

М.В.ШВАНКИН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, *vnimi-sgu@ya.ru*

С.Н.МУЛЕВ, старший научный сотрудник, *mulev@spmi.ru*

А.П.СКАКУН, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, *vnimi-sgu@ya.ru*

Э.Н.РАБОТА, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, *vnimi-sgu@ya.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

M.V.SHVANKIN, *PhD. in eng. sc., leading research assistant, vnimi-sgu@ya.ru*

S.N.MULEV, *senior research assistant, mulev@spmi.ru*

A.P.SKAKUN, *PhD. in eng. sc., leading research assistant, vnimi-sgu@ya.ru*

E.N.RABOTA, *PhD. in eng. sc., leading research assistant, vnimi-sgu@ya.ru*

National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЗАТОПЛЕНИЯ АВАРИЙНОГО УЧАСТКА ШАХТЫ № 1-5 РУДНИКА БАРЕНЦБУРГ

Представлены результаты наблюдений напряженно-деформированного состояния аппаратурой «Ангел» с целью выделения участков, склонных к проявлению динамических форм горного давления. Исследуемая часть шахтного поля длительное время была затоплена, поэтому после осушения проведены первичные циклы геофизических измерений во всех подготовительных выработках и очистном забое методами регистрации естественного электромагнитного излучения, регистрации фоновой составляющей естественного электромагнитного поля Земли, сейсмоакустической эмиссии – ударной и естественной, импульсной по пунктам (профилям) вдоль выработок. Параллельно с геофизическими наблюдениями велись замеры прибором КДМ-1 и осуществлялись визуальные наблюдения.

Ключевые слова: Баренцбургское угольное месторождение, геофизические измерения, напряженно-деформированное состояние, электромагнитное излучение, сейсмическая активность, аппаратура «Ангел», перспективные методы контроля напряженно-деформированного состояния.

EXPERIENCE IN APPLICATION OF GEOPHYSICAL METHODS FOR STRESS-STRAIN STATE OF ROCK MASS CONTROL WITH THE GOAL OF ALTERING DESIGN SOLUTIONS IN LIQUIDATION THE FLOODING OF THE EMERGENCY SECTION OF MINE № 1-5 OF THE BARENTSBURG COAL DEPOSIT

The paper presents the results of observations of stress-strain state at the Barentsburg coal deposit by means of the «Angel» equipment with the the purpose of detecting sections prone to manifestation of dynamic forms of rock pressure. The investigated sections of mine field were flooded for a long time, therefore after drainage the original cycles of geophysical measurements have been conducted at all development workings and at production face by

applying recording techniques for natural electromagnetic emission, recording of background component of natural electromagnetic field of the Earth, seismoacoustic emission (shock) and seismoacoustic emission (natural), pulsed by points (profiles) along the workings. Parallel with geophysical observations measurements with KDM-1 device were made and visual observations were carried out.

Key words: the Barentsburg coal deposit, geophysical measurements, stress-strain state, electromagnetic emission, seismic activity, «Angel» equipment, promising methods for stress-strain state control.

При проектировании удароопасных месторождений необходимо предусматривать системы непрерывного контроля. При контроле состояния горного массива наиболее перспективны системы сейсмического мониторинга. В комплексе с локальными методами контроля (регистрация фоновой составляющей естественного электромагнитного поля Земли – ЭМИ, контроль деформаций массива – КДМ, акустическая эмиссия – АЭ, визуальный контроль) предлагаемые системы позволят выделять участки, склонные к проявлению динамических форм горного давления.

Для угольного Баренцбургского месторождений проект на разработку нижних горизонтов пласта «Верхний», включая его северо-восточный участок, был разработан в 2008 г. ОАО «Гипрошахт». В результате возгорания угольного массива в 30-й южной лаве аварийный участок был затоплен. Для ввода этой лавы в эксплуатацию с уточнением проектных решений был проведен комплекс натурных исследований по выявлению аномальных зон геомеханического состояния горного массива. Для реализации наблюдений в оконтуривающих выработках 30-й южной лавы применялась шахтная аппаратура «Ангел» [2]. Для регионального прогноза изменения состояния горных пород восстанавливается система непрерывного контроля ГИТС [1]. Из сети ранее установленных сейсмических датчиков системы непрерывного микросейсмического регионального контроля ГИТС на затопленном участке шахтного поля восстановлены три сейсмических павильона. Для точной локализации сейсмических импульсов необходимо восстановление еще трех сейсмических павильонов до начала ведения горных работ по добыче угля в 30-й южной лаве. Ожи-

даемое начало и развитие освоения и очистной выемки на северо-восточном участке шахтного поля также должно быть сопровождено установкой сети датчиков системы ГИТС, начиная от первой лавы в нетронутым массиве и далее по мере подвигания фронта очистных работ [3].

Комплекс «Ангел» предназначен для оценки параметров нестационарных геофизических полей, связанных с разрушением горных пород. Комплекс может быть применен в горных выработках, в том числе опасных по газу и пыли. В шахтных условиях комплекс используется для контроля устойчивости горных пород.

Исследуемая часть шахтного поля длительное время была затоплена, поэтому после осушения проведены первичные циклы геофизических измерений во всех подготовительных выработках и очистном забое 30-й южной лавы методами регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ), ЭМИ, сейсмоакустической эмиссии – ударной (САЭ-У) и сейсмоакустической эмиссии – естественной, импульсной (САЭ-Е) по пунктам (профилям) вдоль выработок (см. таблицу, рис. 1, 2).

Места проведения геофизических измерений приведены на рис. 1, 2.

Прогноз по параметрам ЕЭМИ выполнялся путем дистанционного приема датчиком в пунктах выработки (забое) сигналов от электромагнитных импульсов в диапазоне частот df , генерируемых электрическими разрядами в трещинах при хрупком разрушении и деформировании угля и пород в зоне опорного давления. Сигналы от датчика поступали в регистратор, работающий в автоматическом режиме под управлением микропроцессора.

Места изучения текущего геомеханического состояния выработок

Метод	Место наблюдения	Количество точек
Построение профилей с регистрацией фоновой ЭМИ	29-й южный конвейерный штрек – 880 м, шаг 10 м	88
	30-й южный конвейерный штрек – 1260 м, шаг 10 м	126
	30-й южный промежуточный штрек – 420 м, шаг 10 м	42
	Вентиляционный ход ок 30-й южной лавы – 220 м, шаг 10 м	22
	30 ^{бис} -й южный конвейерный штрек – 400 м, шаг 10 м	40
	Центральный людской уклон 2-й ступени – 210 м, шаг 10 м	21
	Монтажная камера 30-й южной лавы – 60 м, шаг 10 м	6
Построение профилей с регистрацией импульсного ЕЭМИ	29-й южный конвейерный штрек – 880 м, шаг 20 м	44
	30-й южный конвейерный штрек – 1260 м, шаг 20 м	63
	30-й южный промежуточный штрек – 420 м, шаг 20 м	21
	Вентиляционный ходок 30-й южной лавы – 220 м, шаг 20 м	11
	30 ^{бис} -й южный конвейерный штрек – 400 м, шаг 20 м	20
	Центральный людской уклон 2-й ступени – 210 м, шаг 20 м	10
	Монтажная камера 30-й южной лавы – 60 м, шаг 20 м	3
Регистрация САЭ-У	30-й южный конвейерный штрек – 70 м, шаг 15 м	4
	30-й южный промежуточный штрек – 220 м, шаг 40 м	6
	Вентиляционный ходок 30-й южной лавы – 210 м, шаг 40 м	5
	Монтажная камера 30-й южной лавы – 8 м, шаг 2 м	4
Регистрация САЭ-Е	30-й южный конвейерный штрек – 70 м, шаг 15 м	4
	Монтажная камера 30-й южной лавы – 8 м, шаг 4 м	2
	30-й южный промежуточный штрек – 220 м, шаг 40 м	6

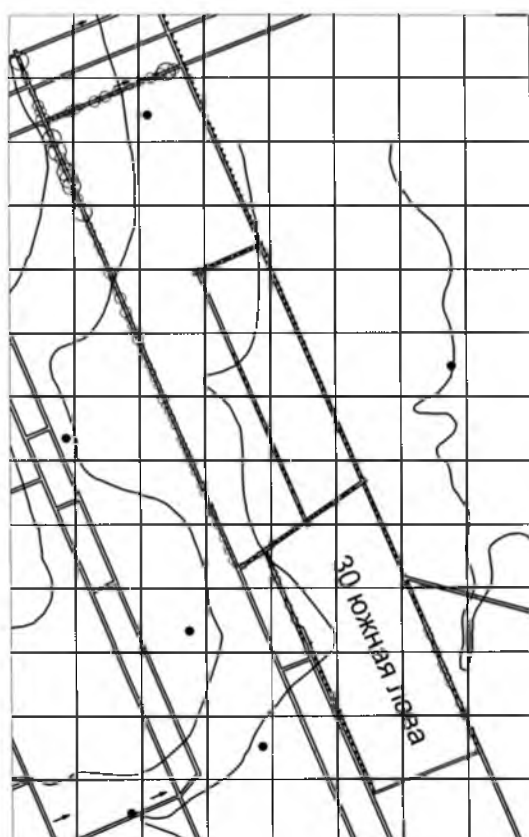


Рис.1. Данные измерений методами ЕЭМИ и ЭМИ по контуру 30-й южной лавы
● – ○ – диапазон средней амплитуды электромагнитной эмиссии 0,006-0,156 мВ

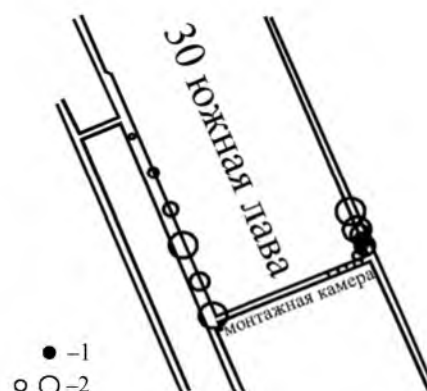


Рис.2. Проведение обследования методами САЭ-Е и САЭ-У на сопряжениях с монтажной камерой 30-й южной лавы

1 – средняя амплитуда акустической эмиссии 0,006-0,036 мВ;
2 – диапазон амплитуды отклика массива на ударное воздействие 2,1-4,5 мВ

В течение заданного интервала времени T регистратор выполнял селекцию и анализ сигналов, оценивал и запоминал параметры импульсов. По накопленной выборке параметров импульсов определялось соотношение (B) количества импульсов с высокой и низкой энергией (амплитудой) и количество N импульсов заданного уровня энергии E или амплитуды A .

Характер и степень изменений напряженно-деформированного состояния углей и

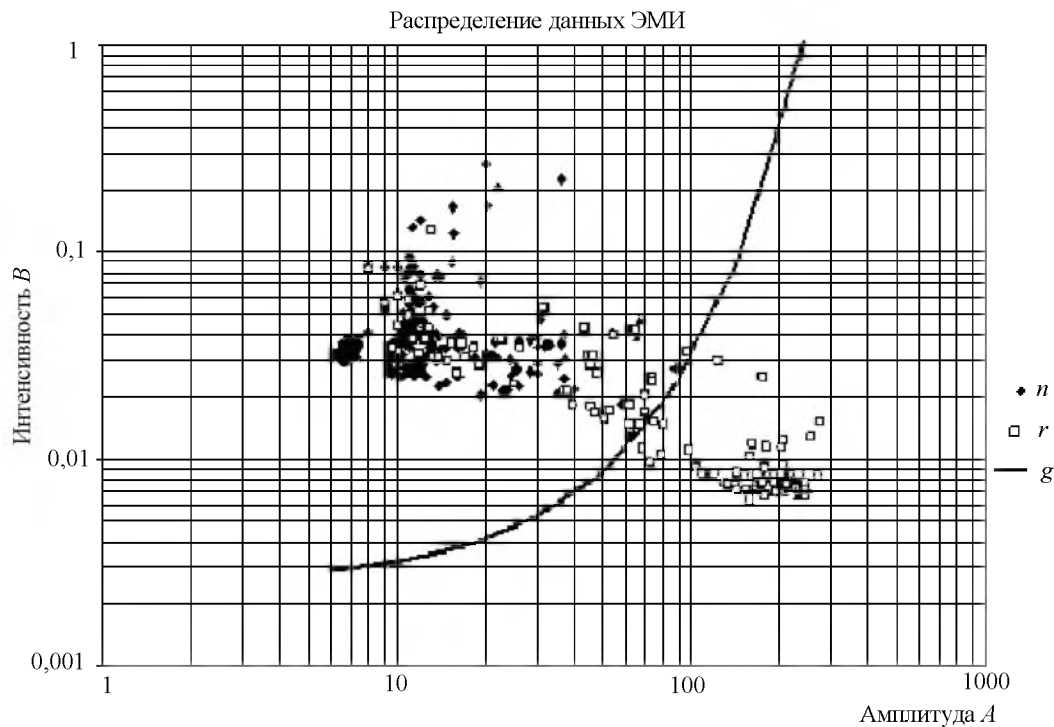


Рис.3. График возрастания ЕЭМИ при увеличении параметров A и B

пород кровли оценивались по комплексу параметров ЕЭМИ в пункте наблюдений – пиковой (максимальной в импульсе) амплитуде импульсных сигналов A и коэффициенту B .

При повышении напряжений в массиве возрастают как параметр A , так и параметр B . Существующая номинальная тенденция такого нарастания отображена графиком g на рис.3.

Данная кривая разделяет зоны более надежных (влево и вверх) и менее надежных (вправо и вниз) показаний ЕЭМИ из общей совокупности в 380 пунктов наблюдений. Наиболее надежные данные обозначены n -ромб. В них коэффициент промышленных помех $K_{\text{п}} = 1,6$. Менее надежные, но кондиционные данные обозначение r -квадрат, для них $1,6 < K_{\text{п}} < 3,2$. Ненадежные данные с $K_{\text{п}} > 3,2$ (менее 20 отсчетов в совокупности) получены в местах, где уровень промышленных помех слишком велик по сравнению с полезным сигналом, что не позволяет надежно оценивать параметры ЕЭМИ.

По распределению данных в поле параметров A и B видно, что сигналы ЕЭМИ преимущественно не превышают по амплитуде уровень $A = 100$. Выход параметра A на

уровень свыше 150, с уменьшением B до уровня менее 0,01 – верный показатель высокого уровня помех (периодически следующие мощные импульсы примерно одинаковой амплитуды). По данным, полученным при замерах ЕЭМИ, можно выделить ряд зон с повышенными, по сравнению с фоновыми значениями, показателями интенсивности электромагнитной эмиссии угля и вмещающих пород. Так, в районе бункера № 7, где проходила линия максимального затопления, проявляется зона активизации уровня B . Этот же эффект, но в меньшей степени, выявлен на сопряжении 30^{бис}-го южного конвейерного штрека с конвейерным ходком 30-й южной лавы. Здесь при затоплении образовался «воздушный мешок» и породы не были увлажнены.

По параметрам САЭ прогноз выполнялся в краевой части угольного пласта. Прогноз основан на генерации угольным пластом сейсмоакустических импульсов в предельно напряженной части пласта. Регистрацию импульсов осуществляли с помощью датчика, установленного на обнажении пласта в устье скважины. Для каждой точки измеряли показатель уровня параметра A

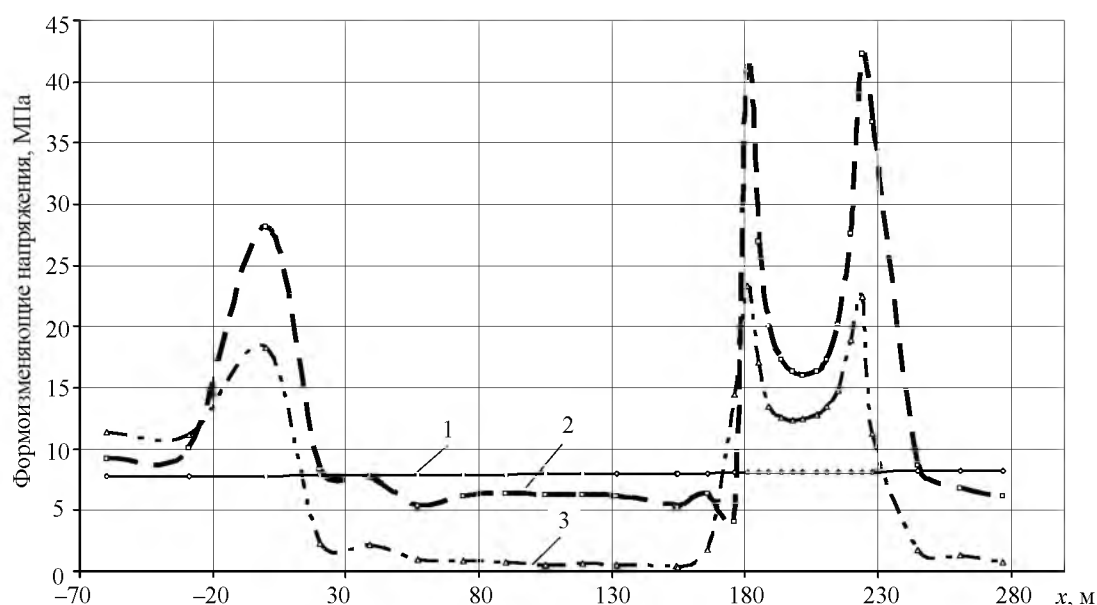


Рис.4. Распределение эквивалентных напряжений в породах непосредственной кровли по линии максимального затопления
1 — фоновые напряжения; 2 — до затопления; 3 — с учетом затопления

сейсмоакустических шумов в диапазоне частот от 0,3 до 10 кГц в течение интервала времени T . При приближении к забою лавы наблюдалось увеличение параметра A .

Проведенные аналитические расчеты по определению влияния воздействия напора воды выявили уменьшение горного давления. По характеру развития процесс аналогичен формированию опорного давления при отработке лавы, но имеет обратный знак, т.е. наблюдаем разгрузку массива, затухающую от контура затопления пород. В процессе затопления выработанного пространства вода заполнила все трещины и пустоты на обнажении угольного пласта и целика с вытеснением из них газа в незатопленные выработки и трещины (техногенные и естественные) вмещающих пород 30-й и 29-й южных лав за пределы зоны затопления в этих породах. В результате контур затопленного выработанного пространства оказался подвергнут воздействию, частично компенсирующему горное давление налегающей толщи (рис.4).

Этот процесс способствовал развитию положительной дивергенции пород кровли и почвы затопленного участка, которая с удалением в массив затухает за счет уплотне-

ния зон трещиноватости, разрыхления, смыкания трещин и пор. В результате произошло снижение нагрузки на охранный опорный целик и краевые части пласта. Там, где воздействие воды отсутствовало, наблюдается повышенный фон ЕЭМИ.

Увеличение амплитудных показателей ЕЭМИ отмечается в зоне влияния ранее отработанного пространства 29-й южной лавы по 29-й южному конвейерному штреку. Аналогичное увеличение параметров A и B ЕЭМИ отмечается в зоне влияния опережающего опорного давления, имевшего место при ведении очистных работ в 30-й южной лаве до аварии. Воздействие воды при затоплении также привело к положительной конвергенции приконтурного массива у 30-го южного конвейерного штрека. Эти сжимающие и расширяющие воздействия на массив пород увеличивают возможность отслоения по ослабленным контактам в непосредственной кровле у подготовительной выработки нижних ее слоев. Во вновь пройденной выработке (30-й южный промежуточный штрек), где воздействия опережающего опорного давления не было, фоновые показатели ЭМИ и ЕЭМИ соответствуют таковым для безугольной зоны на 30-м южном конвейерном штреке.

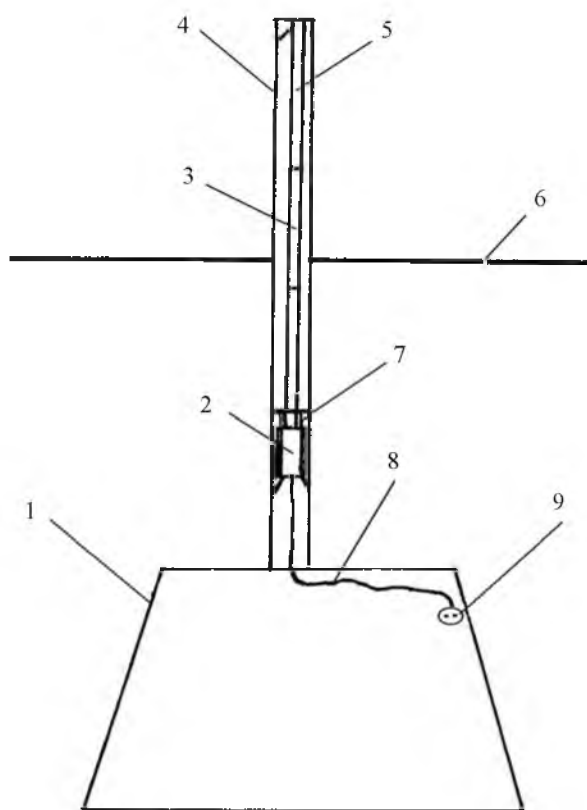


Рис.5. Схема установки и эксплуатации датчика и прибора КДМ-1

1 – выработка; 2 – датчик КДМ-1; 3 – промежуточная штанга; 4 – шпур; 5 – базовый репер; 6 – ослабленный контакт; 7 – муфта; 8 – кабель с разъемом; 9 – прибор КДМ-1 (ВЭУ)

Отмечается увеличение фоновых значений ЭМИ и ЕЭМИ в зонах тектонических мелкоамплитудных нарушений на 29-м южном конвейерном штреке, центральном людском уклоне II очереди, 30^{бис}-м южном конвейерном штреке.

В результате проведенного обследования ЭМИ и ЕЭМИ установлены зоны аномальных концентраций показателей *A* и *B*. В оконтуривающих 30-ю южную лаву выработках особенно выделяются три участка, где планируется организовать непрерывный контроль за возможным расслоением слоев кровли с помощью датчиков КДМ-1:

- 30-й южный конвейерный штрек в 100 и 150 м от линии очистного забоя;
- центральный людской уклон 2-й ступени на сопряжении с 29-м южным конвейерным штреком.

Аппарат постоянного контроля деформаций массива КДМ-1 предназначен для дистанционного контроля расслоений и отслоений пород кровли выработок, оценки напряженно-деформированного состояния горных пород массивов и шахтных целиков различного назначения.

На участке проведения наблюдений, в кровле выработки бурится шпур (скважина) 4 (рис.5) диаметром от 42 до 76 мм в зависимости от применяемого бурового оборудования. В шпур вводится базовый репер 5 с пружинными лапками для закрепления за стенки скважины. К базовому реперу шпильками подсоединены промежуточные штанги 3 из алюминиевых трубок диаметром 10 мм и длиной 1 м. Общая длина базового репера с промежуточными штангами определяется исходя из геологического строения пород кровли и методики проведения наблюдений. Датчик 2 присоединяется к последней промежуточной штанге муфтой 7. Базовый репер с промежуточными штангами и датчиком досылается досылником до упора в забой шпура. При этом датчик 2 должен находиться от устья шпура на расстоянии 0,2-0,3 м.

Кабель с разъемом 8 и прибором визуального электронного указателя (ВЭУ) 9 крепится в безопасном месте так, чтобы было хорошо видны показания ВЭУ.

Мощность вышележащих пород кровли, наиболее интенсивно влияющих на состояние выработки, составляет $1,5b$, где b – ширина по основанию выработки в метрах. Исходя из этого оптимальная длина шпура (скважины) составляет $1,5b$, а минимальная – должна на 0,3-0,4 м превышать первый ослабленный контакт. При этом на максимальной высоте могут находиться несколько ослабленных контактов, и контроль отслоений будет регистрироваться датчиком суммарно по всем контактам, которые находятся между базовым репером и преобразователем линейных перемещений КДМ-1.

Датчики настроены на интервалы срабатывания (включение светодиодов на приборе ВЭУ прибора КДМ-1 от 0 до 40 мм и от 40 до 45 мм. Это означает, что при отслоении пород в пределах до 40 мм на ВЭУ светится зеленый светодиод. При рассло-

нии от 40 до 45 мм – светятся зеленый и красный светодиоды, при расслоении 45 мм и более светится только красный светодиод, что указывает на аварийное состояние выработки. Для увеличения чувствительности срабатывания датчиков на его шток надевается муфта длиной 25 мм. Порог срабатывания светодиодов соответственно меняется. Зеленый светодиод будет светиться до значения расслоения 15 мм. При расслоении от 15 до 20 мм – светятся зеленый и красный светодиоды, при 20 мм и более светится только красный светодиод.

На основании проведенных исследований в проект отработки 30-й южной лавы внесены дополнения по прогнозу и профилактике предупреждения динамических явлений. Отработка лавы будет проводиться под целиком до пятой вентиляционной сбойки с применением бурового станка «Старт» для бурения разгрузочных скважин в сторону массива из 30^{бис}-го южного промежуточного штрека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аппаратно-программный комплекс «GeoInfoTransSystem» (GITS) в системах геодинамического и экологического мониторинга» / Д.В.Яковлев, Ю.С.Исаев, С.Н.Мулев, В.А.Яковлев, Д.Г.Лопатков, А.С.Максимов // Горная геофизика-98: Сб. науч. трудов / ВНИМИ. СПб, 1998. С.4-8.
2. Комплекс для регистрации электромагнитного излучения «Ангел»: Руководство по эксплуатации EG20K.000 РЭ / ВНИМИ. СПб, 2000. Ч.1. 17 с.
3. Руководство по предупреждению геодинамических явлений при разработке угольных пластов Баренцбургского месторождения / ВНИМИ. СПб, 2009. 56 с.

REFERENCES

1. *Yakovlev D.V., Isaev Yu.S., Mulev S.N., Yakovlev V.A., Lopatkov D.G., Maximov A.S.* Program complex «GeoInfoTransSystem» (GITS) in systems of geodynamic and ecological monitoring // Int.Conf «Mining Geophysics-98» / VNIMI. Saint Petersburg, 1998. P.4-8.
2. Complex Angel for recording of electromagnetic emission. Manual for operation EG20K.000 RE / VNIMI. Saint Petersburg, 2000. Part 1. 17 p.
3. Manual for prevention of geodynamic phenomena in mining the coal seams at the Barentsburg deposit / VNIMI. Saint Petersburg, 2009. 56 p.