

Проектирование универсальной измерительно-аналитической платформы для исследования состояния породного массива

Константинов А. В.^{1*}, Гладырь А. В.¹

¹ Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск, Россия

*e-mail: alex-sdt@yandex.ru

Реферат

Введение. В настоящее время все более актуальной становится разработка геоакустических сигнальных систем безопасности ввиду увеличивающегося объема добычных участков на рудниках и высоких скоростей ведения горнодобывающих работ. К таким системам относятся средства локального контроля удароопасности на базе программно-аппаратных средств с использованием геоакустических методов.

Цель работы. Усовершенствование ряда характеристик используемого прибора локального контроля удароопасности «Prognoz L». Предлагаемый подход к проектированию должен предоставлять возможность локализации сигналов акустической эмиссии, более широкий спектр рабочих частот и увеличение зоны контроля приконтурного массива. В качестве дополнительных преимуществ предполагается повысить комфорт использования прибора в процессе взаимодействия с графическим интерфейсом, предоставив множество новых функций.

Методология. В работе рассматриваются проектные решения по разработке универсальной измерительно-аналитической платформы для исследования состояния горного массива. Разрабатываемое устройство позиционируется как замена хорошо зарекомендовавшего себя прибора локального контроля удароопасности «Prognoz L», наследующее и расширяющее его функциональные возможности. Создание новой платформы обусловлено рядом ограничений оригинального прибора, построенного на базе микроконтроллера семейства STM32, использующего вычислительное ядро с архитектурой ARM.

Результаты. В рассматриваемом подходе к проектированию прибора локального контроля удароопасности выделяются конструктивная, аппаратная и программная части, каждая из которых является независимой и может быть усовершенствована без необходимости внесения изменений в другие части.

Выводы. Применение указанного подхода позволит определять источник акустической эмиссии, повысить эффективность проводимых измерений и снизить трудоемкость процесса внедрения и усовершенствования отдельных компонентов разработанной системы.

Ключевые слова: породный массив; удароопасное состояние; локальный контроль; акустическая эмиссия; локация; геомеханический мониторинг.

Введение. Ввиду увеличивающихся объемов выработанных пространств и темпов горных работ как на подземных рудниках, так и при ведении открытых горных работ все большую актуальность приобретает разработка геофизических систем безопасности [1–4]. В качестве основных преимуществ таких систем можно отметить отсутствие требования нарушения сплошности горного массива, а также низкую трудоемкость и высокую оперативность [5]. Оценка состояния горного массива осуществляется при помощи регистрации параметров, отражающих геомеханические процессы при ведении горных работ, с последующей обработкой и интерпретацией полученных данных. Такие средства позволяют эффективно использовать их в динамично развивающихся природно-технических системах.

Для реализации локальных экспресс-методов в России создан широкий набор технических средств, среди которых важное место занимают переносные одно-

или двухканальные регистраторы геоакустической информации ЗУА, ПГМ, «Волна-1», «Прогноз-Иа», «Ритм», «АЭР», «Ангел» и др. С их помощью можно определять лишь ограниченное число параметров регистрируемых сигналов, чаще регистрируется только интенсивность следования импульсов акустической эмиссии (количество импульсов в единицу времени). Однако эти приборы характеризуются относительной простотой и мобильностью, что особенно важно для контроля призабойной части выработок в процессе проведения горнокапитальных и горноподготовительных работ.

Среди приборов локального контроля также можно выделить прибор «Pocket AE-2», представляющий собой компактный двухканальный инструмент для испытаний методом акустической эмиссии (АЭ), созданный на базе карманного компьютера. Благодаря малым размерам и полному набору возможностей по регистрации и обработке АЭ, система может использоваться для любых локальных и удаленных приложений. Она выполняет традиционное измерение параметров АЭ на базе сигнального процессора, а также регистрацию и обработку волновых форм. Текстовые и графические результаты отображаются на жидкокристаллическом цветном дисплее Quarter-VGA (240 x 320 пикселей). Файлы данных АЭ сохраняются в традиционных форматах PAC на картах Compact Flash и могут быть переданы на сторонний компьютер как с помощью карт, так и по шине USB для дальнейшего анализа с помощью программ AEwin и NOESIS [6].

К недостаткам данного прибора следует отнести отсутствие встроенных алгоритмов и методов контроля удароопасного состояния горного массива [7, 8], что весьма затрудняет его применение для решения задач геомеханического мониторинга.

Перспективным подходом к оценке состояния горного массива является локальный контроль удароопасности с использованием геоакустических программно-аппаратных комплексов. Данное направление активно развивается в ряде научных учреждений, включая Институт горного дела ДВО РАН.

Обзор применяемых средств. В настоящее время на ряде рудников России применяются различные портативные регистраторы, в том числе прибор локального контроля горного давления «Prognoz L», сочетающий в себе современные технические средства и гибкое программное обеспечение.

С целью определения степени удароопасности аналитическим программным обеспечением прибора локального контроля используются следующие критерии: средняя интенсивность сигналов акустической эмиссии, показатель амплитудного распределения и т. д. Практическое использование и лабораторные испытания прибора локального контроля показали достаточную точность и адекватность оценки категории удароопасности, соответствующей начальному моменту разрушения для крепких вмещающих пород, а гибкость настройки параметров расчета позволяет проводить корректировку аналитических алгоритмов с учетом особенностей практически любого горного предприятия.

Следует отметить, что заложенная разработчиками данного прибора гибкость программного обеспечения позволяет использовать дополнительные методы анализа и обработки результатов мониторинга состояния горного массива.

В результате проведенных испытаний портативного прибора «Prognoz L» в горных выработках ряда рудников России [10]:

- получены результаты подробного анализа волновых форм сигналов и трендов спектрально-энергетических параметров акустической эмиссии для широкого диапазона горно-геологических условий проявления горного давления;
- сформулирована качественная модель геоакустических явлений на участках рудника ОКР;

– проведена классификация сигналов акустической эмиссии по спектральному составу и формам корреляторов, определяющих их принадлежность к определенному типу источника [10, 11];

– развивается современный алгоритм обработки и анализа потока информации, основанный на концепции распознавания образов; в основе алгоритма – спектрально-корреляционный анализ случайных процессов и теория искусственных нейронных сетей [12–14].

Разработанный прибор обладает неоспоримыми преимуществами, к числу которых относятся:

– малый вес и компактные габаритные характеристики, позволяющие оперативно осуществлять транспортировку и проводить необходимые измерения;

– наличие графического дисплея, позволяющего с достаточным комфортом и приемлемой информативностью проводить настройку параметров работы встроеного программного обеспечения, анализировать результаты измерений и т. д.

Следует отметить, что более чем двухлетний опыт эксплуатации «Prognoz L» на различных промышленных объектах, соотнесенный с анализом современного уровня методических и технических решений в области создания и использования систем геомеханического контроля, позволил выявить следующие тенденции их развития и совершенствования:

– наблюдается стремление адаптации систем геоконтроля к конкретным объектам, выражающееся в индивидуальном исполнении и комплектации технических средств;

– современные системы геоконтроля создаются в виде открытой информационно-измерительной системы, позволяющей оперативно модернизировать применяемые аналитические методы и средства и гибко подстраиваться под постоянно меняющиеся условия;

– все большее внимание уделяется совершенствованию соответствующего интерфейса программных средств, средств обработки, интерпретации и представления данных, с помощью которых осуществляются работоспособность системы геоконтроля и ее управление;

– расширяется использование аналого-цифровых методов обработки случайных процессов, в том числе фильтрации, спектрального анализа, многомерного корреляционного анализа;

– повышение надежности и достоверности информации о состоянии массива обеспечивается интегрированием математических моделей (волновых, статистических, вероятностных и других) для описания поведения массива и механизмов разрушения его элементов;

– задачи прогноза горных ударов решаются преимущественно на основе повышения достоверности измерений местоположения и энергии источников событий, анализа форм принимаемых сигналов, сочетания активных и пассивных методов диагностики массива горных пород.

Таким образом, требования к модернизации программно-аппаратной части данного прибора и разработке расширенной его версии можно условно разделить на три группы:

– конструктивные улучшения;

– улучшения программной части;

– усовершенствование аппаратной части.

Конструктивные особенности разрабатываемого прибора. В качестве конструктивных улучшений предлагается использование сенсорного экрана как основного средства управления прибором с сохранением механических клавиш в качестве вспомогательных. За данными клавишами следует закрепить наиболее востребованные команды управления встроеным программным обеспечением,

а также кнопки включения и выключения прибора. Также по причине использования прибора в условиях слабой освещенности целесообразно оснащение дополнительной подсветкой.

Предлагается разработать и реализовать систему электропитания с дублированием питающих элементов с возможностью оперативной «горячей» замены элементов питания прибора для решения задачи обеспечения непрерывности процесса измерения в течение рабочей смены.

Поскольку большую часть времени предполагается использовать прибор в агрессивных климатических условиях, в условиях повышенной влажности и запыленности, следует предусмотреть защиту данного прибора от внешних воздействий не ниже IP65. При этом в качестве обязательного условия должны быть предусмотрены герметичные заглушки для всех внешних интерфейсов. Чтобы обеспечить повышенную степень защищенности в процессе взаимодействия с внешними устройствами и во время зарядки аккумуляторов предлагается, по возможности, использовать беспроводные технологии.

Вычислительным ядром используемого в настоящее время прибора «Prognoz L» является микроконтроллер семейства STM32, что позволяет реализовать высокое быстродействие встроенных математических алгоритмов. К его основным недостаткам относится необходимость аппаратного перепрограммирования каждого экземпляра прибора при внесении изменений в код управляющей программы и практическая сложность разработки и модернизации управляющей программы.

Для достижения определенного баланса быстродействия и эффективности практического использования оборудования целесообразно применение энергоэффективных SoC модулей, например неттопа Intel Compute Stick [BLKSTK2m364CC] на базе процессора с архитектурой x64.

Улучшение программной части. В качестве операционной системы предлагается использовать Windows 10 IoT Enterprise – продукт компании Microsoft, выполненный на ядре Windows 10.

Поскольку основное предназначение данной системы — это использование в составе промышленных устройств: киоски, банкоматы, тонкие клиенты, POS-системы, медицинские системы, информационные табло и т. п., использование Windows 10 IoT Enterprise на встраиваемых системах обеспечивает стабильную и предсказуемую работу устройств в течение долгосрочного периода. Высокая востребованность среди разработчиков программного обеспечения и пользователей, дружелюбный графический интерфейс и широкие возможности по встраиванию (блокировка устройства, фильтры записи, блокировка всплывающих уведомлений и т. д.) позволяют на порядок сократить время и стоимость разработки специализированного программного обеспечения для регистрации, визуализации и анализа за счет применения развитых средств быстрой разработки программного обеспечения и использования разработанных сторонними производителями модулей и библиотек, в том числе входящих в наиболее распространенные пакеты математического анализа, например MatLab. Данный подход позволит снизить трудоемкость процесса внедрения и тестирования различных алгоритмов [15, 16].

Отметим, что применение полноценной операционной системы с развитым графическим интерфейсом позволит оснастить обновленный прибор дополнительным программным обеспечением.

В качестве дополнительного программного обеспечения рекомендуется применение:

- справочных баз данных;
- графических изображений планов подземных горизонтов горного предприятия;

– программных средств формирования отчетной документации по результатам проведенных измерений;

– автоматически пополняемой базы данных протоколов проводимых измерений.

Усовершенствование аппаратной части. Особое внимание при формировании требований по совершенствованию прибора локального контроля следует уделить техническим возможностям ввода аналоговой информации. В настоящее время возможна обработка одного канала аналоговых данных с частотой 100 кГц и разрешающей способностью 16 бит при отсутствии возможности локации источника акустической эмиссии в массиве. Опыт практического использования прибора локального контроля выявил потребность в линейной, а впоследствии плоской и объемной локаций сигналов.

Таблица 1. Сравнительная характеристика приборов
Table 1. Comparative characteristics of devices

Показатель	Prognoz L	Prognoz L Pro
Количество каналов аналоговых данных	1	До 8
Максимальная частота оцифровки на канал	100 кГц	750 кГц (4 канала) 375 кГц (8 каналов)
Разрешающая способность	16 бит	14 бит
Возможность локации источника акустической эмиссии в массиве	Нет	Присутствует

Для решения указанной задачи предлагается использовать промышленные модули аналого-цифрового преобразования, разработанные научно-производственной группой «Р-Технолджи». В качестве аналого-цифрового преобразователя (АЦП) выбран RT USB3000, который представляет собой компактный универсальный 8-канальный АЦП, подключаемый к компьютеру по интерфейсу USB 2.0, оснащенный дополнительными входными и выходными цифровыми линиями и двухканальным цифро-аналоговым преобразователем.

Таблица 2. Рекомендуемые виды датчиков
Table 2. Recommended sensor types

Характеристика	GT250	GT350
Тип датчика	Низкочастотный с усилителем	Широкополосный с усилителем
Коэффициент электроакустического преобразования, дБ отн. 1В/м/с	Менее 90	Менее 75
Рабочая частота, кГц	50	120
Полоса пропускания, кГц	40–100 кГц	100–800 кГц
Коэффициент усиления	10	10

Схемотехническое исполнение входных каскадов обеспечивает:

– высокоточные измерения независимо от выходного сопротивления источников сигналов;

– возможность измерения высоковольтных сигналов напрямую через резистивные делители;

– низкое межканальное прохождение и отсутствие коммутационных шумов;

– высокий входной импеданс всех каналов при любом режиме работы.

Отметим, что при одновременном использовании четырех каналов аналого-цифрового преобразования максимальная частота оцифровки составляет 750 кГц на канал, а при использовании восьми каналов – 375 кГц, что значительно превышает существующие в настоящее время возможности прибора локального кон-

троля [17]. Сравнительная характеристика существующего и проектируемого приборов представлена в табл. 1.

Использование одновременно четырех и более каналов ввода аналоговой информации от приемников акустической эмиссии позволит в дальнейшем проводить локацию источников АЭ на плоскости и в объеме после разработки соответствующего программного обеспечения.



Рис. 1. Преобразователи акустической эмиссии со встроенной электроникой:
 а – GT250; б – GT350; в – высокочувствительный вибропреобразователь AP2099-1000
 Fig. 1. Acoustic emission transducers with integrated electronics:
 а – GT250; б – GT350; в – highly sensitive vibration transducer AP2099-100 (left-to-right)

В зависимости от применяемых режимов измерения для использования в многоканальном приборе локального контроля удароопасности допускается применение разнообразных первичных преобразователей физических величин (датчиков), различающихся по типу, наличию встроенной электроники и характеристикам (табл. 2, рис. 1).

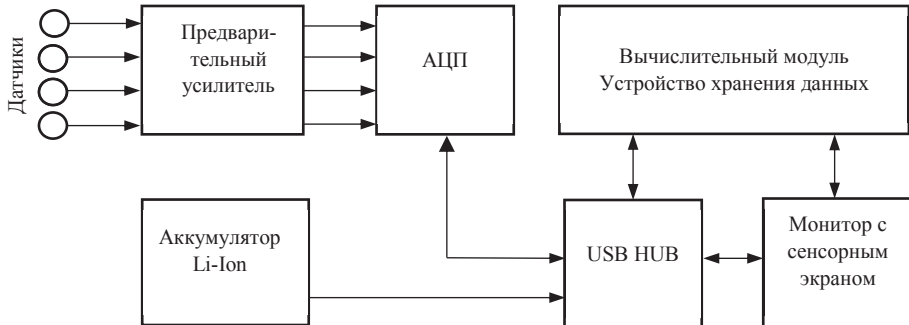


Рис. 2. Структурная схема многоканального прибора локального контроля удароопасности

Fig. 2. Rockburst hazard local control multichannel device block diagram

Возможность применения широкого спектра первичных преобразователей подразумевает разработку специализированного предварительного усилителя, совмещающего в себе функции блока питания датчика и усилителя сигнала для обеспечения согласования уровней на выходе датчика и входе модуля аналого-цифрового преобразования с возможностью программного изменения коэффициента усиления для обеспечения наиболее широкого динамического диапазона измерений. Для управления усилителем целесообразно использовать цифровые выходы модуля аналого-цифрового преобразования RT USB3000.

Структурная схема разрабатываемого многоканального прибора локального контроля удароопасности представлена на рис. 2.

Натурные испытания опытного макета универсальной платформы. На территории рудника «Николаевский» ГМК «Дальполиметалл» в сентябре-

октябре 2018 г. проводились натурные испытания опытной геоакустической четырехканальной системы с автономным электропитанием.

Испытания включали следующие основные этапы:

- монтаж первичных преобразователей в горных выработках;
- оптимизацию настроек и обработку критериев удароопасного состояния краевых участков горного массива;
- определение информативного частотного диапазона полезных сигналов акустической эмиссии;
- длительную запись сигналов технологических шумов и естественной акустической эмиссии;
- обработку различных схем установки первичных преобразователей в горных выработках и способов крепления на поверхности горной породы.

Заключение. Применение современных подходов позволяет получить более совершенный прибор для осуществления локального контроля удароопасности в массиве горных пород, предоставив его пользователям множество новых функций для применения в полевых условиях, а также удобство и комфорт в процессе использования. Подобный подход к проектированию портативного прибора позволит его разработчикам более быстро внедрять передовые средства, направленные на осуществление локального контроля удароопасности, исправлять ошибки программного обеспечения и улучшать технические характеристики прибора. Таким образом, совокупность предложенных средств является важным и необходимым этапом развития геоакустических средств локального контроля удароопасности в массиве горных пород.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов И. Ю. Контроль и управление горным давлением на рудниках Дальневосточного региона. М.: Горная книга, 2008.
2. Рассказов И. Ю., Саксин Б. Г., Петров В. А., Просекин Б. А. Геомеханические условия и особенности динамических проявлений горного давления на месторождении Антей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 3. С. 3–13.
3. Чебан А. Ю. Совершенствование техники и технологий безвзрывной разработки горных пород: монограф. Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2017. 260 с.
4. Чебан А. Ю. Способ доработки глубокого карьера с применением фрезерных машин // Маркшейдерия и недропользование. 2017. № 4. С. 23–29.
5. Гладырь А. В. Система интеграции микросейсмических и геоакустических данных геомеханического контроля // ГИАБ. 2017. № 6. С. 220–234.
6. Шемякин В. В., Стрижков С. А. Аспекты применения метода акустической эмиссии для мониторинга опасных промышленных объектов // Общие вопросы химической технологии. 2005. № 7. С. 23–26.
7. Баранов С. В. Автоматическое определение длительности сейсмического события в режиме реального времени: сб. статей. М., 2004. № 3.
8. Красовский А. А. Цифровая обработка в zetlab при идентификации параметров сейсмического сигнала // Цифровая обработка сигналов. № 3. С. 70–76.
9. Терешкин А. А., Мигунов Д. С., Аникин П. А., Гладырь А. В., Рассказов М. И. Оценка геомеханического состояния удароопасного массива горных пород по данным локального геоакустического контроля // Проблемы недропользования. 2017. № 1 (12). С. 72–80.
10. Розанов А. О., Цирель С. В. Разработка подхода к решению динамической задачи развития очага разрушения с использованием данных сейсмоакустического мониторинга: мат. VI Всерос. науч. конф. с участием иностранных ученых. Хабаровск, 2017. С. 74–80.
11. Rozanov A. O., Zang A., Wagner C., Dresen G. Acoustic frequency signatures of laboratory fractured rocks. 63rd Conference, European Association of Geoscientists and Engineers, Extended Abstracts, paper P036, 2001.
12. Reches Z., Lockner D. A. Nucleation and growth of faults in brittle rocks // J. Geophys. Res. 1994. No. 99. P. 18,159–18,174.
13. Backers T., Stephansson O., Rybacki E. Fractography of rock from the new Punch-Through Shear Test // International Conference on Structural Integrity and Fracture (Perth, Australia). 2002. No. 39. P. 755.
14. Rozanov A. O. Microseismic event spectrum control and strain energy release in stressed rocks // GEO 2012 10th Middle East Geosciences Conference & Exhibition. 2012. No. 40897.

15. Backers T., Stanchits S., Dresen G. Tensile fracture propagation and acoustic emission activity in sandstone: The effect of loading rate // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2005. Vol. 7–8. No. 42. P. 1094–1101.

16. Rozanov A. O. Ultrasonic conductivity increase as a precursor of fracture process in rocks // 75th EAGE Conference and Exhibition Incorporating Spe Europe. 2013. No. 17671. P. 6276–6280.

17. Рассказов И. Ю., Мигунов Д. С., Аникин П. А., Гладырь А. В., Терешкин А. А., Желнин Д. О. Геоакустический портативный прибор нового поколения для оценки удароопасности массива горных пород // *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2015. № 3. С. 169–179.

Поступила в редакцию 13 февраля 2019 года

Сведения об авторах:

Константинов Александр Викторович – младший научный сотрудник лаборатории геомеханики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: alex-sdt@yandex.ru

Гладырь Андрей Владимирович – старший научный сотрудник лаборатории горной геофизики Института горного дела ДВО РАН. E-mail: rush3112@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-24-32

Designing universal measuring and analytical platform to investigate the state of rock massif

Aleksandr V. Konstantinov¹, Andrei V. Gladyr¹

¹ Mining Institute FEB RAS, Khabarovsk, Russia.

Abstract

Introduction. At the present time, the development of geoacoustic signalling safety systems becomes more relevant due to larger production units at mines and higher speed of mining. Such systems include instruments for rockburst hazard assessment based on computer appliance with the use of geoacoustic methods.

Research aim is to develop a range of characteristics of the existing equipment for local monitoring of rockburst hazard Prognoz L. The approach considered in the work should allow locating the sources of acoustic emission, provide wider range of working frequencies, and enlarge marginal massif control zone. As an additional advantage, it is suggested to increase comfort of use while interacting with the graphical user interface providing many additional features.

Methodology. The present research considers design solutions over the creation of universal measuring and analytical platform for rock mass investigation. The device under consideration is introduced as a substitution for the well-proven Prognoz L local control device, inheriting and enlarging its functions. New platform creation is conditioned by a number of limitations of an original device built on the basis of a microcontroller from the STM32 family using a processor core with ARM architecture.

Results. The considered approach to the design of a rockburst hazard local control device, structural, hardware, and software parts are distinguished, each of them being independent and able to be improved with no need to change other parts.

Conclusions. The use of this approach will allow to define the sources of acoustic emission, increase the effectiveness of measurements reducing the laboriousness of the process of developing and introducing new techniques.

Key words: rock massif; rockburst hazard; local control; acoustic emission; event location; geomechanical monitoring.

REFERENCES

1. Rasskazov I. Iu. *Rock pressure monitor and control at Far East mines*. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2008. (In Russ.)
2. Rasskazov I. Iu., Saksin B. G., Petrov V. A., Prosekin B. A. Geomechanics and seismicity of the antey deposit rock mass. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2012; 3: 3–13. (In Russ.)
3. Cheban A. Iu. *Improving equipment and technology of blastless rock development: monograph*. Khabarovsk: IM FEB RAS Publishing; 2017. (In Russ.)
4. Cheban A. Iu. Method of developing deep-career with application of milling machines. *Marksheideriia i nedropolzovanie = Mine Surveying and Subsurface Use*. 2017; 4: 23–29. (In Russ.)
5. Gladyr A. V. Integration of microseismic and geoacoustic data of geomechanical monitoring. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 6: 220–234. (In Russ.)

6. Shemiakin V. V., Strizhkov S. A. Aspects of applying the method of acoustic emission to monitor hazardous industrial facilities. *Obshchie voprosy khimicheskoi tekhnologii = General Issues of Chemical Engineering*. 2005; 7: 23–26. (In Russ.)
7. Baranov S. V. *Automatic detection of seismic event duration in real time: collected works*. Moscow; 2004; 3. (In Russ.)
8. Krasovskii A. A. Digital processing in zetlab with seismic signal parameter identification. *Tsifrovaia obrabotka signalov = Digital Signal Processing*. 3; 70–76. (In Russ.)
9. Tereshkin A. A., Migunov D. S., Anikin P. A., Gladyr A. V., Rasskazov M. I. Evaluation geo-mechanical dangerous rock mass state according to local control geoaoustic data. *Problemy nedropolzovaniia = The Problems of Subsoil Use*. 2017; 1 (12): 72–80. (In Russ.)
10. Rozanov A. O., Tsirel S. V. *Developing the approach to solve the dynamic task on the development of the seat of disturbance with the use of seismoacoustic monitoring data: Proceedings of 6th All-Russian conference with foreign scientists*. Khabarovsk. 2017; 74–80. (In Russ.)
11. Rozanov A. O., Zang A., Wagner C., Dresen G. *Acoustic Frequency Signatures of Laboratory Fractured Rocks. 63rd Conference, European Association of Geoscientists and Engineers, Extended Abstracts, paper P036, 2001*.
12. Reches Z., Lockner D. A. Nucleation and growth of faults in brittle rocks. *J. Geophys Res.* 1994; 99: 18,159–18,174.
13. Backers T., Stephansson O., Rybacki E. Fractography of rock from the new Punch-Through Shear Test. In: *International Conference on Structural Integrity and Fracture (Perth, Australia)*. 2002; 39: 755.
14. Rozanov A. O. Microseismic Event Spectrum Control and Strain Energy Release in Stressed Rocks. *GEO 2012 10th Middle East Geosciences Conference & Exhibition*. 2012; 40897.
15. Backers T., Stanchits S., Dresen G. Tensile fracture propagation and acoustic emission activity in sandstone: The effect of loading rate. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2005; 42 (7–8): 1094–1101.
16. Rozanov A. O. Ultrasonic conductivity increase as a precursor of fracture process in rocks. *75th EAGE Conference and Exhibition Incorporating Spe Europec*. 2013; 17671: 6276–6280.
17. Rasskazov I. Iu., Migunov D. S., Anikin P. A., Gladyr A. V., Tereshkin A. A., Zhelnin D. O. New-generation portable geoaoustic instrument for rockburst hazard assessment. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2015; 3: 169–179. (In Russ.)

Received 13 February, 2019

Information about authors:

Aleksandr V. Konstantinov – junior researcher, Laboratory of Geomechanics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: alex-sdt@yandex.ru

Andrei V. Gladyr – senior researcher, Laboratory of Mining Geophysics, Institute of Mining FEB RAS. E-mail: rush3112@mail.ru

Для цитирования: Константинов А. В., Гладырь А. В. Проектирование универсальной измерительно-аналитической платформы для исследования состояния породного массива // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 4. С. 24–32. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-24-32

For citation: Konstantinov A. V., Gladyr A. V. Designing universal measuring and analytical platform to investigate the state of rock massif. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 4: 24–32 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-4-24-32