



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 горно-металлургического 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 промысленных 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».

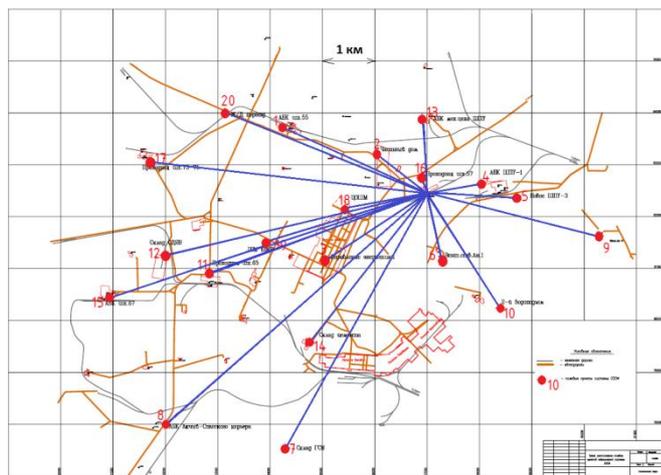


Рис. 1. Карта размещения полевых пунктов системы СССМ на месторождении у заказчика

Сетевая система сейсмического мониторинга СССМ состоит из сети сейсмических пунктов, связанных в единую систему, 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. Система СССМ в 2014г установлена на месторождении у заказчика. Карта размещения 20 полевых пунктов приведена на рис. 1.

Сейсмические сигналы, регистрируемые сейсмоприемниками, непрерывно анализируются в автоматическом режиме. При выявлении с помощью специального алгоритма сигналов сейсмического события, фрагмент поступающих от сейсмоприемников данных записывается в файл сейсмического события, который поступает в центр сбора и обработки

оператору системы. Оператор производит в интерактивном режиме с помощью специальной компьютерной программы обработку файла события. Результатом обработки являются географические координаты эпицентра и энергетический класс (сейсмическая энергия) сейсмического события. По мере накопления массива данных о сейсмических событиях становится возможным прогноз чрезвычайных ситуаций.

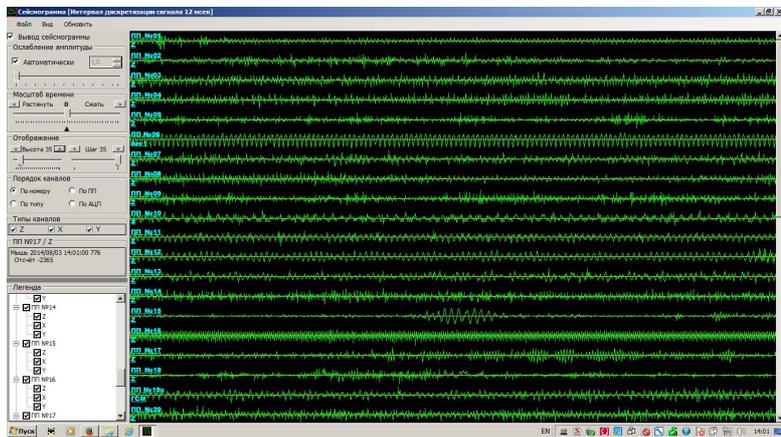


Рис. 2. Осциллограмма сейсмосигналов системы СССМ в реальном времени

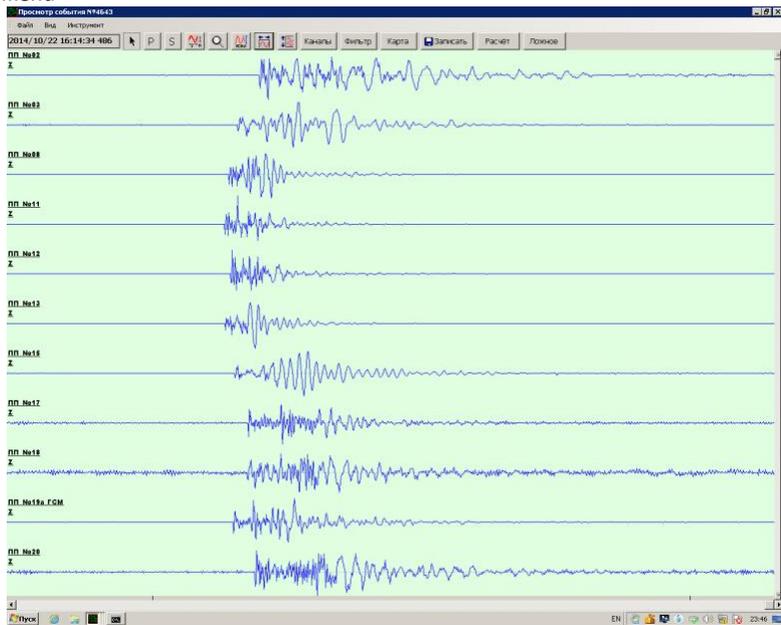


Рис. 3. Пример регистрации сейсмического события системой СССМ

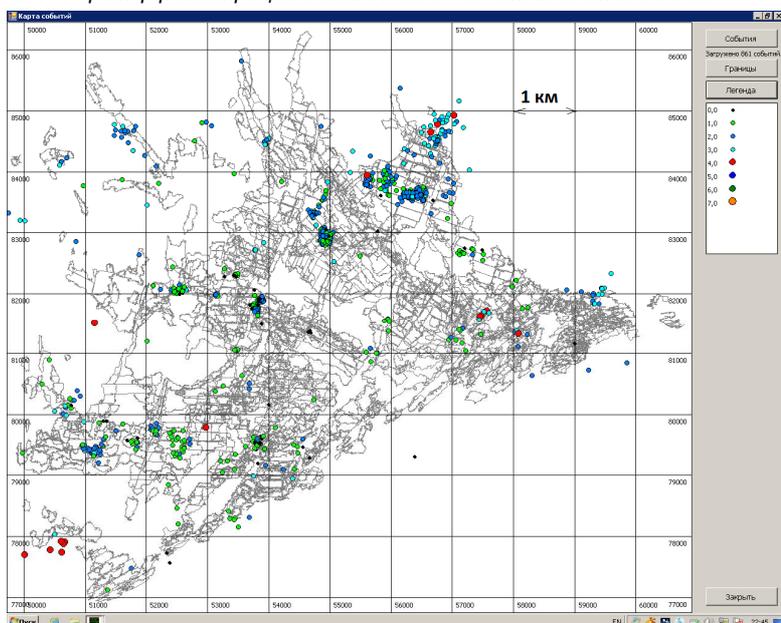


Рис. 4. Отображение зарегистрированных системой СССМ сейсмических событий на плане горных работ

зации времени, работающую по протоколу РТР через интерфейс Ethernet.

С учетом изложенного принята следующая структура построения сетевой системы сейсмического мониторинга СССМ, рис. 5. Система СССМ 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 пунк-

Для визуального контроля работы системы, 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. 2. Пример регистрации сейсмического события показан на рис. 3. Отображение сейсмических событий на плане горных работ в соответствии с расчетом координат показано на рис. 4.

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 офисных локальных компьютерных сетей, но по мере широкого внедрения компьютерных технологий в повседневную практическую деятельность получивших широкое развитие и для охвата значительных территорий. Поэтому при разработке системы СССМ было принято для организации передачи информации использование сети 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 СССМ 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 РТР (Precise Time Protocol), известный так же под названием IEEE1588. В процессе разработки системы СССМ достигнута возможность синхронизации полевых пунктов, установленных под землей от наземного ГЛОНАСС/GPS приемника через систему синхрони-

тов 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.

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. 5. 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.

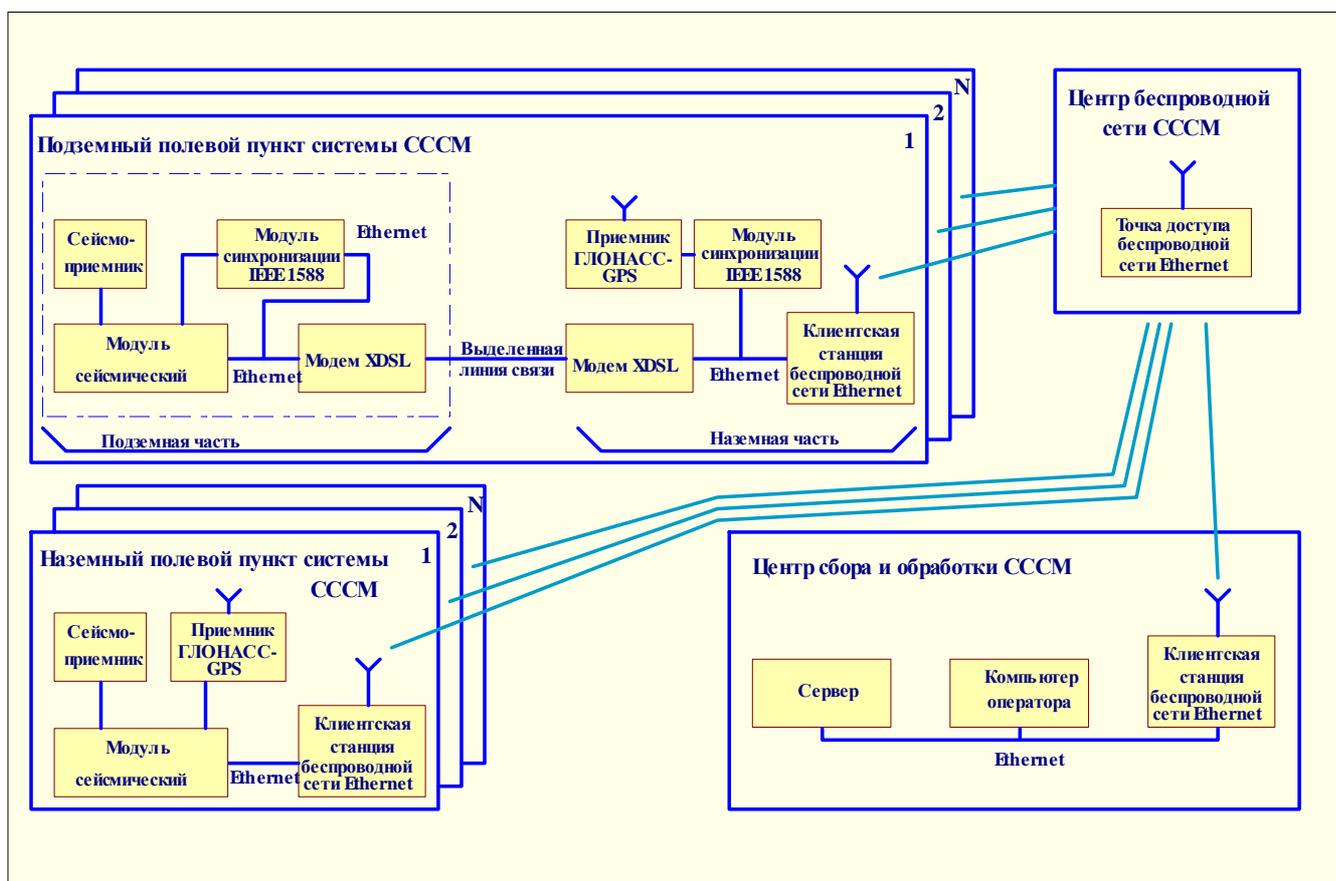


Рис. 5. Пример структуры системы CCCM

Основные технические характеристики системы CCCM

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;



Рис. 6. Установка сейсμοприемника на бетонном основании

- 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.

Сейсμοприемники

В системе сейсмического мониторинга могут применяться сейсμοприемники любого типа. ТОО «Элгео» готово поставлять в составе системы сейсμοприемники для поверхностной установки и для установки в неглубоких скважинах, выполненные на базе чувствительных модулей сейсμοприемников с собственной частотой 4.5 Гц. Система сейсмического мониторинга может быть установлена в местах с повышенным уровнем промышленных помех. Поэтому сейсμοприемник смонтирован в стальном корпусе, хорошо защищающем от низкочастотных электромагнитных помех. Сейсμοприемник имеет три упорных винта и пузырьковый уровень для горизонтальной установки. Пример монтажа сейсμοприемника на бетонном основании приведен на рис. 6. Внешний вид сейсμοприемника для скважинной установки приведен на рис. 7.



Рис. 7. Сейсμοприемник для скважинной установки

Конструкция

Конструкция полевого пункта системы СССМ 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. 8. Устройство сейсмического полевого пункта для подземной установки показано на рис. 9. 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. 10 показана точка доступа центра беспроводной сети связи. Клиентские станции беспроводной сети для связи с центром сбора и обработки показаны на рис. 11 и рис. 12. Для связи с полевыми пунктами, установленными под землей, в шахтах, должны применяться выделенные проводные линии, оптические линии.



Рис. 8. Полевой пункт системы СССМ для наземной установки



Рис. 9. Полевой пункт системы СССМ для подземной установки



Рис. 10. Точка доступа центра беспроводной сети связи СССМ



Рис. 11. Клиентская станция беспроводной сети связи СССМ для средних расстояний



Рис. 12. Клиентская станция сети связи СССМ для больших расстояний