$  и  $Y$ ). Располагаются они на бетонном постаменте в заглубленном помещении (шахта, штольня или шурф), что уменьшает влияние техногенных шумов и резких изменений климатических условий окружающей среды.

Для оснащения АПСН в Институте геофизики НАН Украины был сконструирован трехкомпонентный широкополосный сейсмоприемник компенсационного типа (ТШСКТ).

Конструктивно сейсмоприемник представляет собой обратный маятник с емкостным датчиком положения и электромагнитной обратной связью. Для измерения величины приложенного ускорения используется компенсационный метод.

Функционирование электрической схемы сейсмоприемника моделировалось на РС с помощью программы «Місто Сар». Это позволило уточнить электрические параметры без реального макетирования [Бобылев, Болтянский, 1986]. В результате были получены приведенные ниже расчетные амплитудно-частотные и фазовые характеристики сейсмоприемника.

На рис. 1 приведены расчетные амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики опытного образца сейсмоприемника, достаточно линейные в рабочем диапазоне и соответствующие техническим требованиям.

Для снятия реальной амплитудно-частотной характеристики синусоидальные сигналы в диапазоне от 0,03 до 32 Гц подавались от генератора на вход сейсмоприемника и измерялась выходная амплитуда (рис. 2).

Автоматический цифровой сейсмический регистратор (АЦСР). АЦСР является основным рабочим элементом и обеспечивает:

- съем аналоговых сигналов с датчиков и их предварительную обработку (предусиление и фильтрация);
- преобразование потоков аналоговых сигналов в последовательность цифровых кодов, характеризующих изменения амплитуд сейсмических сигналов с заданным шагом дискретизации по времени;
- редактирование и уплотнение последовательности цифровых кодов;
- накопление отредактированной и уплотненной информации в оперативной и внешней памяти АЦСР;
- передачу уплотненной информации в ЦСД в заданном режиме работы.

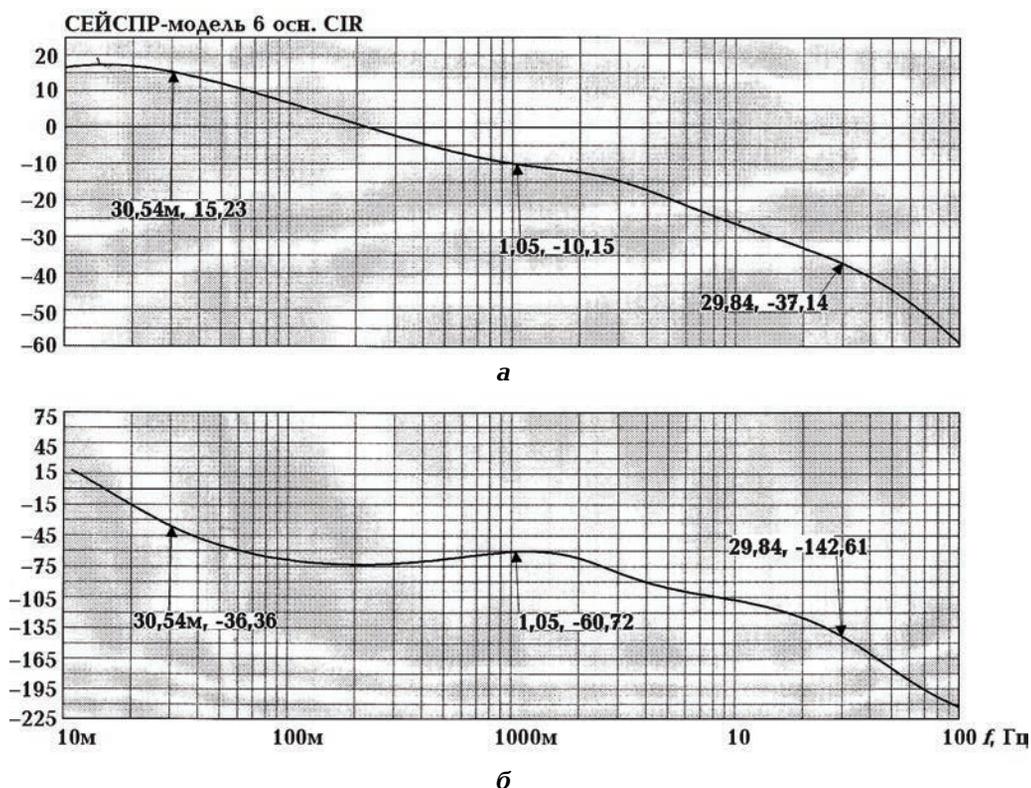


Рис. 1. Амплитудно-частотная и фазово-частотная характеристики ТШСКТ.

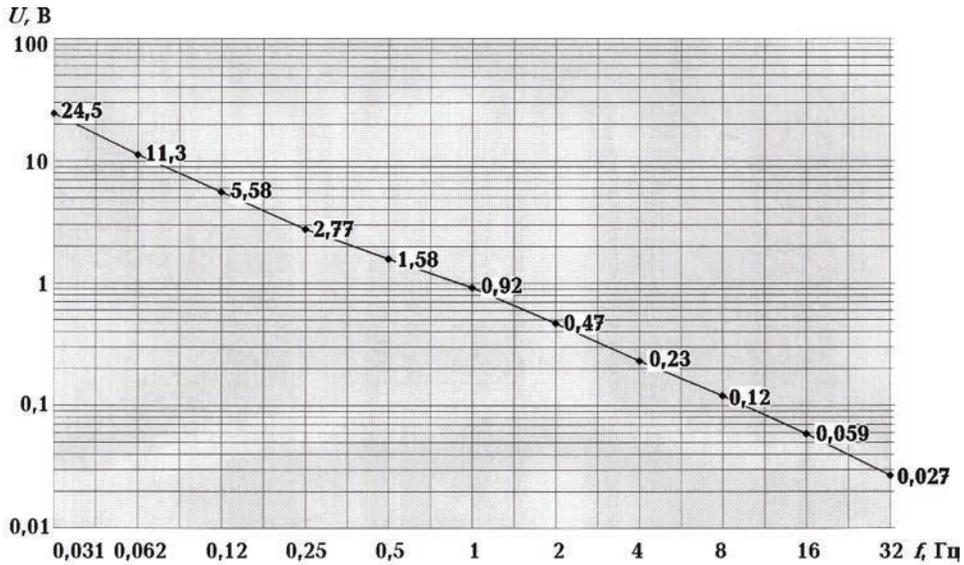


Рис. 2. Реальная амплитудно-частотная характеристика.

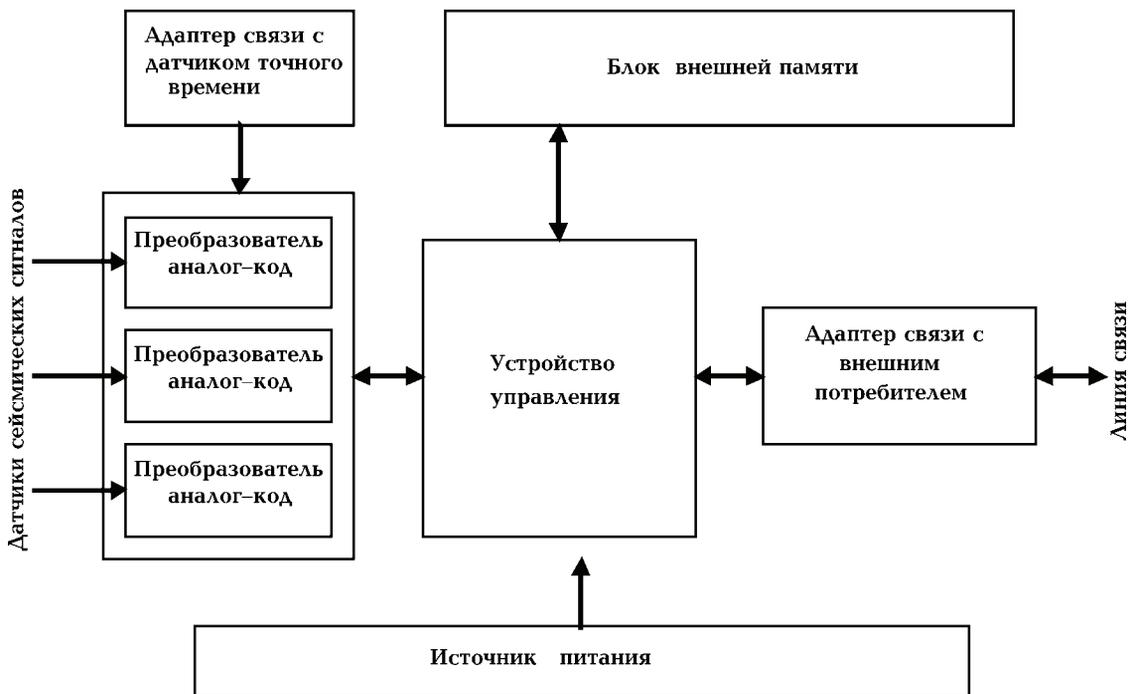


Рис. 3. Блок-схема АЦСР.

Состав АЦСР (рис. 3):

- три однотипных преобразователя аналог — код, включающих управляющий микроконтроллер, аналоговый низкочастотный фильтр, цифровой конволюционный фильтр и интегральный 24-разрядный сигма-дельта преобразователь аналог — код;

- устройство управления, включающее микроконтроллер и блок оперативной памяти;
- блок внешней памяти (флеш-память);
- адаптер связи с внешним потребителем (интерфейс RS-232);
- блок связи преобразователей аналог — код с устройством управления;

- адаптер связи с датчиком точного времени, в состав которого входит микроконтроллер;

- система энергообеспечения;
- инструментальное программное обеспечение микроконтроллеров.

Оперативная память 128 Мбт, внешняя память имеет объем 512 Мбт.

Средства передачи данных. Способ передачи данных от АПСН в ЦСД будет рассмотрен в отдельном разделе.

Система энергообеспечения. Основное энергообеспечение АПСН осуществляется от коммерческой электросети. В составе оборудования АПСН — блок питания, выполняющий преобразование переменного тока в постоянный.

Для устранения потерь информации во время отключения электросети в состав блока включается аккумулятор и зарядное устройство, т.е. электропитание осуществляется по схеме электросеть — зарядное устройство-аккумулятор — блок питания.

Инструментальное программное обеспечение. В составе АЦСР функционируют шесть микропроцессоров:

- микропроцессор управляющего блока;
- микропроцессор адаптера связи с датчиком точного времени;
- три однотипных микропроцессора преобразователей аналог — код;

- микропроцессор адаптера связи с потребителем.

Для каждого микропроцессора разработано программное обеспечение, выполняющее определенные функции, которые будут рассмотрены ниже.

2. *Региональный сейсмологический центр.* РСЦ создается для оперативного контроля сейсмической обстановки на определенной территории (регион) и осуществляет [Бойко, Савинков, 1982]:

- управление работой сети АПСН, развернутой в границах региона;
- прием, редактирование и анализ данных в оперативном режиме с целью выявления сейсмических событий;
- ведение банка и архива данных по региону;
- углубленную обработку и интерпретацию данных и их обобщение с целью создания базы знаний о сейсмической обстановке в регионе;
- развитие и техническое обслуживание развернутой в регионе сети АПСН.

Особенности геологического строения территории Украины и сейсмической активности отдельных ее регионов объясняют сосредоточенность функционирующих в настоящее время пунктов сейсмологических наблюдений в Крымском и Карпатском регионах и необ-

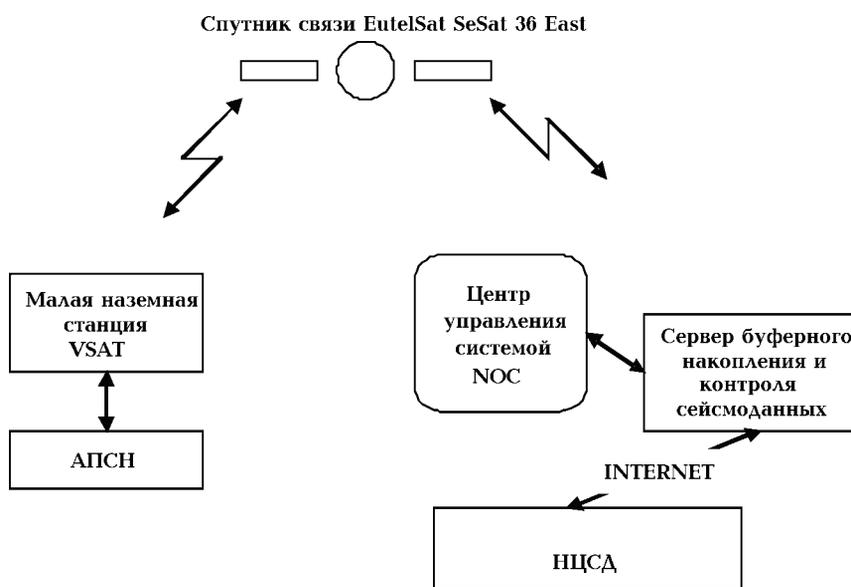


Рис. 4. Схема организации спутникового канала связи между АПСН и НЦСД.

ходимость создания Крымского и Карпатского региональных центров.

Для выполнения определенных выше функций для АПСН, размещенных в других регионах территории Украины, роль РСЦ выполняет НЦСД.

3. *Национальный сейсмологический центр.* НЦСД является главным элементом в иерархической структуре АСРН. Основная цель функционирования НЦСД, заключается в обеспечении унифицированных режимов наблюдений за сейсмической обстановкой на Украине и оперативного оповещения заинтересованных органов о фактах регистрации сильных землетрясений на территории Украины и сопредельных стран, формирование оперативного банка и архивов сейсмологических данных, необходимых для оперативной и углубленной обработок зарегистрированных сейсмических событий, и издание ежегодных сборников «Сейсмологический бюллетень Украины».

Создание НЦСД требует решения многих теоретических и методологических проблем, наиболее важными из которых являются [Когаловский, 1982; Савинков и др., 1982]:

- разработка правил создания и функционирования распределенной информационно-вычислительной сети (РИВС) АСРН;
- обоснование и выбор средств связи между элементами АСРН;
- оптимизация взаимодействия между элементами АСРН;
- обоснование, а также выбор технических средств ядра РИВС;
- разработка методик создания и функционирования банков и архивов сейсмологических данных.

Подходы к решению этих проблем будут рассмотрены ниже.

**Средства связи.** Выбор средств связи между элементами АСРН и определения правил их функционирования имеют большое значение для конструкции АСРН в целом [Бертсекас, Галлагер, 1989].

Рассмотрим возможные варианты организации связи и проведем оценку каждого из них по критериям физической возможности реализации, надежности работы, оперативности доставки данных, стоимости оборудования и эксплуатации.

Предварительно проведем оценку количества информации в потоке данных по одному каналу АПСН — ЦСД.

При опросе датчиков с частотой 20 Гц одним датчиком регистрируется двадцать 24-

битных отсчетов в секунду, т. е. 480 бит/с; тремя датчиками ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -компоненты) регистрируются 1440 бит/с. При переходе от истинных значений амплитуд к значениям приращений 98% информации представляется одним байтом, что сокращает информационный поток в 2,9 раза, т. е. делает его не более 500 бит/с.

При наличии служебной информации 160 бит/с (формат АЦСР) общий поток составит не более 660 бит/с.

При реальной скорости передачи данных 6,6 кбит/с (номинальная скорость 9,6 кбит/с) данные, зарегистрированные за 1 с, будут переданы за 0,1 с.

Таким образом, отношение времени регистрации к времени передачи (коэффициент опережения) будет не менее 10, т. е. данные, зарегистрированные за сутки, будут переданы за 2,4 ч.

При организации связи между АПСН и ЦСД могут быть использованы:

- спутниковые каналы;
- выделенные или коммутируемые каналы коммерческой телефонной сети;
- каналы операторов мобильных телефонных сетей;
- сеть Интернет.

Высокая оперативность связи обеспечивается дискретно-непрерывной передачей данных, при которой все данные, регистрируемые АПСН, передаются в ЦСД с заданной (относительно короткой) временной задержкой.

Зарубежный опыт, а также опыт работ, выполненных в Институте геофизики НАН Украины, показал эффективность использования спутниковых каналов связи [Ганиев, 2004]. В настоящее время в Институте геофизики опробовано три спутниковых канала Киев — Симферополь, Киев — Львов, которые работают с оборудованием фирмы GURALP, и Киев — Ворсовка, который работает с оборудованием международной сети IRIS. Запланировано создание канала Киев — о-в Змеиный.

Эти каналы организованы с использованием спутниковой системы связи, схема организации которой представлена на рис. 5.

Компоненты для организации каналов представлены ЗАО «ДатаГрупп» корпорации Инком и включают:

- центр управления системой NOC (Network Operation Center);
- приемо-передающие наземные станции (VSAT);
- трансляционное оборудование, размещенное на борту спутника связи Eutel Sat 36 East (космический сегмент сети).

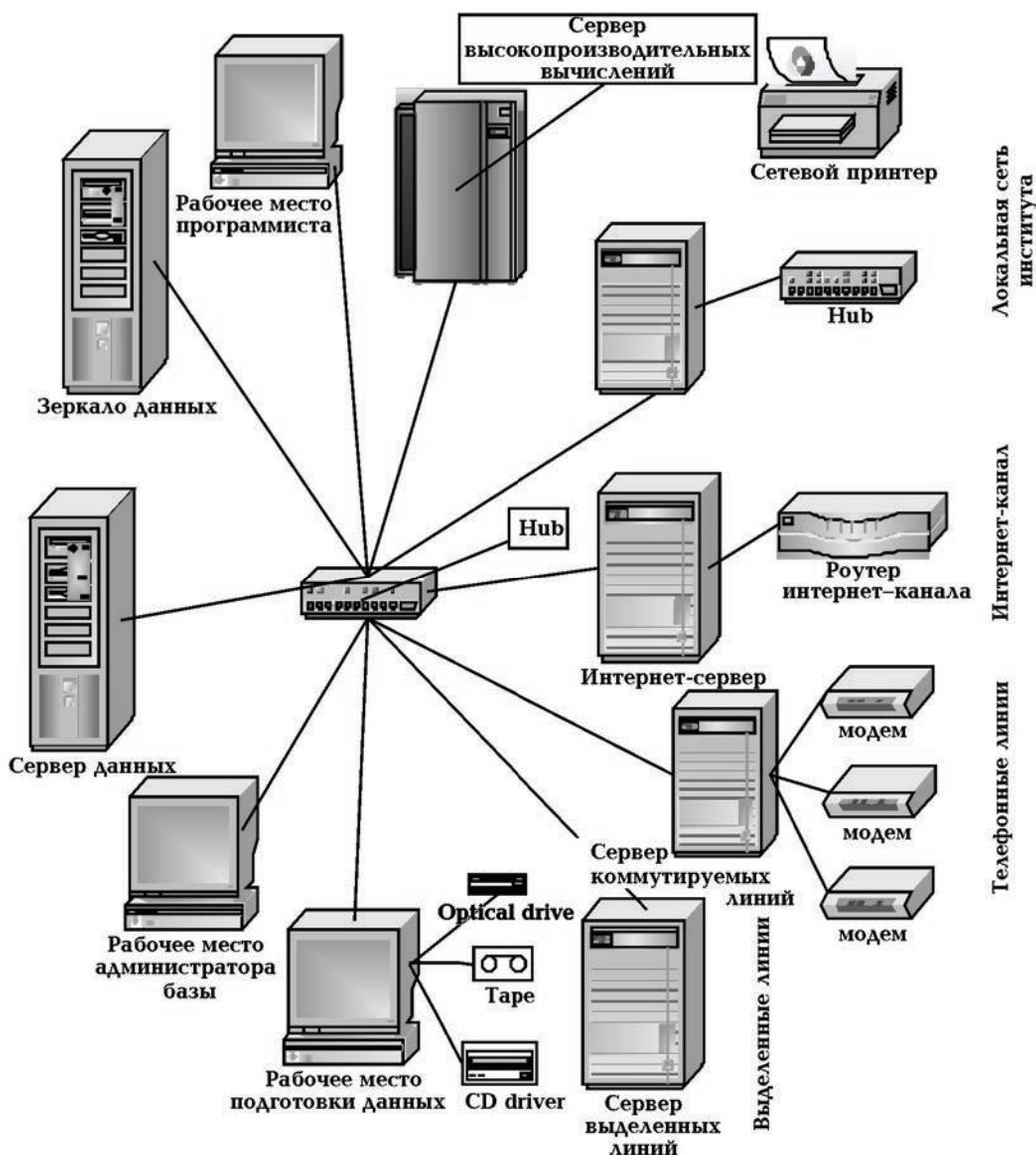


Рис.5. Аппаратное ядро РИВС.

В состав канала также входят:

- сейсмостанция (АПСН);
- сервер буферного накопления и контроля данных;
- Интернет-сервер НЦСД.

Центр управления NOC координирует и направляет потоки информации соответствующим пользователям сети таким образом, что между этими пользователями организовывается цифровой канал связи с высокими эксплуатационными характеристиками. Так, например, интенсивность ошибки при передаче 1 бита информации для спутникового канала связи равна  $10^{-7}$ , а при приеме 1 бита информации —  $10^{-10}$ .

Спутник связи EutelSat SeSat 36 East занимает геостационарное высокоорбитальное положение (35800 м) в плоскости экватора. Этот спутник связи может обслуживать наземные станции VSAT на всей территории Украины, европейской территории России и на всей территории Западной Европы в диапазоне частот от 950 до 2150 МГц.

Основной задачей оборудования связи, размещенного на спутнике, является приоритетная пакетная передача данных между Центром управления NOC и всеми, обслуживаемыми этим спутником, станциями VSAT.

Наземная станция (НС) VSAT обеспечивает интерфейс для различного оборудования

со спутниковым каналом связи. НС VSAT позволяет подключить оборудование с такими протоколами связи, как RS-232, Ethernet, Token-Ring, RJ-11 (аналоговый) и Видео (950—1450 МГц).

АПСН соединен со станцией VSAT через Ethernet-порт, что позволяет обеспечить доступ к массиву памяти сейсмостанции по протоколу FTP и к командам операционной системы станции по протоколу TELNET.

Сервер буферного накопления и контроля данных (СБНК) размещен в локальной сети Центр управления системой NOC таким образом, что он имеет доступ к цифровому спутниковому каналу связи и, в то же время, СБНК является Интернет-сервером.

Программа, запущенная на сервере буферного накопления и контроля данных, считывает сформированные на сейсмостанции 512-байтные miniSeed блоки-файлы в свой буфер данных и осуществляет их первичную обработку, которая заключается в следующем:

- проверка целостности мультиплексированных блоков сейсмологических данных;
- переименование файлов сейсмологических данных в стандартный для базы данных НЦСД формат.

Данные буфера хранятся в течение трех дней, этого времени достаточно для оперативного анализа сейсмологической информации. Данные доступны в режиме «только чтение» по протоколу FTP в Интернете для зарегистрированных пользователей.

Одним из зарегистрированных пользователей является Интернет-сервер НЦСД. В автоматическом режиме данные из буфера СБНК загружаются в буфер данных НЦСД, где осуществляется их преобразование в 4096-байтные miniSeed блоки-файлы. Эти файлы поступают на сервер, обеспечивающий доступ к сейсмостанциям, работающим в периодическом режиме связи, иницируя веерный доступ и выборку временного интервала сейсмологических данных этих станций.

Опыт работы показал, что использование спутникового канала связи обеспечивает высокую надежность передачи данных из пункта наблюдений в центр сбора в независимости от их расположения. Так, например, передатчик, установленный в с. Ворсовка (Житомирская обл., Малинский район), обеспечивает прием данных в центре сбора сети IRIS (Альбукерк, США).

Основное достоинство спутникового канала заключается в возможности его работы в

квазиреальном масштабе времени. Сеансы связи осуществляются после заполнения 512-байтного буфера, т. е. с частотой около 6с/сеанс. При скорости передачи данных 9600 бит/с длительность передачи одного буфера будет около 0,5с.

К достоинствам спутникового канала необходимо отнести возможность его организации в любой точке Украины, например на о-ве Змеиный, на котором функционирует наблюдательный сейсмологический пункт, где сейчас нет оперативной связи. В то же время установка такой связи является актуальной проблемой, которая обусловлена близостью расположения острова к сейсмоактивной зоне Вранча (Румыния).

Недостаток спутникового канала заключается в относительно высокой стоимости оборудования (около 20 тыс. грн) и эксплуатационных расходов (800 грн/месяц). Этот недостаток определил необходимость поиска других вариантов организации связи.

Вторым по надежности и оперативности способом связи между АПСН и НЦСД является использование выделенных каналов коммерческой телефонной сети. В идеале такая связь может быть создана организацией между НЦСД и каждым АПСН выделенного телефонного канала, подключаемого к оборудованию посредством модемов. В этом случае система передачи—приема данных фактически эквивалентна спутниковой.

Детальное изучение вопроса создания такой связи выявило ряд проблем. Первая и основная — это так называемая проблема «последнего километра», суть которой заключается в том, что организация выделенного канала между АТС, ближайшими к АПСН и НЦСД, практически реальна. Но есть сложность в доставке данных от АПСН к АТС и от АТС к НЦСД. Затруднения связаны с перегруженностью телефонных коммуникаций в Украине, особенно в крупных населенных пунктах, и низкой надежностью телефонных линий в сельской местности между АТС и непосредственно АПСН.

В любом случае требуется организация жесткого контроля приема—передачи информации, который стандартно выполняется сравнением контрольных сумм переданных и принятых пакетов данных и повторным запросом этих данных в случае их несовпадения.

Низкая стабильность работы каналов приводит к снижению скорости обмена и, как следствие, к увеличению эксплуатационных расходов.

Сказанное выше в еще большей степени относится к коммутируемым телефонным каналам.

Кроме того, использование проводных телефонных каналов требует, чтобы в месте расположения АПСН был обеспечен выделенный телефонный канал, что в некоторых случаях трудно осуществить.

Наиболее приемлемым является вариант использования сотовой (мобильной) связи, вход в которую обеспечивают операторы мобильной связи, которые предоставляют все необходимые сервисные функции, делающие этот вид связи аналогичной проводной телефонии [Ганиев, 2005].

В настоящее время ведущие операторы связи «Киевстар» и МТС обеспечивают «покрытие», т. е. возможность использования своей связи, практически на всей территории Украины.

Мобильный канал связи (МКС) между АПСН и НЦСД состоит из двух комплектов приемопередающего оборудования, в которые входят:

- интерфейсный коммуникационный модуль-терминал MC35T (производитель фирма Siemens);
- антенна 900/1800 МГц, 7дБ;
- интерфейсный кабель RS232;
- блок питания, 1А.

Один комплект этого оборудования на АПСН подключается к цифровому регистратору, второй — в НЦСД к компьютеру приема, причем этот комплект может работать с несколькими АПСН. При скорости приема—передачи 9600 бит/с один приемник может обеспечить работу с тремя АПСН.

Стоимость одного комплекта оборудования составляет около 2 тыс. грн, т. е. значительно меньше стоимости спутниковой станции.

Данные с АПСН передаются по запросам из НЦСД, поэтому абонентская плата взимается только за работу приемного оборудования.

При наличии связи между АПСН с провайдером сети Интернет для приема—передачи данных может быть использован Интернет-канал.

Возможны два варианта подключения АПСН к каналу Интернет:

- подключение в Интернет сеть с помощью компьютера, размещенного в пункте сбора сейсмологических данных;
- подключение непосредственно в Интернет-сеть, которое возможно осуществить при

наличии в составе оборудования сейсмостанции Ethernet-интерфейса.

В первом случае получаем:

- дополнительный буфер данных;
- гибкое удаленное управление АПСН из центра сбора.

Во втором случае:

- малое энергопотребление в пункте наблюдения;
- повышается надежность работы и упрощается эксплуатация оборудования пункта наблюдения.

Передача—прием данных в этом случае осуществляется по протоколу ТСР/IP, как и в случае спутникового канала связи.

**Программное обеспечение АЦСС.** 1. Программа управляющего микропроцессора (краткое описание алгоритма и функций программы). Микропроцессор подключен к следующим блокам:

- блоку буферной флэш-памяти;
- последовательному порту №1 (RS-232) для связи с модемом;
- последовательному порту №2 (RS-232) для связи с GPS;
- последовательному порту №3 (RS-232) для связи с преобразователями аналог—код;
- последовательному порту №4 (SPI) для связи с внешней памятью;
- выводу секундного импульса GPS.

В соответствии с этим программа содержит подпрограммы, управляющие отдельными блоками:

- синхронизация преобразователей аналог—код;
- прием и сжатие данных;
- обслуживание буферной памяти;
- обслуживание внешней памяти;
- связь с адаптером GPS;
- выдача данных в канал связи;
- обработка входных управляющих команд;
- дистанционное перепрограммирование всех микропроцессоров АПСН, включая управляющий;
- ведение сторожевого таймера;
- тестовый режим.

Обслуживание этих блоков выполняется последовательно в течение времени преобразования одного отсчета информации, которое составляет 50 мс при частоте оцифровки 20 Гц. Рабочий интервал 50 мс отмеряется Таймером-2 микропроцессора и синхронизируется секундным импульсом от GPS.

При включении питания программа выполняет начальные установки процессора,

блока преобразования, модема, восстанавливает текущие адреса флэш-памяти и выходит на ожидание первого синхронизирующего импульса от GPS. С приходом секундного импульса запускается Таймер-2 и станция начинает работать. Таймер-2 автоматически перезапускается каждые 50 мс. Через 20 периодов приходит новый синхронизирующий импульс и, в зависимости от времени прихода (до или после перезапуска), программа увеличивает или уменьшает счетчик Таймера-2, подстраивая его под астрономическое время. Во время синхронизации программа также опрашивает GPS и получает текущую дату и время.

В начале рабочего интервала программа запускает блок преобразователей на новое преобразование и считывает 9 байтов готовой информации при трех каналах. Выполняется округление отсчетов до 21 разряда с последующим сжатием.

Информация хранится и передается блоками, содержащими 20 строк.

Первая строка содержит два синхробайта, ВС — число байтов данных, 9 байтов данных, 7 байтов — дата и время, номер станции:

«55», «AA», BC, 1a, 1b, 1c, 2a, 2b, 2c, 3a, 3b, 3c, msec, day, month, year, hour, min, sec, №.

Следующие 19 строк содержат информацию о приращениях в мультиплексном формате. Причем каждый байт содержит 7 значащих разрядов и признак конца отсчета в младшем разряде.

После формирования каждой строки данные записываются в буферную память и программа проверяет наличие обращений к станции. Если таких обращений нет, то данные записываются во внутреннюю память и передаются в последовательный порт №1 для выдачи в линию связи. Таким образом, при отсутствии обращений к станции в последовательный порт непрерывно выдается текущая информация, которая при установлении модемной связи сразу поступает на вызывающий компьютер. Это является индикатором работы станции.

В буферной памяти данные хранятся в виде 512-байтных страниц. При выдаче страницы в линию связи к данным прибавляются два байта, содержащие контрольный CRC-код. При наличии обращений из линии связи программа выполняет принятую команду.

Дистанционно можно выполнить следующие функции:

- начальный сброс станции;
- запрет выдачи текущих данных;

- выдача страницы данных из буфера;
- повторная выдача страницы данных из буфера;

- калибровка сейсмоприемников;
- перепрограммирование микропроцессора;
- тестовый режим (выдача «пилы», чтение внутренней памяти процессора и пр.).

2. Программа *адаптера GPS*. GPS выдает секундный импульс, который сопровождается дополнительной информацией. Состав этой информации может программироваться. Программа адаптера определяет скорость последовательного порта, устанавливает скорость 9600 бод и программирует GPS. Затем из поступающей информации выбирается дата, время, координаты станции и флаг состояния GPS. Эти данные пересылаются управляющему микропроцессору станции. В случае ухудшения условий приема данных со спутников GPS может выдавать сбойную информацию. В этом случае адаптер переходит на внутренний таймер и обеспечивает работу станции.

3. Программа *микроконтроллера (МК) блока преобразования (БП)*. Программа МК при функционировании должна обеспечить выполнение всех функций блока преобразования по управлению, калибровке сейсмоприемника, приему аналогового сигнала, его оцифровке и передаче в блок сбора и хранения информации (БСХИ).

Алгоритм функционирования программы позволяет выполнять следующие операции:

- начальную установку микроконтроллера;
  - начальную установку аналого-цифрового преобразователя (АЦП);
  - загрузку управляющих регистров АЦП;
  - ожидание команды от БСХИ;
  - запуск преобразователя;
  - ожидание завершения цикла преобразования (сигнал DRDY);
  - прием 24 битов последовательной информации АЦП и записи в RAM МК (3 байта);
  - выполнение одного такта фильтрации;
  - ожидание сигнала запроса на передачу информации в БСХИ;
  - передачу трех байтов информации в БСХИ при ее появлении на выходе фильтра.
- Управляющие сигналы для функционирования программы микроконтроллера (БП) поступают от МК БСХИ. В зависимости от кода, принимаемого с БСХИ, выполняется одна из команд:
- СТАРТ — синхронизация и передача трех байтов информации;

- ПЕРЕКАЛИБРОВКА АЦП;
- КАЛИБРОВКА СЕЙСМОДАТЧИКА.

Особое внимание уделялось выбору способа цифровой фильтрации и параметров фильтра. Необходимо подобрать фильтр, обеспечивающий высокую крутизну среза и ослабление 120дБ. Рассмотрим рекурсивные (IIR) и конволюционные (FIR) фильтры.

Рекурсивные фильтры требуют сравнительно небольшого объема вычислений и поэтому являются наиболее быстродействующими. Из рекурсивных наиболее эффективными признаются фильтры Чебышева. Конволюционные фильтры требуют гораздо большего объема вычислений, однако обладают наилучшими характеристиками.

Сравнение качества фильтров усложняется тем фактом, что амплитудно-частотная характеристика фильтра Чебышева зависит от отношения «частота среза»/«частота квантования».

Для сравнения качества выберем фильтр Чебышева шестого порядка, частоту среза 0,2 и конволюционный 51-точечный фильтр, имеющие приблизительно одинаковую ширину среза.

Крутизна среза конволюционного фильтра значительно выше крутизны фильтра Чебышева. Оба фильтра значительно ухудшают форму сигнала высших частот. Однако фильтр Чебышева искажает сигнал несколько больше и, кроме того, вносит фазовые искажения. Рекурсивные фильтры имеют жесткие ограничения, обуславливающие ограниченное ослабление отфильтрованного сигнала. В то же время конволюционные фильтры позволяют практически беспредельно улучшать их характеристики при увеличении числа точек фильтра. Ограничивает качество только время вычисления.

Для цифровой фильтрации в блоке аналого-цифрового преобразования применен конволюционный фильтр длиной 401 точка, который рассчитан по следующей формуле:

$$h[i] = K \frac{\sin(2\pi f_c (i - M/2))}{i - M/2} \times \left[ 0,42 - 0,5 \cos\left(\frac{2\pi i}{M}\right) + 0,08 \cos\left(\frac{4\pi i}{M}\right) \right]$$

(окно Blackman), где  $f_c$  — частота среза;  $M = 4/BW$  ( $BW$  — ширина среза);  $K$  — константа для обеспечения единичного усиления на нулевой частоте.

При вычислениях в микропроцессоре фильтр представлен двухбайтовыми отсчетами, а сигнал — трехбайтовыми.

4. Программа обслуживания АЦСР из Центра сбора данных является инструментальной и предназначена для работы на РС в среде DOS или WINDOWS. Она позволяет выполнять следующие контрольные и управляющие функции:

- осуществление дозвола по коммутируемой телефонной линии;
- визуализацию текущей информации;
- передачу адреса страницы данных;
- прием и запись в файл страницы данных из буфера (512 байт) с автоматическим предварительным наращиванием адреса;
- прием и запись в файл информации данных из буфера (512 байт) без наращивания адреса;
- демультимплексацию и разуплотнение данных;
- начальный сброс АЦСР;
- визуализацию информации из файла;
- индикацию текущей даты, времени, адресов страниц записи и чтения буфера и погрешности таймера;
- перевод АЦСР в тестовый режим;
- перепрограммирование микропроцессоров АЦСР;

Программа имеет оконный интерфейс и предлагает пользователю меню.

5. Программа чтения данных АЦСР. Программа предназначена для непосредственной связи с АЦСР по коммутируемой или выделенной линии, работает в среде DOS, WINDOWS, LINUX и позволяет в реальном времени получать информацию из внутреннего буфера АЦСР.

После установления связи программа запрашивает параметры станции и приступает к приему данных, которые передаются постранично. Контрольная сумма каждой страницы проверяется и, в случае ошибки, передача страницы повторяется.

Полученная информация демультимплексируется, распаковывается и накапливается в промежуточном файле.

После получения определенного количества информации промежуточный файл преобразуется в формат SEED и посылается на дальнейшее хранение в базу данных.

6. Развитие АЦСР. Появление возможности мобильного доступа в Интернет, а также доступность дешевых промышленных компьютеров, позволяют усовершенствовать конст-

рукцию АЦСР с целью расширения функциональных возможностей и улучшения технических характеристик.

В настоящее время в Институте геофизики создан опытный образец АЦСР-2, в котором основные функции по накоплению и передаче данных в ЦСД возложены на промышленный компьютер.

Это позволяет:

- формировать SEED-файлы непосредственно в АЦСР-2, что сокращает объем передаваемой информации;
- использовать при передаче данных различные Интернет-протоколы (FTP, TELNET и др.);
- отказаться от применения внешней памяти;
- значительно упростить конструкцию блока управления, частично передав его функции компьютеру.

Разработаны соответствующие программы и опробована их работа в наиболее стабильных операционных системах DOS и LINUX.

Использование мобильного доступа в Интернет позволяет установить станцию практически в любом месте Украины. Предусмотрено подключение к АЦСР-2 дополнительных источников информации (например, электромагнитную станцию).

**Ядро распределенной информационно-вычислительной сети (РИВС).** 1. *Общая характеристика ядра РИВС.* В системном плане АССН образует распределенную информационно-вычислительную сеть (РИВС), в которой регистрация полевой информации осуществляется в пунктах АПСН, а прием, накопление и обработка выполняется оборудованием, сосредоточенным в центре сбора данных [Грабер, 1998; Коголовский, 1982; 1992]. Это оборудование образует ядро РИВС, которое должно осуществлять:

- прием и редакцию данных от всех АПСН сети (система коммуникаций);
- доступ пользователей к данным для обеспечения оперативной обработки (система публикации);
- накопление и архивирование данных (система накопления);
- проверку работоспособности отдельных узлов сети (система контроля);

Каждая из систем должна быть обеспечена аппаратно-программными средствами, необходимыми для решения возложенных на нее задач. В систему коммуникаций должны входить аппаратно-программные средства, выполняющие прием данных от различного типа

цифровых регистраторов и каналов связи. Система публикации должна содержать средства, которые обеспечивают удобный доступ к данным, организованным системой накопления. В системе накопления должно быть 100% дублирование оборудования во избежание потерь информации в аварийных ситуациях. Система контроля должна выполнять тестовые проверки всех узлов РИВС в рабочих режимах.

2. *Оборудование ядра РИВС.* На рис. 5 представлен состав оборудования ядра РИВС АССД.

- Зеркальный сервер Сервер данных (SUN Enterprise 220R), где накапливаются сейсмические данные со всех сейсмостанций в виде файлов в формате miniSEED. Информация заголовков каждого 4K miniSEED блоков и номер первого байта каждого блока хранятся в SQL-базе. Такая организация хранения данных позволяет иметь произвольный доступ ко всем сейсмологическим данным базы.

- Сервер данных (SUN Enterprise 220R). Уникальность данных требует 100% резервирования оборудования, хранящего сейсмологическую базу. Этот сервер обеспечивает обработку запросов заказчиков в период технических остановок основного сервера данных.

- Рабочее место администратора базы данных (Intel P4). В обязанности администратора базы данных входит подготовка и доставка сейсмологических данных заказчику с использованием FTP, почты (носитель CDROM) в сейсмологическом формате, указанном заказчиком, контроль дискового пространства серверов данных. При переполнении дискового пространства, отведенного для данных, — запись сейсмологических данных на CDROM. Администрирование базы данных.

- Интернет-сервер (Intel P4), на котором установлены:

- 1) SQL-база, в которой накапливаются данные, предоставляемые заказчикам в процессе регистрации и заказа сейсмологических данных. Этот сервер обеспечивает связь со станциями по протоколу FTP, доступ к которым возможен через Интернет;

- 2) Интернет-сайт, обеспечивающий как оформление запросов на получение сейсмологических данных, так и информацию о сейсмостанциях, Национальном центре сбора данных и Региональных центрах сбора сейсмологических данных.

- Сервер коммутируемых линий (Intel P3) обеспечивает связь со станциями, доступ к которым возможен только с помощью коммутируемой телефонной связи.

- Сервер, выделенных линий (Intel P3), обеспечивает связь со станциями, доступ к которым возможен через модемное соединение в режиме выделенной линии связи.

- Сервер вычислений (SunBlade 1000), высокопроизводительный компьютер предназначен для обработки сейсмологических данных в локальной сети института.

- Сервер персональных вычислений и хранения персональных данных (Intel 2xP3) предоставляет сотрудникам института возможность отладки и выполнения своих программ и надежное хранение своих архивов.

- Рабочее место программиста-разработчика (Intel P4), в обязанности которого входит разработка, сопровождение всего программно-аппаратного комплекса центра данных.

- Рабочее место оператора подготовки данных (SUN SparcClassic), где установлен комплекс оборудования и программ считывания данных с различных типов накопителей информации таких, как магнитные ленты, HDD, DVDROM, FLUSH карты. Преобразование сейсмологических данных из различных форматов в формат SEED для дальнейшего хранения на сервере данных.

3. Программное обеспечение ядра РИВС. Для функционирования ядра РИВС используется как свободно распространяемые программ-

ные комплексы, так и программный комплекс для решения специфических задач обработки сейсмологических данных.

К свободно распространяемому программному обеспечению относятся операционная система Solaris 10, установленная на SUN-станциях, а также на сервере персональных вычислений и хранения персональных данных Solaris 10 для Intel-компьютеров. На остальных серверах и рабочих местах НИЦСД в настоящее время установлена операционная система Fedora 9.

Кроме этого используется:

- SQL база — MySQL-5;
- компилятор языка C++ — GCC-4;
- интерпретатор языка PHP — PHP-4.3;
- ODBC-драйвер MySQL базы — MyODBC-3.50.

Все перечисленные программные продукты, кроме операционной системы Solaris 10, распространяются согласно GNU-лицензии и в случае некоммерческого использования не требуют оплаты. Что касается операционной системы Solaris 10, то она установлена на станциях типа SPARC и находится в свободном доступе на Интернет-сайте фирмы SUN как для Intel-систем, так и для SPARC-систем.

Программный комплекс обработки сейсмологических данных представляет собой семь взаимосвязанных блоков программ (рис. 6).

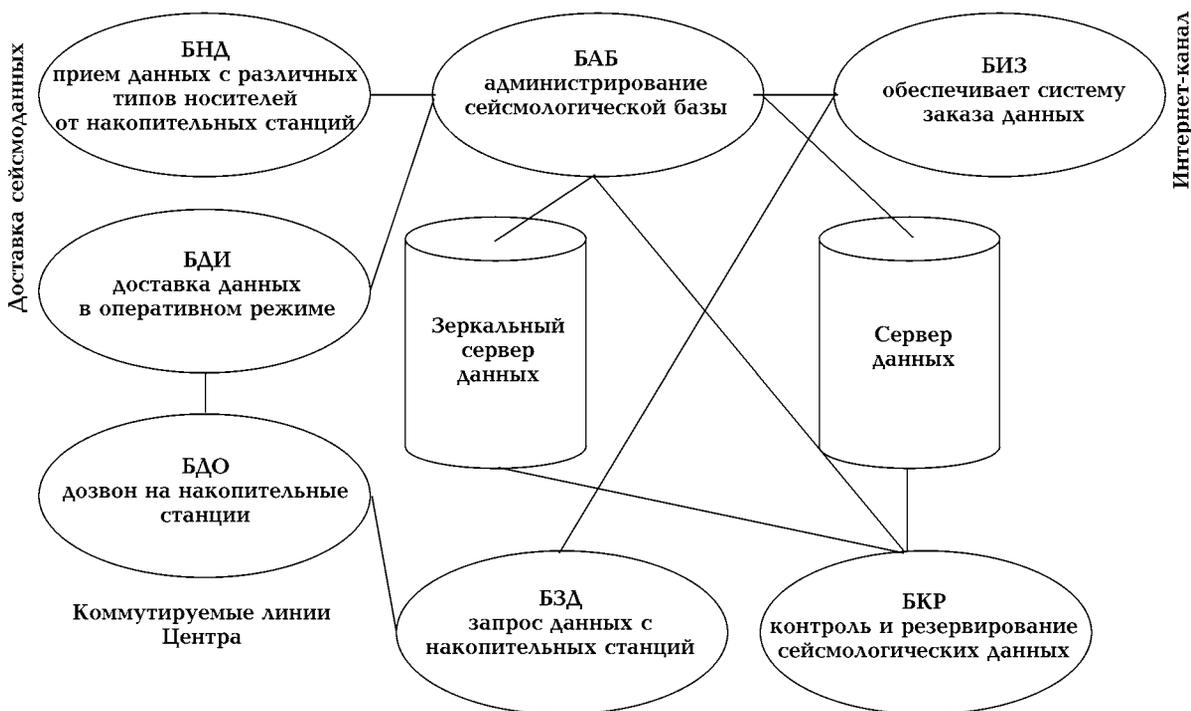


Рис. 6. Программный комплекс ядра РИВС.

- БДИ — блок программ, обеспечивающий доставку информации в оперативном режиме. В блок входят программы, обслуживающие транспортировку и преобразование в формат miniSEED данных, полученных от сейсмостанций, формирующих данные в ином формате.

- БДО инициирует работу данного блока программ, в задачу которых входит веерный доступ на сейсмостанции, работающий в режиме коммутируемой линии, с целью получения информации об этом событии, дозвон на конкретную сейсмостанцию, работающую в режиме коммутируемой линии, с целью получения как сейсмологической, так информации о техническом состоянии оборудования.

Оба блока программ (БДИ и БДО) предусматривают работу как с непрерывными данными, так и с информацией событий.

- БНД — блок программ, обеспечивающий прием в систему, верификацию, преобразование, а в случае необходимости — в формат miniSEED данных сейсмостанций, работающих как в режиме коммутируемой линии, так и в накопительном режиме с различных типов носителей информации, таких как DVDROM, HDD, FLUSH-карты.

- БАБ — блок программ, в задачу которых входят:

- 1) добавление данных в базу из БДИ и БНД,

- 2) администрирование SQL-базы и файлового архива,

- 3) информирование администратора базы данных о возможном переполнении HDD сервера данных и подготовки записи данных на внешние носители в случае переполнения серверного HDD и модификация SQL базы, связанной с переносом части данных с HDD-сервера на внешние носители.

- БИЗ — блок программ, обеспечивающий для заказчиков навигацию в данных сейсмостанций. Включает в себя систему заказа от-

резка данных для конкретных станций. Информировывает заказчика и администратора базы о получении заказа. Осуществляет накопление регистрационной информации о заказчике. Если заказанные данные находятся на HDD-сервере данных, осуществляет вырезку и размещение данных на FTP. В случае, если данные хранятся на внешних носителях базы, администратор использует этот блок программ для выбора необходимой информации и размещения ее либо на FTP, либо для подготовки DVDROM заказчика.

- БКР — блок контроля и резервирования данных. Все операции, связанные с обработкой и транспортировкой данных, регистрируются в LOG-файлах. Ошибки или некорректные действия любого из блоков системы инициируют E-mail сообщение администратору. В системе функционирует зеркальный сервер данных. БКР отслеживает все изменения на основном сервере и соответствующим образом изменяет (добавляет) данные на зеркальном сервере. В случае остановок основного сервера БКР переключает БИЗ и БОЗ на IP-адрес зеркального сервера данных.

- БЗД — блок запроса данных со станций, работающий в режиме коммутируемой линии. Зарегистрированный пользователь, используя этот блок программ, имеет возможность инициировать работу БДО и получать требуемый интервал данных с конкретной сейсмостанцией. БЗД в своей работе руководствуется системой прав и приоритетов зарегистрированных пользователей. Например, сам БДО при инициации веерного доступа к станциям, работающим в режиме коммутируемой линии, имеет высший нулевой приоритет. Высший приоритет присвоен ПОСД, ниже (последовательно) — региональные центры и прочие зарегистрированные пользователи. Заказанную информацию пользователи получают на ftp.ndc.org.ua.

### Список литературы

Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. — Москва: Мир, 1989. — 237 с.

Бобылев Н. А., Болтянский В. Г., Лемак С. С., Парусников Н. А., Тихомиров В. М. Математическая теория систем. — Москва: Наука, 1986. — 567 с.

Бойко В. В., Савинков В. М. Проектирование баз данных информационных систем. — Москва: Финансы и статистика, 1989. — 350 с.

Бойко В. В., Савинков В. М. Проектирование информационной базы автоматизированной системы на основе СУБД. — Москва: Финансы и статистика, 1982. — 435 с.

Ганиев А. З. Оценка применения спутникового и интернет каналов связи для передачи сейсмологических данных // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 5. — С. 115—118.

- Ганієв О. З. Оцінка можливості застосування мобільного телефонного зв'язку для передачі сейсмологічних даних // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. — Київ, 2005. — С. 94—103.
- Ганиев А. З. Михайлик И. Ю. Структура аппаратно-программного комплекса подразделения сбора и накопления информации Национального центра сейсмологических данных Украины // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 4. — С. 108—115.
- Грабер М. Введение в SQL. — Москва: Финансы и статистика, 1998. — 790 с.
- Дядюра В. А., Михайлик И. Ю., Пененко А. В., Ситоленко А. Н., Гуков В. М., Качалин И. Г. Украинская сейсмическая группа. Модернизация аппаратно-программных средств // Геофиз. журн. — 2000а. — 22, № 3. — С. 70—79.
- Дядюра В. А., Михайлик И. Ю., Пененко А. В., Ситоленко А. Н., Гуков В. М., Качалин И. Г. Украинская сейсмическая группа. Специализированная цифровая система сбора сейсмологической информации. // Геофиз. журн. — 2000б. — 22, № 3. — С. 78—81.
- Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. — Москва: Наука, 1981. — 272 с.
- Когаловский М. Р. Архитектура механизмов отображения данных в многоуровневых СУБД // Техника реализации многоуровневых систем управления базами данных. — Москва: ЦЭМИ АН СССР, 1982. — С. 3—19.
- Когаловский М. Р. Технология баз данных на персональных ЭВМ. — Москва: Финансы и статистика, 1992. — 224 с.
- Савинков В. М., Вейнеров О. М., Казаров М. С. Основные концепции автоматизации проектирования баз данных // Прикладн. информатика. — 1982. — Вып. 1. — С. 173—205.