

строения угольного пласта может быть частью более общей методологической проблемы по оценке потенциальной выбросоопасности обрабатываемых шахтами угольных пластов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа.- М.: Углетехиздат, 1961.- 363с.
2. Иванов Б.М., Фейт Г.Н., Яновская М.Ф. Механические и физико-химические свойства выбросоопасных угольных пластов. М.: Наука, 1979.- 195с.
3. Прогноз выбросоопасности угольных пластов и пород при разведке и доразведке месторождений/ А.Е. Ольховиченко, Б.М. Иванов, Ю.П. Зубарев и др.-К.: Техника, 1988.- 128с.
4. Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа./ А.Э.Петросян, М.Ф.Яновская, Б.М.Иванов и др. -М.: Наука,1978.- 112с.
5. Агафонов А.В., Радченко А.Г., Бабенко И.В. Обоснование методологии исследования изменчивости свойств и состояний пологих нарушенных шахтопластов. // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: Сб. научн. трудов МакНИИ.- 1996.- С. 250-256.
6. Минеев С.П., Рубинский А.А. Вопросы безопасности при обработке выбросоопасных пластов в нарушенных зонах// В кн.: Механика и разрушение горных пород.- Киев: Наук.думка, 1993.-С.147-153.

**УДК 622. 011. 43+519. 2**

С.К. Мещанинов

### **К РАЗРАБОТКЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИКОНТУРНОЙ ОБЛАСТИ МАССИВА, ВМЕЩАЮЩЕГО ВЫСОКОНАГРУЖЕННУЮ ЛАВУ**

Запропоновано та описано алгоритм розрахунку стійкості приконтурної області гірського масиву, вміщуючого високонавантажену лаву. Показано, що найбільш достовірний результат має бути одержано при використанні у якості інформативного параметру ентропії порід приконтурної області

### **TO ELABORATION THE ALGORITHM OF CALCULATION STEADINESS IN COUNTER MASSIF'S REGION, CONTAINS THE HIGH-LOADED LAVA**

There are offered and described algorithm of calculation the steadiness in-contour rock massif's region, contains the high-loaded lava. It is shown, that most reliable result may be obtained with using as quality as informative parameter the rock entropy of in-contour region

По данным работы [1], большинство приборов, применяющихся в настоящее время для измерения интенсивности взаимодействия механизированной крепи с боковыми породами - механического типа, обработка данных с которых основана на оценке средних величин просадки и изменении давления в гидравлических стойках крепи за определенные промежутки времени. Фактическое опускание кровли состоит из последовательных скачков, различающихся по величине и длительности действия. Величины скачков опускания определяются движущейся массой пород кровли, характеризующей короткоживущую динамическую систему. Такое «взвешивание» пород кровли с использованием механизированной крепи возможно только во время переходных динамических процессов при скольжении пород по линиям раскрытых трещин. В эти моменты давление на крепь представляет собой суперпозицию сил веса и реактивных сил

инерции пришедших в движение пород кровли, которым противодействует сила трения скольжения, возникающая между блоками при движении последних и сопротивление крепи.

Системы отработки подземных месторождений полезных ископаемых с оставлением незакрепленных обнажений горных пород всегда сопряжены со значительной опасностью по фактору «обрушения пород из кровли». Особую опасность в этом смысле представляют высоконагруженные лавы с неустановившимся распределением горного давления в рабочем пространстве лавы, в котором рабочим приходится находиться в течение длительного времени.

По данным работы [2], одной из основных причин недостаточной эффективности использования очистных механизированных комплексов является аварийность механизированных крепей, сопровождающаяся зажатием нежестко секций и стоек, деформациями и разрушением перекрытий и оснований секций крепей, разрушением и потерей связности пород непосредственной кровли в призабойном пространстве и проникновением разрушенных пород под крепь. Ручная уборка этой породы и погрузка её на конвейер связаны со значительным ростом трудоемкости и снижением нагрузки на забой, а транспортирование породы забойным конвейером приводит к его быстрому выходу из строя.

В настоящее время на шахтах с производственной мощностью около 1 млн.т в год для обеспечения их жизнедеятельности необходимо поддерживать от 60 до 150 км горных выработок различного назначения. При этом требования к сохранению устойчивости для различных выработок весьма отличаются друг от друга, как по времени сохранения устойчивости, так и по надежности. Непосредственно в рабочем пространстве лавы долговременная устойчивость не нужна, т.к. обычно принимается один из двух вариантов управления кровлей: полное обрушение, либо плавное опускание. При отработке высоконагруженной лавы, как правило, применяется полное обрушение. С другой стороны, эксплуатация высоконагруженной лавы, как показала практика, приводит к повышению устойчивости кровли в лаве. В то же время, вследствие высоких скоростей подвигания высоконагруженных лав, усиливаются динамические процессы во всем вмещающем их массиве, что влечет за собой увеличение количества не только обрушений кровли, но и возникновение различных ГДЯ (вывалы, обрушения, выбросы и т. д.). Таким образом, под потерей устойчивости здесь необходимо понимать возникновение ГДЯ.

ГДЯ в отдельно взятой выработке обуславливает, как правило, нарушение функционирования, как минимум, добычного участка, что при эксплуатации высоконагруженной лавы приводит к значительно большим экономическим издержкам, в сравнении с отработкой обычной лавы. В таких условиях определение вероятности развязывания ГДЯ в приконтурной области массива представляется весьма актуальной научно-прикладной задачей.

Существующие системы контроля за геомеханическим состоянием горного массива, в основном, охватывают большие площади обнажений. Для их функционирования требуется большое количество ручных операций, что исключает их использование непосредственно в забое рабочими без присутствия специ-

ально подготовленного наблюдателя. Выбор некоторого осредненного опорного значения физического параметра, используемого в системе контроля и взятого за эталон ненарушенного массива при значительной неоднородности горного массива может привести к аварийному обрушению всей кровли или её части.

В работе [3] описан электрометрический прибор, способный в автоматическом режиме последовательно опрашивать контролируемый участок кровли, и в случае нарушения её сплошности, сигнализировать о факте и местонахождении опасности.

Принцип работы прибора основан на текущем определении электрического сопротивления участка горного массива ( $R_i$ ), сравнении его с начальным электросопротивлением ( $R_o$ ), характеризующим устойчивый массив, автоматического расчета величины коэффициента потери сплошности (коэффициент устойчивости)  $K_y = R_i / R_o$ . В случае превышения  $K_y$  некоторой величины, характеризующей неустойчивое состояние пород, прибор выдает соответствующий сигнал. Использование такого прибора предполагает установку многоэлектродных прижимных устройств в месте проведения работ.

Такой подход применим, в основном, к электропроводным горным породам. Для неэлектропроводных необводненных пород наиболее предпочтительно измерять диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$  [4, 5].

В работе [6] установлена взаимосвязь скорости изменения энтропии породного обнажения и его устойчивости. Выбор энтропии в качестве информативного параметра объясняется тем, что её величина непосредственно измерена быть не может, а вычисляется через другие физические параметры, контроль которых в данных конкретных условиях наиболее прост и точен. С другой стороны, энтропия, как термодинамическая величина, отражает своим изменением эволюцию материала без необходимости анализа микроструктурных изменений в нем. То есть, на сегодняшний день, задача контроля устойчивости породных обнажений, в определенной степени, сводится к выбору физического параметра, величину которого в данных условиях можно контролировать с наибольшей точностью и простотой и сравнении изменения его величины с изменением энтропии, которая в данном случае выступает в качестве эталонной физической величины, отвечающей за адекватность выбора физического параметра. В случае неадекватности закономерности изменения выбранного физического параметра и энтропии, производят те же исследования с другим физическим параметром.

На рис.1 представлена блок-схема алгоритма расчета долговременной устойчивости приконтурной области массива горных пород при эксплуатации высоконагруженной лавы.

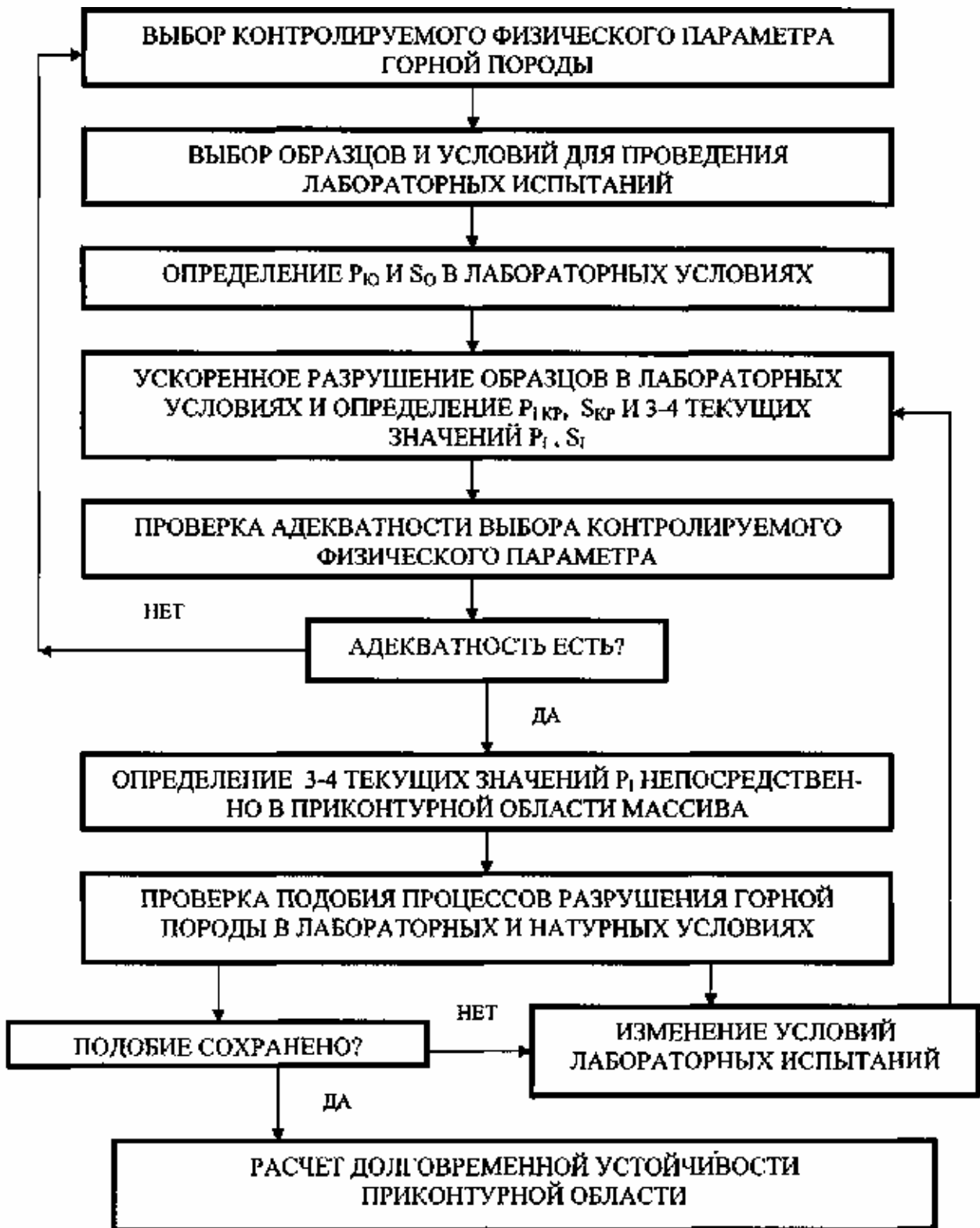


Рис. 1 - Блок-схема алгоритма расчета устойчивости приконтурной области массива горных пород при эксплуатации высоконагруженной лавы

Рассмотрим его подробнее.

1. Выбор контролируемого физического параметра горной породы. На основе знания физических свойств пород приконтурной области, а также конкрет-

ных условий проведения натурных измерений выбирают физический параметр породы, который в данном случае можно будет измерять с наибольшей простотой и точностью. Таким параметром для электропроводящих или обводненных горных пород целесообразнее измерять диэлектрические параметры - относительную диэлектрическую проницаемость  $\epsilon$  и тангенс угла диэлектрических потерь  $tg \delta$ . При использовании изолированных (бесконтактных) датчиков в некоторых случаях можно осуществлять контроль диэлектрических параметров и у электропроводных пород. Возможен также выбор другого физического параметра для осуществления контроля, например, акустический контроль.

2. Выбор образцов и условий для лабораторных испытаний. В соответствии с выбранным физическим параметром контроля выбирают тип и размеры образцов для испытаний. Обычно это призматические образцы, которые разрушают в условиях, качественно подобных тем условиям, в которых будет происходить разрушение элементов приконтурной области массива. Один из вариантов таких испытаний - разрушение образцов горной породы в режиме одноосного циклического нагружения показан на рис. 2, а датчики контроля диэлектрических свойств горных пород показаны на рис. 3.

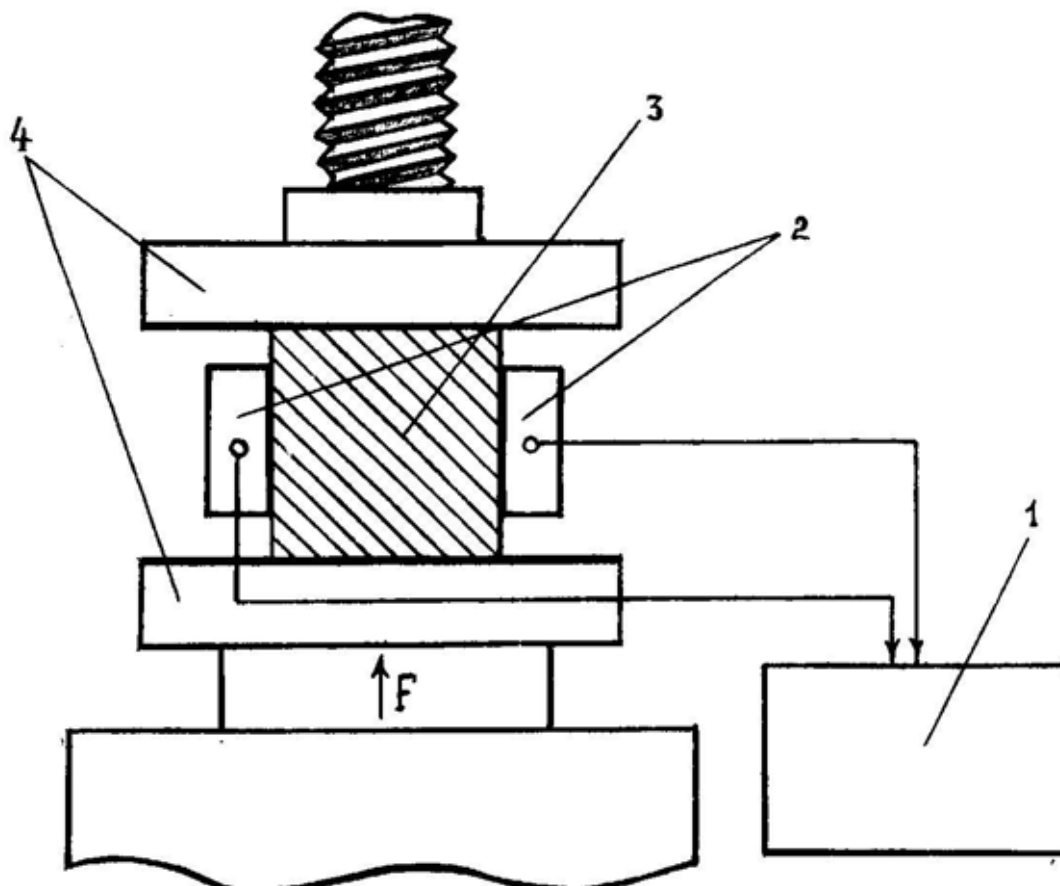


Рис. 2 - Схема лабораторной исследований образца горной породы для расчета устойчивости приконтурной области массива: 1 – измерительная аппаратура; 2 – датчики контроля эволюции материала образца; 3 – образцы горной породы; 4 – плиты пресса

3. Определение  $P_{io}$  и  $S_o$  в лабораторных условиях. Перед началом испытаний измеряют начальное значение выбранного диагностического параметра  $P_{io}$  и определяют начальное значение энтропии горной породы  $S_o$ .

4. Ускоренное разрушение образцов в лабораторных условиях и определение  $P_{икр}$ ,  $S_{кр}$  и 3-4 текущих значений  $P_i$ ,  $S_i$ . Образец, извлеченный из наиболее опасного с точки зрения потери устойчивости участка приконтурной области массива разрушают в ускоренном (форсированном) режиме в условиях нагружения, качественно подобных тем, в которых находится приконтурная область массива. Периодически определяют значения  $P_i$  и  $S_i$  вплоть до разрушения образца. Значения  $P_i$  и  $S_i$ , определенные непосредственно перед разрушением считают критическими:  $P_{икр}$  и  $S_{кр}$ .

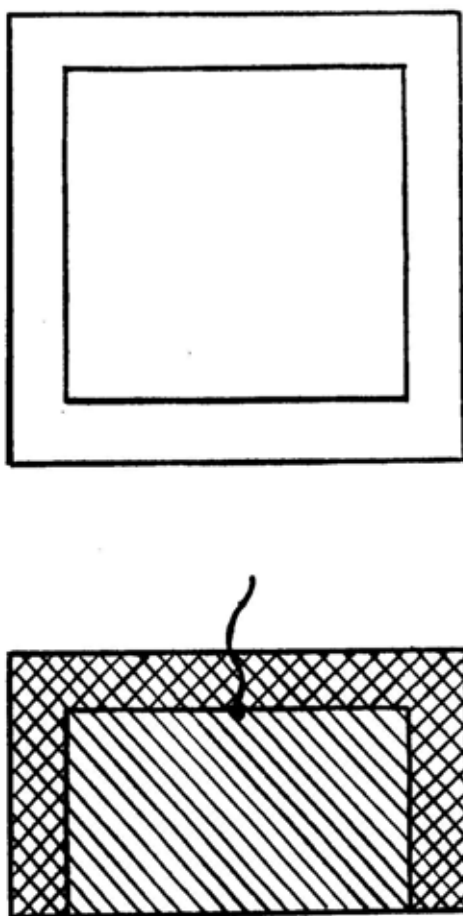


Рис. 3 – Накладной емкостной датчик для измерения диэлектрических параметров образцов горных пород

Для правильной оценки величины интервала между измерениями  $P_i$ , необходимо хотя бы приблизительно знать долговечность образца при заданном режиме нагружения. Для этого необходимо провести пробный эксперимент, который заключается в разрушении образца в лабораторных условиях при разных режимах нагружения с целью определения времени до разрушения.

5. Проверка адекватности выбора контролируемого физического параметра. Полученные текущие значения  $P_i$  и  $S_i$  аппроксимируют к известной функцио-

нальной зависимости с помощью, например, метода наименьших квадратов [7]. Сравнивают полученные таким путем аналитические зависимости  $P_i$  и  $S_i$  от времени нагружения (степени поврежденности) образца. В случае совпадения их вида есть адекватность выбора контролируемого физического параметра.

6. Определение 3-4 текущих значений  $P_i$  непосредственно в приконтурной области массива. В приконтурной области массива размещают датчики, с помощью которых производят последовательные измерения контролируемого физического параметра  $P_i$ .

7. Проверка подобия процессов разрушения горной породы в лабораторных и натуральных условиях. Эту проверку производят в 2 этапа.

Во-первых, сопоставляют результаты аппроксимации 3-4 текущих измерений  $P_i$  в лабораторных и натуральных условиях. При совпадении вида этих аналитических зависимостей, считают, что подобие сохранено.

Во-вторых, необходимо провести проверку эквивалентности лабораторного и натурального режимов нагружения. В соответствии с данными работы [8], энтропия представляет собой наиболее объективную меру накопленных повреждений. Два указанных процесса разрушения в соответствии с работой [8] будут подобными, если выполняется равенство

$$S(t_1, \xi_1) = S(t_2, \xi_2) \quad (1)$$

где  $t_1$  - время до разрушения образца в режиме  $\xi_1$  (лабораторные условия);  $t_2$  - продолжительность сохранения устойчивости приконтурной области в режиме  $\xi_2$  (натурные условия).

Несколько иначе условие (1) можно сформулировать следующим образом [8]. Два процесса разрушения являются эквивалентными (подобными), если они вызывают в образце горной породы и в приконтурной области массива одинаковое приращение необратимой составляющей энтропии. Тогда (1) может быть переписано в виде:

$$\int_0^{t_y} \dot{S}(\xi_y, t) dt = \int_0^{t_n} \dot{S}(\xi_n, t) dt \quad (2)$$

где  $\dot{S}(\xi_y, t)$ ,  $\dot{S}(\xi_n, t)$  - скорости роста необратимой составляющей энтропии в ускоренном и натурном режимах.

По аналогии с результатами работы [8] введем коэффициент ускорения:

$$k = \dot{S}(\hat{i}_y, t) / \dot{S}(\hat{i}_n, t). \quad (3)$$

Тогда

$$t_y = t_n / k. \quad (4)$$

В случае сохранения подобия, производят расчет долговременной устойчивости приконтурной области. Если подобие не сохранено, изменяют условия лабораторных испытаний.

8. Расчет долговременной устойчивости приконтурной области.

Его производят по формуле, полученной автором в работе [9]:

$$t = \frac{\ln(S_* / S_0)}{k_s}, \quad (5)$$

где  $t$  - время сохранения устойчивости приконтурной областью;  $S_*$  и  $S_0$  - соответственно критическое и начальное значения энтропии пород приконтурной области;  $k_s$  - скорость изменения (роста) энтропии.

Величина  $k_s$  определяется путем пересчета в единицы энтропии результатов периодических измерений выбранного физического параметра непосредственно пород приконтурной области.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов Г.А. Оценка состояния массива горных пород при подземной разработке полезных ископаемых с применением механизированных крепей / 5-й Всесоюзный семинар по горной геофизике. Телави, 30 окт.-2 ноября 1989, ч.2 - С.164-166.
2. Яковлев Н.И. Практические способы определения тяжести проявлений горного давления и контроля несущей способности механизированных крепей // Экспресс-информ. ЦНИЭИуголь. - М., 1978. - 36с.
3. Хемичкий Н.Н., Котлярский А.И., Лукашенко Л.К. Автоматический прибор текущего контроля потери сплошности горного массива КПС-1 / 5-й Всесоюзный семинар по горной геофизике. Телави, 30 окт.-2 ноября 1989, ч.2 - С.79-81.
4. Касьянов В.А. Исследование и разработка электроемкостного метода измерения трещиноватости пород вокруг горных выработок / Автореф. дис... канд.техн.наук, Алчевск, 1977. - 20 с.
5. Артемов А.В., Беликов В.В. О возможности прогноза выбросопасности углей по их диэлектрическим свойствам // Уголь Украины. - 1979, № 6. - С.39-40.
6. Бондаренко В.И., Зорин А.Н., Грядущий Ю.Б. и др. Закономерность изменения устойчивости породных обнажений при периодических нагрузках. Открытие № 151, 2000 // Сб.научных открытий. - М.-СПб, 2000. - С.17-18.
7. Статистические методы в экспериментальной физике / В.Идьё, Д.Драйард, Р.Джеймс и др. - М.: Мир, 1976. - 335с.
8. Переверзев Е.С. Модели накопления повреждений в задачах долговечности. - К.: Наук.думка, 1995. - 360 с.
9. Мещанинов С.К. Исследование механизма поведения кровли с использованием пространственно-временного показателя её устойчивости // Геотехническая механика. - Днепропетровск. - 2003, № 41. - С.120-127.