

Цифровая сетевая система сейсмического мониторинга СССМ – решение к программе «Цифровой Казахстан» для недропользователей

Программа «Цифровой Казахстан» разработана по поручению Президента Республики Казахстан Н. А. Назарбаева и утверждена Постановлением Правительства Республики Казахстан за № 827 от 12 декабря 2017г.

Основная миссия программы «Цифровой Казахстан» – создание цифровой платформы, которая повысит конкурентоспособность отраслей экономики и качество жизни населения.

Применительно к горно-металлургической промышленности это – новая индустриальная революция, тесно связанная с внедрением цифровых технологий углубленной аналитики, реализации проектов по автоматизации процессов на производстве и проектов по обеспечению безопасности на предприятиях горнометаллургического комплекса.

Чрезвычайные происшествия и аварии неизбежны в любой сфере человеческой жизнедеятельности. Но существуют такие области, в которых риск аварий с тяжёлыми последствиями и человеческими жертвами гораздо выше, чем на других направлениях. Горнодобывающая промышленность относится к числу наиболее рискованных видов деятельности, а обрушения в шахтах являются одними из самых распространённых причин «смертей на производстве».

Прогноз удароопасности участков массива горных пород и руд основан на общей закономерности развития геомеханических процессов, согласно которой редкие обрушения больших объемов массива готовятся образованием большого числа малых трещин, разломов. Поэтому для того, чтобы прогнозировать появление крупномасштабных разрушений, необходимо постоянно отслеживать накопление мелких повреждений массива горных пород. Одним из способов такого отслеживания является регистрация сейсмических событий - сейсмических волн, возникающих при образовании повреждений массива горных пород с помощью систем сейсмического мониторинга, с последующим расчетом географических координат их эпицентров и оценкой их сейсмической энергии с помощью систем сейсмического мониторинга.

Применение таких систем на удароопасных месторождениях регламентировано **«Правилами обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов, ведущих горные и геологоразведочные работы (утверждены приказом Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан №352 от 30.12.2014)» – пункт 697, пункт 704 подпункт 3), пункт 741, приложение 17 раздел 1.**

Наряду с сейсмическими волнами, возникающими в процессе повреждения горных пород, система мониторинга регистрирует также сейсмические волны от промышленных взрывов с последующим определением их координат. Поэтому система сейсмического мониторинга, наряду с наблюдением за повреждением горных пород в целях прогноза обрушений в шахтах, "по совместительству" может вести наблюдение за нарушениями при проведении взрывных работ, а также за незаконной деятельностью в шахтах, потери от которой могут быть значительными.

Экономический эффект от применения системы сейсмического мониторинга заключается в уменьшении или предотвращении ущерба от чрезвычайных ситуаций, связанных с обрушением подземных горных выработок. Своевременный прогноз позволяет заранее вывести персонал и дорогостоящее оборудование из опасной зоны, выполнить другие защитные мероприятия и, таким образом, предотвратить затраты на восстановление оборудования, выплату компенсаций пострадавшим, которые могут быть значительными. Поэтому наличие системы сейсмического мониторинга на объектах недропользования повышает их инвестиционную привлекательность.

Таким образом, применение системы сейсмического мониторинга СССМ, производимой ТОО «ЭЛГЕО», полностью соответствует целям и задачам программы «Цифровой Казахстан».

Принцип работы системы СССМ

Сетевая система сейсмического мониторинга СССМ состоит из сети сейсмических пунктов, связанных в единую систему,

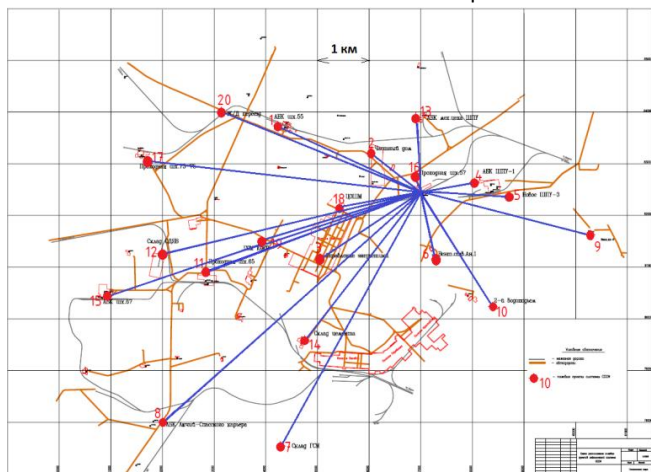


Рис. 1. Карта размещения полевых пунктов системы СССМ на месторождении у заказчика

которая позволяет выявлять в пределах шахтного поля зоны, опасные по горным ударам, на основе непрерывной регистрации параметров сейсмической активности. Система СССМ регистрирует также и выполняемые в процессе горных работ взрывы и может использоваться для технологического контроля взрывных работ, а также для мониторинга незаконной деятельности в шахтах.

Пример размещения системы СССМ из 20 полевых пунктов на месторождении у заказчика приведен на рис. 1. Расположение полевых пунктов выбирается с учетом наиболее оптимального охвата объектов сейсмического мониторинга. Возможные места возникновения сейсмических событий должны быть окружены полевыми пунктами системы сейсмического мониторинга. Плотность (число полевых пунктов системы на 1 кв. км) выбирается исходя из требуемой погрешности определения координат сейсмических событий и чувствительности системы к слабым сейсмическим событиям. Минимальный состав системы сейсмического мониторинга 6-8 полевых пунктов.

Процесс регистрации сейсмических сигналов, выделения и обработки сейсмических событий системой СССР производится следующим образом. Сейсмические сигналы с сейсмоприемника поступают на вход полевого пункта. В полевом пункте производится их усиление, оцифровка. Оцифрованные сеймосигналы подвергаются цифровой фильтрации. Затем оцифрованные сигналы формируются в блоки данных, которые снабжаются меткой даты и времени от встроенных высокостабильных цифровых часов. Эти часы синхронизируются от имеющихся в составе системы средств синхронизации времени. Блоки оцифрованных сейсмических данных поступают во встроенный компьютер полевого пункта, где записываются в суточные файлы. Суточные файлы – это файлы, в которых содержится по одному часу сейсмических данных. По мере заполнения микро SD – карты встроенного компьютера, старые файлы удаляются, освобождая место для новых файлов. Объем SD - карты достаточен для хранения нескольких суток записи. Параллельно с записью в файл, сейсмические данные подвергаются анализу с целью выделения сейсмического события по алгоритму, известному как STA-LTA.

Идея алгоритма выделения сейсмического события заключается в следующем, рис 2. В процессе приема сейсмического сигнала производится вычисление мощности сигнала путем осреднения квадратов отсчетов сигнала в коротком (1 ... 3 сек) – Short Time Average, STA и в длинном (10 ... 20 сек) – Long Time Average, LTA, окнах. В длинном окне средняя энергия сигнала меняется плавно, и, предположительно, отражает уровень микросейсмических помех. В коротком окне средняя энергия сигнала меняется более резко, поэтому при поступлении сигнала от сейсмического события покажет большее значение по отношению к длинному окну. На рис. 2 показано два положения длинного и короткого окон относительно регистрируемого сигнала. В отсутствие сейсмического события (положение А) среднее значение энергии сигнала в окнах одинаково, При поступлении сигнала от сейсмического события (положение окон Б) средняя величина энергии в «коротком» окне растет быстрее, чем в длинном. Если этот рост превышает заданный порог относительно средней величины энергии в «длинном» окне, то фиксируется факт наличия сейсмического события, и отправляется на сервер сообщение о сейсмическом событии и времени его фиксации. Указанный алгоритм «де-факто» является мировым стандартом и применяется во всей цифровой аппаратуре, предназначенной для регистрации сейсмических событий, выпускаемой в мире. Алгоритм не лишен недостатков и может иметь значительное число ложных срабатываний. Число ложных срабатываний может быть уменьшено подбором длины окон и порога срабатывания. Для уменьшения числа ложных событий, сервер после получения сообщения о событии ожидает сообщений о сейсмическом событии от других полевых пунктов. Если в течение заданного периода времени (1...3 с) сработало заданное число (3..6) других полевых пунктов, сервер определяет время сейсмического события и подает полевым пунктам команду прислать сейсмические данные за заданный период времени. Если число сработавших полевых пунктов менее заданного, сообщение о сейсмическом событии игнорируется. Поскольку в момент срабатывания алгоритма событие уже произошло, чтобы не потерять начало события, сервер запрашивает данные со сдвигом по времени назад на время предыстории (2 ... 5 сек). Полученные от разных полевых пунктов данные объединяются в одну запись данных сейсмического события и сохраняются в базе данных.

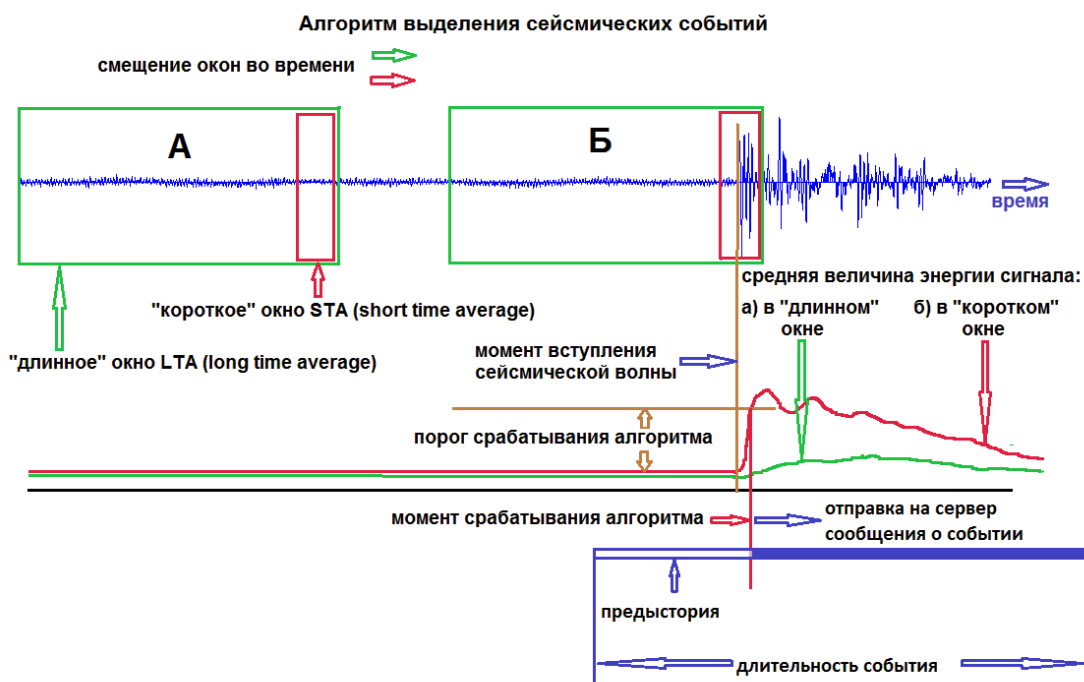


Рис. 2. Алгоритм выделения сейсмических событий

Обработка данных производится оператором в интерактивном режиме. В процессе обработки оператор по виду волновых форм сначала определяет, действительно ли запись является записью сейсмического события, или это ложное событие. Если запись является сейсмическим событием, то производится его обработка в интерактивном режиме.

В процессе формирования сейсмического события (явления) в толще горной породы возникают два типа упругих волн - продольная Р-волна и поперечная S-волна, которые распространяются с разными скоростями - S-волна имеет меньшую скорость. Потому по разности времен прихода Р-волны и S-волны в точку наблюдения можно вычислить расстояние до эпицентра сейсмического явления. При регистрации сейсмических волн в нескольких различных точках можно для каждой точки построить сферу с радиусом, равным полученному расстоянию от точки наблюдения до эпицентра сейсмического события.. Координаты места пересечения этих сфер и будут координатами сейсмического события. В сейсмологии, когда имеют дело с

анализом землетрясений, происшедших за сотни километров, в точку регистрации сейсмоприемником поперечная S-волна приходит тогда, когда колебания, вызванные пришедшей первой продольной P-волной, уже в достаточной степени успокоятся (Рис. 3). Поэтому в сейсмологии при регистрации P-волна и S-волна хорошо разделены одна от другой и описанный метод определения координат работает. Но при применении систем сейсмического мониторинга в целях регионального прогноза удароопасности участков массива горных пород и руд расстояние от места возникновения сейсмического события до

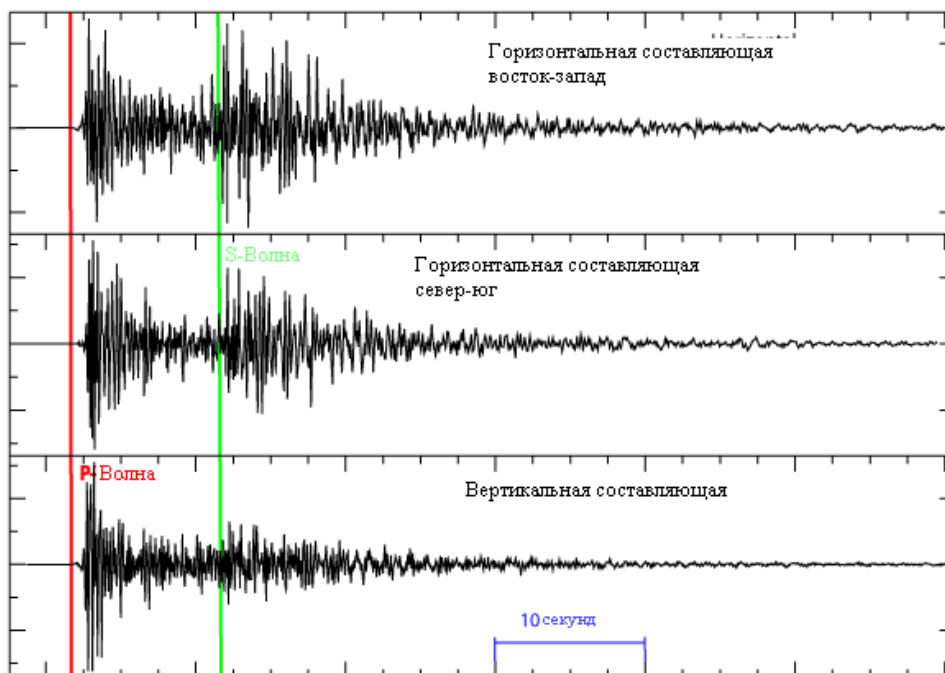


Рис. 3. Сейсмограмма землетрясения на большом расстоянии. P-волна и S-волна выделяются уверенно. (Рисунок из https://ru.wikipedia.org/wiki/сейсмическая_волна)

точки регистрации сейсмических волн (полевого пункта системы) не превышает единиц километров (см. рис. 1.). В этих условиях на сейсмограмме вступление поперечной S-волны наложено на остаточные колебания продольной P-волны, и точное определение момента вступления поперечной волны становится крайне затруднительным (рис. 4). Поэтому в системе CCCM реализован алгоритм, где расчет координат сейсмического события производится только по первым вступлениям продольной P-волны. Алгоритм основан на последовательном переборе многих вариантов расположения источника сейсмических волн на всей территории, охваченной системой CCCM.

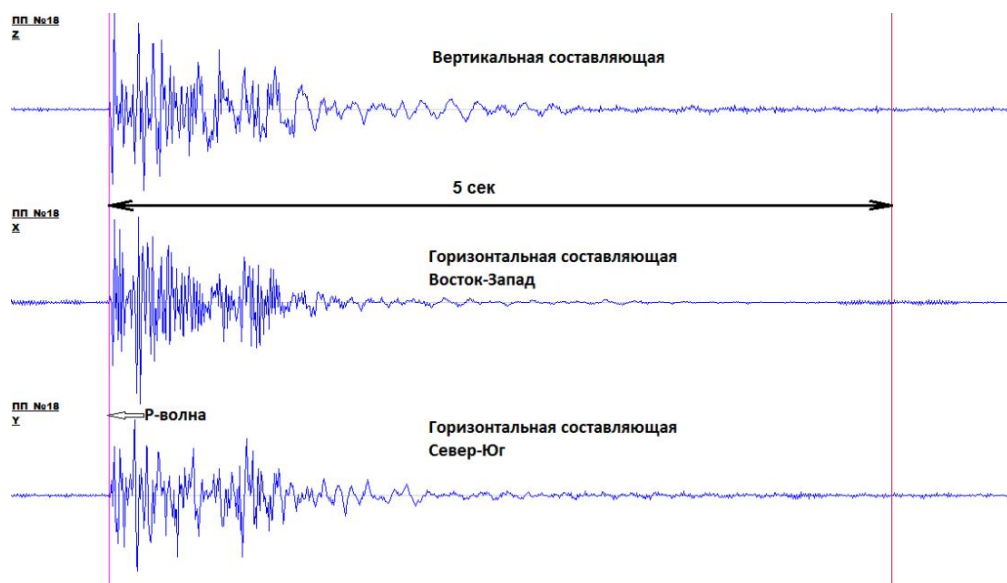


Рис. 4. Сейсмограмма сейсмического события на расстоянии 1 км от эпицентра. Уверенно выделяется только P-волна. S-волна уверенно не выделяется

Пример обработки показан на рис. 5. Оператор вручную указывает моменты вступления волн (красные метки на рис. 5), затем запускает процедуру расчета. Результатом обработки являются географические координаты эпицентра и энергетический класс (сейсмическая энергия) сейсмического события. Результаты обработки сохраняются в базе данных.

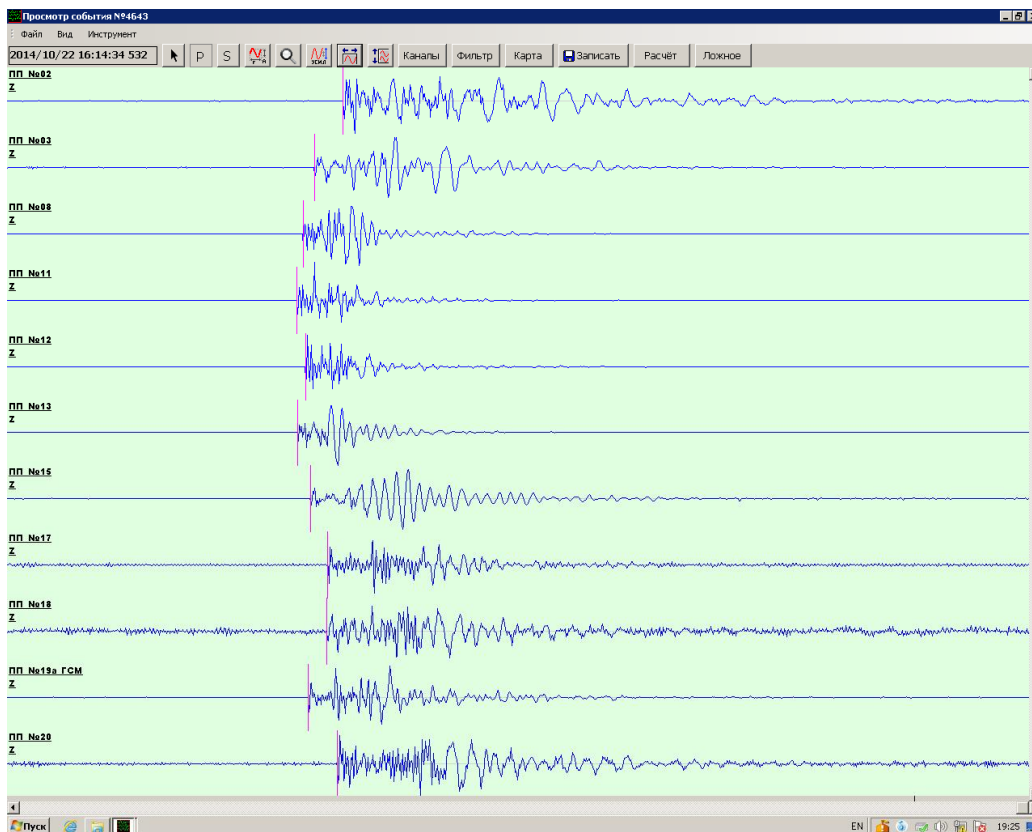


Рис. 5. Пример обработки зарегистрированного сейсмического события

Каталог зарегистрированных событий показан на рис. 6. Отображение сейсмических событий на плане горных работ в соответствии с расчетом координат показано на рис. 7. По мере накопления массива данных о сейсмических событиях становится возможным прогноз чрезвычайных ситуаций. Прогноз не является функцией системы CCCM, но строится специалистом геомехаником на основе данных, полученных системой сейсмического мониторинга.

№	Состояние	Дата	Время	X	Y	Z	Класс	Погрешность	Скорость
5788	Выделено	2014/12/09	06:54:39 488	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5787	Выделено	2014/12/08	22:45:29 672	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5786	Обработано	2014/12/08	22:18:07 888	54921,0	82994,9	-301,7	2,3	0,00348	4410,0
5785	Обработано	2014/12/08	21:56:25 666	55915,5	83714,9	-59,3	2,9	0,01559	5070,0
5784	Обработано	2014/12/08	21:50:10 962	56153,7	83910,8	-1000,0	2,9	0,00231	3200,0
5783	Выделено	2014/12/08	21:37:49 354	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5782	Обработано	2014/12/08	21:21:34 328	51114,5	82063,8	-435,7	2,4	0,04194	4900,0
5781	Обработано	2014/12/08	15:40:24 196	56825,6	84822,1	-1000,0	4,1	0,02792	4780,0
5780	Выделено	2014/12/08	15:04:29 940	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5779	Выделено	2014/12/08	07:54:10 786	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5778	Обработано	2014/12/08	07:39:19 172	51426,2	80728,1	-286,7	2,5	0,00444	4730,0
5777	Обработано	2014/12/08	07:37:31 204	56123,9	83890,5	405,6	1,8	0,01013	5270,0
5776	Обработано	2014/12/08	07:35:22 178	54935,1	83041,0	334,0	2,1	0,00362	5040,0
5775	Обработано	2014/12/08	07:19:16 644	53838,2	81880,2	386,9	2,3	0,00499	4830,0
5774	Выделено	2014/12/08	07:14:37 344	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5773	Обработано	2014/12/07	22:21:18 204	54945,0	83011,6	-155,5	2,8	0,00263	4760,0
5772	Выделено	2014/12/07	21:49:46 284	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5771	Выделено	2014/12/07	21:46:09 256	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5770	Выделено	2014/12/07	12:02:38 594	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5769	Обработано	2014/12/07	08:21:50 762	55912,6	83932,4	1000,0	2,5	0,00130	3980,0
5768	Обработано	2014/12/07	07:05:53 900	51587,2	84665,2	-646,2	3,2	0,00254	4840,0
5767	Обработано	2014/12/06	22:30:47 738	56605,7	83652,0	-158,5	3,1	0,00209	5200,0
5766	Выделено	2014/12/06	22:14:31 836	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5765	Выделено	2014/12/06	22:13:49 672	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5764	Выделено	2014/12/06	21:48:57 576	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5763	Обработано	2014/12/06	07:53:53 886	54915,2	83016,9	928,2	2,7	0,00344	4800,0
5762	Выделено	2014/12/06	07:46:03 274	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5761	Обработано	2014/12/06	07:31:59 344	55906,2	83904,9	414,2	2,1	0,02012	5340,0
5760	Выделено	2014/12/06	07:18:55 464	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5759	Обработано	2014/12/06	07:15:37 090	53611,6	80643,3	382,9	2,1	0,00040	5020,0
5758	Обработано	2014/12/06	04:19:49 632	53827,1	81662,4	644,8	2,1	0,00709	5100,0
5757	Обработано	2014/12/05	22:09:42 324	56139,1	83852,8	-308,6	1,7	0,00872	4500,0
5756	Выделено	2014/12/05	22:08:15 226	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5755	Выделено	2014/12/05	16:50:08 398	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5754	Выделено	2014/12/05	07:31:07 878	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5753	Обработано	2014/12/05	07:16:55 832	53843,8	81880,5	4,0	2,6	0,00021	4360,0
5752	Выделено	2014/12/05	07:14:52 476	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00000	0,0
5751	Обработано	2014/12/05	07:00:49 002	54960,9	82925,0	444,0	2,4	0,02072	4340,0

Рис. 6. Каталог сейсмических событий в системе CCCM

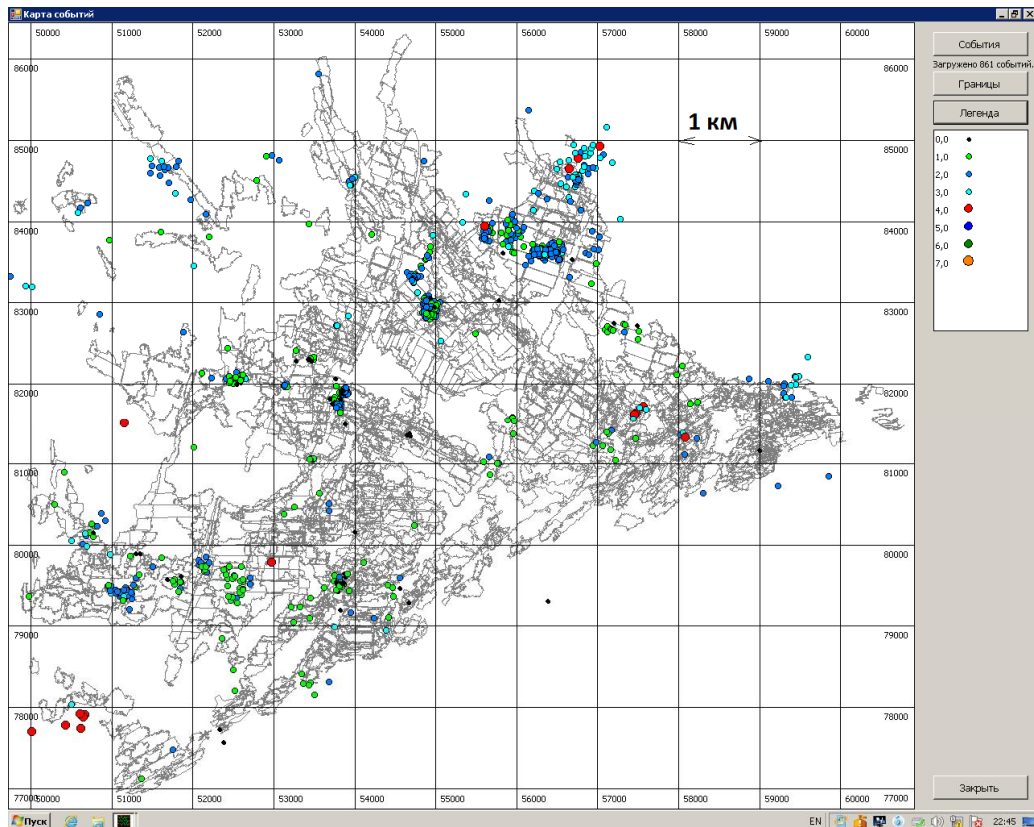


Рис. 7. Отображение сейсмических событий на плане горных работ

Для визуального контроля работы системы сейсмического мониторинга СССМ, оператор имеет возможность одновременного просмотра всех сейсмических сигналов в системе на экране монитора в виде многоканальной бегущей осциллограммы в реальном времени. Внешний вид осциллограммы всех сейсмосигналов в реальном времени приведен на рис. 8. Для уменьшения нагрузки на сеть передачи данных для формирования осциллограммы передается сокращенный объем данных. В случае недостаточной пропускной способности сети передачи данных вывод осциллограммы может быть отключен.

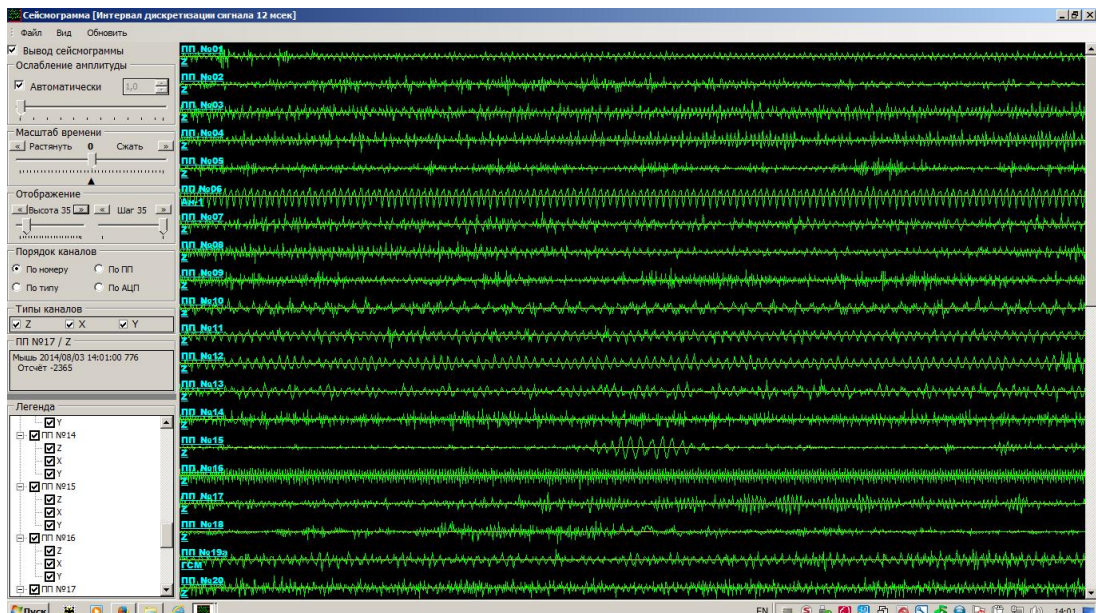


Рис. 8. Внешний вид осциллограммы всех сейсмосигналов в реальном времени

Принципы организации системы СССМ

Система сейсмического мониторинга СССМ предназначена для использования как система непрерывного автоматизированного контроля напряженного состояния и удароопасности массива горных пород. Важным свойством системы является высокая оперативность сбора и обработки сейсмической информации. Поэтому инфраструктурной основой системы являются каналы связи для передачи цифровой сейсмической информации в Центр сбора и обработки системы.

Современное развитие аппаратуры цифровой связи характеризуется широким использованием протоколов и методов, первоначально разработанных для организации локальных компьютерных сетей, но по мере широкого внедрения компью-

терных технологий в повседневную практическую деятельность получивших широкое развитие и для охвата значительных территорий. Поэтому при разработке системы CCCM было принято для организации передачи информации использование сети передачи данных на основе стандартов Ethernet компьютерных сетей. Такой подход позволяет применять в составе системы сейсмического мониторинга широкую гамму современного цифрового телекоммуникационного оборудования и создать гибкую инфраструктуру каналов связи, позволяющую в зависимости от места установки полевых пунктов системы CCCM использовать различные виды связи – беспроводную связь или связь с использованием выделенных проводных линий, или их комбинации. При плотной сети на небольших площадях можно применять обычное оборудование локальных компьютерных сетей, и, наоборот, при необходимости можно использовать оптические линии, спутниковые каналы.

Обязательным условием функционирования систем сейсмического мониторинга является точная привязка по времени всей регистрируемой информации. Наземные полевые пункты могут быть синхронизированы с помощью ГЛОНАСС/GPS приемников, но для подземных полевых пунктов применение ГЛОНАСС/GPS невозможно. В последнее время получил серьезное развитие протокол точной синхронизации времени PTP (Precise Time Protocol), известный так же под названием IEEE1588. В процессе разработки системы CCCM достигнута возможность синхронизации полевых пунктов, установленных под землей от наземного ГЛОНАСС/GPS приемника через систему синхронизации времени, работающую по протоколу PTP через интерфейс Ethernet.

С учетом изложенного принята следующая структура построения сетевой системы сейсмического мониторинга CCCM, рис. 9. Система CCCM состоит из произвольного числа полевых пунктов. В состав каждого полевого пункта входит сейсмоприемник, модуль сейсмический. Модуль сейсмический получает сигналы от сейсмоприемника, а также имеет вход для ввода сигналов синхронизации времени. Для связи с центром сбора и обработки модуль сейсмический имеет компьютерный интерфейс Ethernet. Связь наземных полевых пунктов с Центром сбора и обработки осуществляется через беспроводную сеть Ethernet, синхронизация времени наземного полевого пункта выполняется от ГЛОНАСС/GPS приемника. Связь подземных полевых пунктов с центром сбора и обработки осуществляется до поверхности земли - через проводную линию связи с помощью XDSL-модемов и далее через беспроводную сеть Ethernet. Синхронизация времени подземных полевых пунктов осуществляется от наземного ГЛОНАСС/GPS приемника через модули синхронизации IEEE1588, взаимодействующие между собой через ту же линию проводной связи. Таким образом, принятые технические решения системы CCCM обеспечивают гибкость архитектуры системы, как в отношении связанного оборудования, так и в отношении оборудования для синхронизации времени.

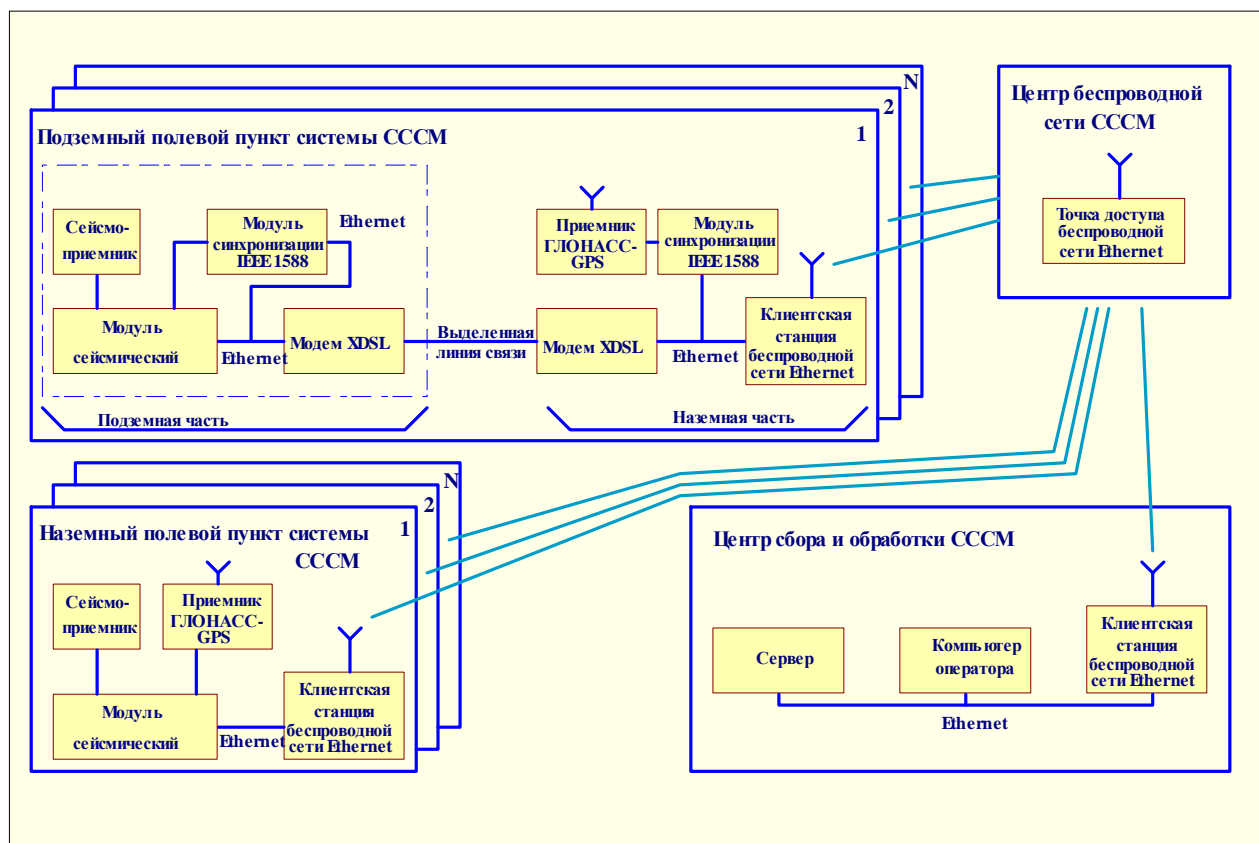


Рис. 9. Пример структуры системы CCCM

Первичная обработка регистрируемых сейсмических сигналов и выделение сейсмических событий производится непосредственно в сейсмическом модуле полевого пункта. В центр сбора и обработки передаются только выделенные сейсмические события, поэтому общая нагрузка на среду передачи информации невелика. В то же время весь объем принимаемых сейсмических данных записывается на носитель (SD-карта) в полевом пункте. Записанная информация доступна для повторной обработки путем передачи всей или части записанной информации через канал связи по запросу центра сбора и обработки. Управление параметрами регистрации и всеми режимами работы полевого пункта производится дистанционно из Центра сбора и обработки. Приведенная на рис. 9. структура системы CCCM является лишь одним вариантом применения системы. В зависимости от конкретных условий применения системы может быть выбрано иное оборудование связи и другая структура системы сейсмического мониторинга с использованием производимых ТОО «Элгео» модулей.

Основные технические характеристики системы СССМ

Число полевых пунктов – неограниченно.

Число сейсмических каналов в составе полевого пункта – 3, 6.

Число разрядов АЦП в сейсмическом канале – 24 (23+знак).

Коэффициент усиления усилителя на входе АЦП – 1, 10 или 100.

Интервал дискретизации АЦП – 2 мс.

Диапазон частот сейсмического канала – от 0 до 200 Гц.

Уровень шумов сейсмических каналов в диапазоне частот от 0 до 200 Гц, эффективное значение – не более 0,08 мкВ.

Динамический диапазон сейсмических каналов – не менее 130 дБ.

Сейсмическая информация от каждого полевого пункта (ПП) передается в Центр сбора и обработки (ЦСО) по телекоммуникационному каналу.

Проверка работы ПП и установка параметров осуществляется дистанционно через телекоммуникационный канал.

В качестве телекоммуникационного канала может быть использовано любое телекоммуникационное оборудование, имеющее интерфейс Ethernet.

Информация от всех ПП системы передается в ЦСО, где осуществляются её обработка.

Привязка информации к точному времени осуществляется в полевых пунктах кварцевыми часами.

Стабильность хода часов не хуже $\pm 1 \cdot 10^{-6}$.

Корректировка хода часов наземных полевых пунктов осуществляется приёмником ГЛОНАСС/GPS.

Корректировка хода часов подземных полевых пунктов осуществляется приёмником ГЛОНАСС/GPS через модули синхронизации по протоколу точной синхронизации времени IEEE1588. Точность синхронизации не хуже 0.1 мс.

Питание оборудования полевых пунктов осуществляется от сети переменного тока 220 В $\pm 10\%$, 50 Гц.

Встроенное программное обеспечение полевого пункта обеспечивает:

- прием и хранение всей поступающей сейсмической информации;
- выделение сейсмических событий;
- передачу файлов выделенных событий в ЦСО по запросу;
- передачу в ЦСО по запросу в непрерывном режиме всей поступающей информации в целях контроля функционирования и настройки системы;

Программное обеспечение центра сбора и обработки обеспечивает:

- дистанционно, через телекоммуникационный канал управление параметрами регистрации информации в полевых пунктах;
- ведение архива выделенных событий;
- ведение каталога выделенных событий;
- возможность просмотра поступающей от ПП информации на экране;
- обработку выделенных событий с целью определения координат гипоцентров событий, энергетического класса событий, отображение эпицентров событий на плане горных работ.

Сейсмоприемники

В системе сейсмического мониторинга могут применяться сейсмоприемники любого типа. ТОО «Элгео» готово поставлять в составе системы сейсмоприемники для поверхностной установки и для установки в неглубоких скважинах, выполненные на базе чувствительных модулей сейсмоприемников с собственной частотой 4.5 Гц. Пример монтажа сейсмоприемника на бетонном основании приведен на рис. 10. Внешний вид сейсмоприемника для скважинной установки приведен на рис. 11. Система сейсмического мониторинга может быть установлена в местах с повышенным уровнем промышленных помех. Поэтому сейсмоприемник для поверхностной установки смонтирован в стальном корпусе, хорошо защищающем от низкочастотных электромагнитных помех. Сейсмоприемник имеет три упорных винта и пузырьковый уровень для горизонтальной установки.



Рис. 10. Установка сейсмоприемника на бетонном основании



Рис. 11. Сейсмоприемник для скважинной установки

Конструкция

Конструкция полевого пункта системы СССР позволяет размещать его как на поверхности, так и в подземных горных выработках, взрывобезопасных по газу и пыли. Устройство сейсмического полевого пункта для наземной установки показано на рис. 12.

Устройство сейсмического полевого пункта для подземной установки показано на рис. 13. Модуль синего цвета на рис. 13 - XDSL модем для выделенных линий.



Рис. 12. Полевой пункт системы СССР для наземной установки



Рис. 13. Полевой пункт системы СССР для подземной установки

Для связи полевых пунктов с центром сбора и обработки могут применяться любые современные средства связи, совместимые с технологиями компьютерных сетей. Для полевых пунктов, установленных на поверхности земли удобны беспроводные компьютерные сети. На рис. 14 показана одна из антенн точки доступа центра беспроводной сети связи. Клиентские станции беспроводной сети для связи с центром сбора и обработки показаны на рис. 15 и рис. 16.



Рис. 14. Точка доступа центра беспроводной сети связи СССР



Рис. 15. Клиентская станция сети связи СССР для средних расстояний



Рис. 16. Клиентская станция сети связи СССР для больших расстояний

Сведения о Казахском содержании

Система сейсмического мониторинга разработана и изготовлена ТОО «Элгео», являющейся по составу соучредителей полностью Казахской фирмой.

Структура системы, электрические схемы, 4 из 7 типов электронных модулей, кроме оборудования связи, программное обеспечение встроенных микроконтроллеров, программное обеспечение входящих в состав системы компьютеров разработано ТОО «Элгео».

Силами ТОО «Элгео» выполнены работы по электрическому монтажу, слесарно-сборочные работы.

Для выполнения токарно-фрезерных работ, гальванических покрытий, изготовления и монтажа печатных плат электронных узлов по договорам привлекались Казахские фирмы.

Процент казахского содержания в системе сейсмического мониторинга СССР с учетом изложенного выше может составлять более 75%.