

**Г.Н. Волченко**

канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

**В.Н. Фрянов**

д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

**В.М. Серяков**

д-р техн. наук, заведующий лабораторией УРАН «Институт горного дела СО РАН»

**И.В. Машуков**

канд. техн. наук, директор ИГД и Г ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.233:622.235:622.831

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ГОРНОМ ДЕЛЕ**

*Проведен анализ энергетики природных и антропогенных источников, их влияния на напряженно-деформированное состояние литосферы и дана оценка энергетической насыщенности горной породы в процессе добычи полезного ископаемого в условиях высокого неравномерного горного давления.*

*Предложены безопасные и ресурсосберегающие варианты разработки рудных месторождений системой этажного обрушения с рекуперацией альтернативной энергии горного давления для разрушения горных пород. Разработан способ получения электрической и других видов энергии из альтернативных природных источников при подземной разработке массива полезных ископаемых.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки по контракту № 5.4892.2011.*

*Ключевые слова: ИСТОЧНИКИ, АЛЬТЕРНАТИВНАЯ, ЭНЕРГИЯ, ГОРНЫЙ, МАССИВ, ДАВЛЕНИЕ, НАПРЯЖЕНИЯ, ДЕФОРМАЦИИ, РАЗРАБОТКА*

**Э**нергоресурсосбережение сегодня является одним из важнейших экономических аспектов для большинства промышленных предприятий – потребителей тепловой и электрической энергии. В традиционных энергетических технологиях необходим энергоноситель – источник энергии, преобразуемой в тепло, электроэнергию, при получении которых оказывается негативное воздействие на экологию окружающей среды (за счет вредных и опасных выбросов продуктов сгорания, радиации и др.) и истощаются запасы углеводородного сырья. При этом проблемы, связанные с уменьшением запасов традиционных невозобновляемых энергоносителей,

вызывают постоянный рост цен на них. А ухудшение экологической ситуации, обусловленной их применением, становится все острее и актуальнее.

Об энергетике природных и антропогенных источников можно судить по данным таблицы 1, из которых следует, что Земля обладает огромным запасом кинетической и потенциальной энергии, тепловой энергии и собственным гравитационным потенциалом [1]. Следует учитывать также поток солнечной энергии и работу приливных сил. Все процессы в геосферах, в том числе в земной коре, происходят за счет энергии от указанных выше природных источников.

В работе [2] рассматривались альтернативные первичные источники энергии (солнечная, ветровая, геотермальная, приливная) с целью создания научных основ и пилотных проектов использования их в технологиях добычи полезных ископаемых высокой твердости.

В данной работе предлагаются направления развития научных основ для перспективного использования энергетических источников литосферы при разработке месторождений полезных ископаемых.

Оценка энергонасыщенности литосферы по исследованиям [1, 3, 4] и других показывает, что мощность длительных тектонических и кратковременных сейсмологических процессов в литосферных участках

Таблица 1 – Энергетика природных и антропогенных источников [1]

Вид энергии	Значения
Гравитационная энергия Земли, Дж	$2,5 \times 10^{32}$
Энергия вращения Земли, Дж	$2 \times 10^{29}$
Энергия излучения Солнца, Дж /год	$10^{34}$
Энергия излучения на поверхности Земли, Дж /год	$5,5 \times 10^{24}$
Энергия излучения, поглощенная Землей, Дж /год	$2,6 \times 10^{24}$
Тепловое излучение Земли, Дж /год	$(2-4) \times 10^{24}$
Энергия теплового потока Земли, Дж /год	$10^{21}$
Полная энергия деформаций, Дж /год	$10^{19} - 10^{20}$
Полная сейсмическая энергия, Дж /год	$10^{19}$
Энергия твердых приливов в земной коре, Дж /год	$2 \times 10^{20}$
Выработка энергии человечеством, Дж /год	$5 \times 10^{20}$

месторождений соизмерима с мощностью электростанций и ядерных взрывов. Из практики известно, что в случае накопления в твердой среде значительной по величине упругой энергии (например в результате предварительного неравномерного сжатия) часто фиксируется самопроизвольное разрушение материала среды (например горные удары). Энергия упругих деформаций горного массива особенно на больших глубинах является неиссякаемым альтернативным источником энергии [5]. Разработка способов рационального и целенаправленного использования данного вида энергии призвана снизить энергоресурсоемкость и повысить безопасность основных технологических процессов выемки полезного ископаемого. Таким образом, можно обоснованно ставить актуальную научную задачу о создании способов и средств активного управления напряженно-деформированным состоянием (НДС) на участках месторождений, в том числе тектоническими и сейсмическими процессами для рекуперации (от лат. recuperatio – «обратное получение» – возвращение части материалов или энергии для повторного использования в том

же технологическом процессе) их энергии и решения производственных задач.

Для достижения обозначенных целей, на наш взгляд, необходимо активизировать следующие научно-производственные исследования по использованию альтернативной энергии литосферы при разработке полезных ископаемых:

1. Реализовать идеи синтеза энергии взрыва зарядов ВВ с энергией напряженного горного массива в процессе его разрушения (дробления). Речь идет об активном формировании в процессе разрушения условий, позволяющих высвободить и использовать колоссальный объем энергии напряженного горного массива. Исследование процесса разрушения, условий его формирования и управления составляет основу создания новой техники и технологии ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях, позволяющих комплексно использовать промышленные виды энергии и энергию горного давления. Возможность управляемого использования

энергии исходного поля напряжений для хрупкого разрушения горных пород в рамках системы разработки этажного обрушения обоснована большим объемом ранее выполненных исследований по этому направлению [6–11]. Геомеханическим анализом предлагаемой технологии с помощью математического и физического моделирования, приведенного в работах [12,13], где исследовалась схема короткозамедленного взрыва зарядов ВВ «синусоида», обосновывается возможность управляемого самообрушения основной части массива технологического блока, позволяющего существенно снизить объем применяемых взрывчатых материалов. За счет эффективного управления НДС обрушаемого технологического блока снижается энергетика провоцируемых массовым взрывом динамических событий [14, 15]. Разработанные методики будут способствовать увеличению ресурсосберегающих эффектов при использовании направления крупномасштабной отбойки (с применением

вертикальных концентрированных зарядов ВВ) в подземных геотехнологиях [16].

2. Создать системы оптимального и безопасного управления геомеханическими процессами на основе использования закономерностей перераспределения исходных полей напряжения вокруг горных выработок, инженерных способов по уменьшению концентрации напряжений в различных элементах систем разработки для обеспечения их устойчивости, тем самым сберегая ресурсы на их поддержание [4, 14, 15]. В этом случае устойчивость массива повышается при снижении различного рода энергетических воздействий на приконтурный массив горных выработок.
3. Использовать воздействия приливных сил Луны, Солнца и др. планет на структуры земной коры. Учет приливного воздействия важен для многих процессов в земной коре, и инженерное их использование во многом может определить механизм управления напряженно-деформированным состоянием в данном участке литосферы как для энергоресурсосберегающего антропогенного воздействия, так и для добычи энергоресурсов с целью их рекуперации в производственный процесс. На этом принципе работают приливные электростанции. Во взрывном деле использование сил межпланетной гравитации описано в техническом решении [17].
4. При строительстве шахты всегда затрачивается какое-то количество энергии на системную выемку горной массы из недр. Однако полученную таким образом фигурную выемку (конструкцию) с большим

перепадом высот между нижним и верхним горизонтами логично использовать для разработки способов получения полезных видов энергии, основанных на различных принципах. Например, использование гравитационных сил (кинетической энергии) от перепуска горной массы и шахтных вод, общешахтной депрессии, повышения температуры литосферы с глубиной (двигатели Стирлинга) и др. [18,19].

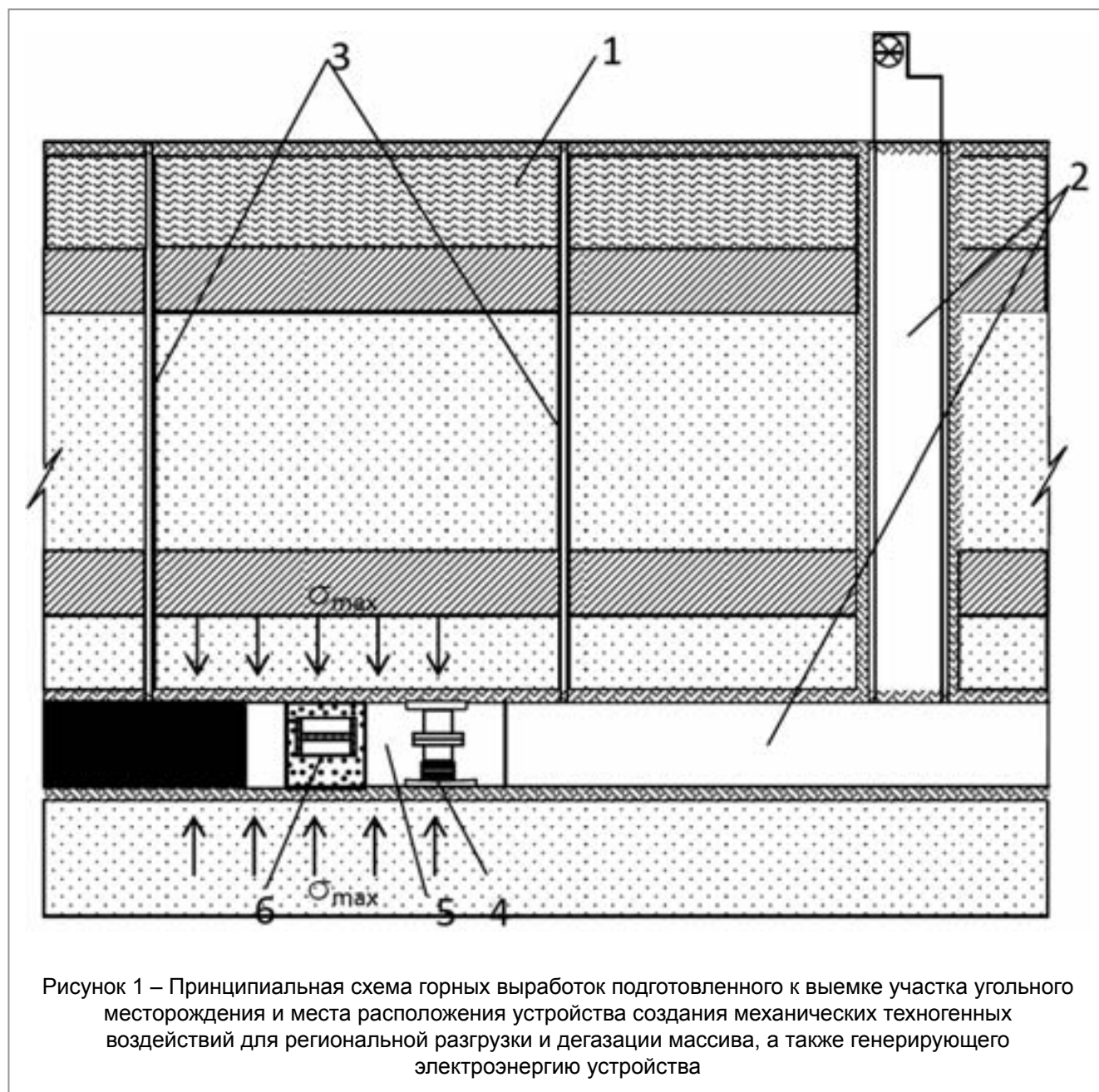
5. Трансформировать литосферные гравитационно-тектонические и техногенные напряжения через преобразующие устройства в различные виды энергии (электрическую, тепловую и др.). Целью разработки является получение электрической энергии посредством воздействия знакопеременных деформаций горных пород на преобразователи механической энергии в электрическую. Деформации горных пород в окрестности преобразователя энергии возникают под действием изменяющихся природных гравитационно-тектонических и техногенных напряжений, связанных с ведением технологических процессов, техногенных микроразрывов. Задачами исследований на уровне нанотехнологий являются установление закономерностей формирования знакопеременных деформаций в кристаллах горных пород на мезоуровне, создание преобразователей этих деформаций в электрическую энергию на основе новых наноматериалов. На начальном этапе научного поиска в качестве базового варианта создания устройства преобразования энергии предлагается использовать

многоуровневые пьезоэлектрические преобразователи, эффективность которых по результатам исследований необходимо существенно повысить. Результатом работы является система получения электроэнергии с использованием практически неиссякаемой энергии земных недр.

Сущность технического решения [20] поясняется чертежами, где на рисунке 1 изображен разрез, на котором в качестве примера представлена схема горных выработок подготовленного к выемке участка угольного месторождения и места расположения устройства создания механических техногенных воздействий для региональной разгрузки и дегазации массива, а также генерирующего электроэнергию устройства.

На рисунке 2 крупно показан фрагмент рисунка 1 и изображена схема генерирования электроэнергии пьезоэлектрическим генератором при импульсном воздействии на него горного давления.

Способ осуществляется следующим образом. В массиве полезного ископаемого 1 проходят и крепят вскрывающие 2 и технологические 3 выработки, например дегазационные скважины. Оптимальное месторасположение источника внешних технологических воздействий 4 для разгрузки и дегазации угольного массива, например шахтного вибратора ВШГ – 1 [21], в горных выработках обуславливается технологичностью, значениями энергетических показателей энергоносителя в данном районе и безопасностью ведения работ по его установке и эксплуатации, например в технологической нише 5. Генерирующее устройство 6, например



пьезоэлектрический генератор, устанавливают также в технологической нише 5, где динамическое воздействие упругих волн, создаваемых шахтным вибратором ВШГ–1, максимальное.

С целью максимального воздействия энергоносителя на генерирующее энергию устройство 6 в предлагаемом способе рабочие поверхности генерирующего устройства ориентируют перпендикулярно максимальным сжимающим на-

пряжениям  $\sigma_{max}$ . Ориентацию действия максимальных сжимающих напряжений определяют заранее известными способами. В качестве примера на рисунках 1, 2 изображено вертикальное действие максимальных сжимающих напряжений  $\sigma_{max}$ , вектор действия которых направлен вертикально. После определения направления действия  $\sigma_{max}$  генератор устанавливают с ориентацией рабочих поверхностей пьезопластин горизонтально, т.е. перпендикулярно действию  $\sigma_{max}$ , и

создают жесткий контакт устройства со стенками выработки, закрепив, например, цементным раствором. При этом с целью снижения потерь волновой энергии на границе сред компоненты цементного раствора выбирают такими, чтобы акустический импеданс затвердевшего раствора был близким к акустическому импедансу вмещающих залежь горных пород. С целью увеличения объемов получения электрической энергии генерирующее устройство компонуют, например, из протя-

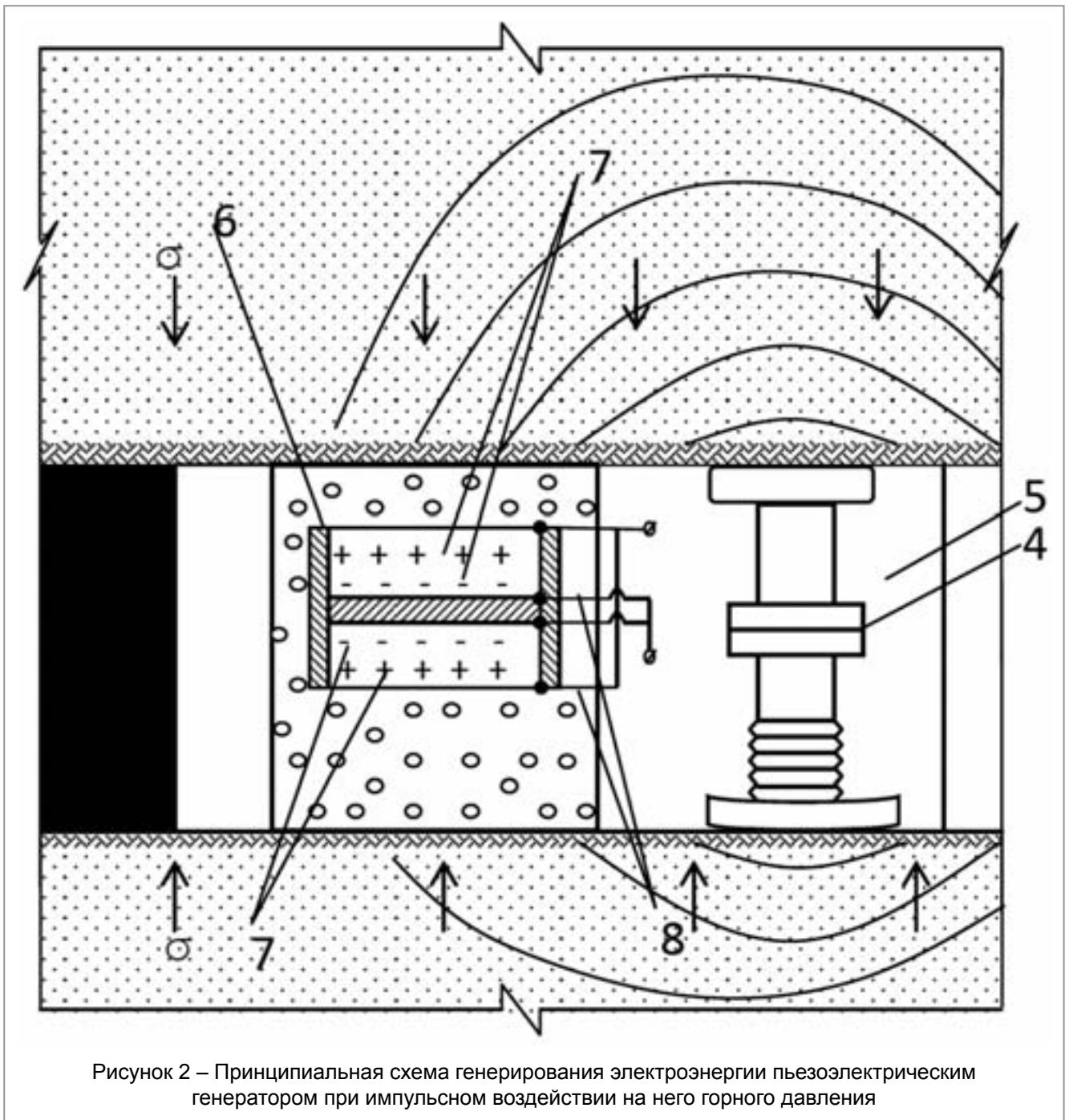


Рисунок 2 – Принципиальная схема генерирования электроэнергии пьезоэлектрическим генератором при импульсном воздействии на него горного давления

женных и многоуровневых модулей пьезоэлектрических преобразователей. После установки оборудования 4, 6 начинают работы по разгрузке и дегазации угольного массива. При работе шахтного вибратора ВШГ–1 массив полезного ископаемого подвергается вибрационному воздействию, под действием которого происходит более эффективно процесс разгрузки и дегазации массива

по скважинам 3.

При технологическом воздействии шахтного вибратора ВШГ–1 на массив горных пород в диапазоне частот 1–48 Гц с максимальным давлением до 18,5 МПа пьезоэлектрический генератор способен воспринимать эти воздействия, так как пьезоэлементы способны воспринимать колебания давления от десятков герц до десятков мегагерц. За

счет этого возникает деформация кристаллов пьезоэлементов, и на поверхностях пьезопластин возникают разнополюсные заряды «+» и «-» 7, которые стекают по электродам 8 (токоъемные слои) в различного рода накопительные устройства [22], например конденсаторы, и др. В дальнейшем полученную электроэнергию используют, например, для снабжения работающих

в шахте механизмов, освещения и др., создавая замкнутый энергетический цикл (рекуперация энергии). Осуществление предлагаемого технического решения в условиях разработки месторождений в сейсмоактивных зонах позволит генерирующему устройству генерировать электрическую энергию без применения источника механических техногенных воздействий 4. Динамические нагрузки на массив будут осуществляться после техногенного воздействия на массив – проведения горных выработок, за счет чего произойдет нарушение первоначального равновесного напряженного состояния данного участка литосферы. Энергетика и частота общего фона сейсмических, динамических и технологи-

ческих (ведение взрывных работ) событий [4, 14, 15] соответствует условиям для получения электроэнергии, например, пьезоэлектрическими генераторами. Предлагаемое техническое решение в некоторых условиях (в районах тектонических разломов и других сейсмоактивных зонах) имеет перспективу для строительства подземных энергостанций, работающих на вышеуказанных принципах.

Кроме получения электроэнергии, применение предлагаемой схемы позволит существенно увеличить коэффициент дегазации – от 0,2 до 0,8. Соответственно увеличится дебит метана по дегазационным скважинам и производительность вакуумной станции на земной поверхности. Получение промыш-

ленной концентрации метана на вакуумной станции позволит использовать метан для получения дополнительной энергии, что обеспечит не только снижение вредного воздействия на окружающую среду при традиционных способах дегазации и выбросах метановоздушной смеси в атмосферу, но и повышение нагрузки на очистные забои при отработке дегазированных угольных пластов.

Вопрос повышения промышленной безопасности в связи со снижением объемов использования буровзрывных работ исследован в работе [23], где показано, что производственный травматизм снижается пропорционально снижению применяемых объемов буровзрывных работ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Адушкин, В.В. Актуальные проблемы геомеханики земной коры [Электронный ресурс]: Электронный научно-информационный журнал «Вестник ОГГГН РАН». –2001. – № 1(16)'. – Режим доступа: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2001/adushkin.htm#begin](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2001/adushkin.htm#begin).
- 2 Городниченко, В.И. Первичные источники энергии – альтернатива электроэнергии при разрушении крепких горных пород / В.И. Городниченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 6. – С. 130–136.
- 3 Гзовский, М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: Наука, 1975. – 536 с.
- 4 Курленя, М.В. Техногенные геомеханические поля напряжений / М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Еременко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
- 5 Квапил, Р. Новые взгляды в теории горного давления и горных ударов / Р. Квапил. – М.: Недра, 1959. – 108 с.
- 6 Петухов, И.М. Горные удары и борьба с ними на шахтах Кизеловского бассейна / И.М. Петухов, В.А. Литвин, Л.В. Кучерский [и др.]. – Пермь, 1969. – 397 с.
- 7 Зорин, А.Н. Механика разрушения горного массива и использование его энергии при добыче полезных ископаемых / А.Н. Зорин, Ю.М. Халимендик, В.Г. Колесников. – М.: Недра, 2001. – 420 с.
- 8 Капленко, Ю.П. Управление напряженным состоянием пород и параметрами отбойки при очистной выемке на глубоких горизонтах подземных рудников: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02. – М., 1987. – 32 с.
- 9 Влох, Н.П. Управление горным давлением на железорудных рудниках / Н.П. Влох, А.Д. Сашурин. – М.: Недра, 1974. – 184 с.
- 10 Машуков, В.И. Управление энергоемкостью отбойки в напряженных средах при разработке месторождений на больших глубинах / В.И. Машуков, В.И. Бояркин, И.В. Машуков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1980. – № 2. – С.100–106.
- 11 Шестопалов, А.В. Геотехнология будущего, основанная на саморазрушении полезного ископаемого / А.В. Шестопалов // Доклады IX Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». Секция разработки месторождений твердых полезных ископаемых. –Т.2. – М.: РГГРУ, 2009. – С.168–172.
- 12 Волченко, Г.Н. Энергоресурсосберегающие технологии взрывной отбойки напряженных пород на рудниках / Г.Н. Волченко. – Новокузнецк: СибГИУ, 2010. – 238 с.

- 13 Волченко, Г.Н. Геомеханическое обоснование ресурсосберегающих вариантов разработки рудных месторождений системой этажного принудительного обрушения / Г.Н. Волченко, В.М. Серяков, В.Н. Фрянов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 4. – С.144–154.
- 14 Технологические проблемы разработки железорудных месторождений Сибири / М.В. Курленя, А.А. Еременко, Л.М. Цинкер, Б.В. Шрепп. – Новосибирск: Наука, 2002. – 240 с.
- 15 Еременко, А.А. Проведение и крепление горных выработок в удароопасных зонах железорудных месторождений / А.А. Еременко, А.И. Федоренко, А.И. Копытов. – Новосибирск: Наука, 2008. – 236 с.
- 16 Технология крупномасштабной взрывной отбойки на удароопасных рудных месторождениях Сибири / С.Д. Викторов, А.А. Еременко, В.М. Закалинский, И.В. Машуков. – Новосибирск: Наука, 2005. – 212 с.
- 17 А.с. 749132 СССР, МКИ1 E21C 37/00. Способ взрывной отбойки горных пород / И.В. Машуков. – №3214854; заявл. 04.03.1980; опубл. 12.03.1981, Бюл. № 21. – 5 с.
- 18 Пат. 2184416 Российская Федерация, МПК7 H02N3/00. Способ получения электрической энергии путем преобразования энергии движущейся массы / В.П.Фролов. – № 991125380; заявл.22.06.2000; опубл. 10.09.2001, Бюл. №11. – 10 с.
- 19 Пат. 2131056 Российская Федерация, МПК6 F03B9/00, F 03G3/00. Гравитационная электроэнергетическая установка / Лью Дэвид. – № 970025789; заявл. 23.05.1997; опубл. 10.09.1998, Бюл. №8. – 10 с.
- 20 Пат. 2377413 Российская Федерация, МПК7 E 21 F 17/04. Способ получения электрической и других видов энергии при подземной разработке массива полезных ископаемых / Г.Н. Волченко, Н.Г. Волченко, В.Н. Фрянов, В.М. Серяков, Д.К. Волченко [и др.] / СибГИУ. – № 2008142931; заявл. 29.10.2008; опубл. 27.12.2009, Бюл. №36. – 8 с.
- 21 Петухов, И.М. Предотвращение горных ударов на рудниках / И.М. Петухов, П.В. Егоров, Б.Ш. Винокур. – М.: Недра, 1984. –С. 114–123.
- 22 Уорден, К. Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение / К. Уорден. – М.: Техносфера. – 2006. – С.119 –125.
- 23 Манин, В.П. О состоянии промышленной безопасности на железорудных шахтах Кузбасса / В.П. Манин // Информационный бюллетень Управления Ростехнадзора по Кемеровской области. –2006. – №5 (20). – С.3 –7.

#### THE USE OF ALTERNATIVE ENERGY IN MINING

G.N. Volchenko, V.N. Fryanov, V.M. Seryakov, I.V. Mashukov

*Analysis of natural and anthropogenic energy sources, their influence on a stress-strain state of the lithosphere and the estimate of energy saturation of the rock in the process of minerals mining under high uneven rock pressure conditions was carried out.*

*Safe and resource saving options for ore deposits development with a floor system collapse and recovery of alternative energy of mining pressure for rock destruction were suggested.*

*The method to generate electrical and other types of energy from alternative natural sources during underground coal mining was developed.*

*The work was carried out under financial support of*

*Ministry of Education and Science, contract № 5.4892.2011.*

**Key words:** SOURCES, ALTERNATIVE, ENERGY, ROCK, MASSIF, PRESSURE, DEFORMATION, DEVELOPMENT

Волченко

Григорий Николаевич

e-mail: kvazar62@mail.ru

Фрянов

Виктор Николаевич

e-mail: zzz338@rdtc.ru

Серяков

Виктор Михайлович

e-mail: vser@misd.nsc.ru

Машуков

Игорь Владимирович

e-mail: mashukov\_nv@mail.ru