

## Обеспечение геодинамической безопасности на угольных шахтах

М.С. Сидоров<sup>1</sup>, И.М. Лебедев<sup>1</sup>, С.Н. Мулев<sup>2</sup>, В.Г. Тюхрин<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> ООО «Распадская угольная компания», г. Новокузнецк, Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ Vadim.Tyukhrin@raspadsкая.ru

**Резюме:** При всём многообразии наиболее часто применяемые методы прогноза и предотвращения динамических явлений в угольных шахтах, основанные на исследованиях середины прошлого века, имеют узкий диапазон применения, локальное влияние, дискретны, сильно зависят от влияния человеческого фактора и часто имеют (дают) нестабильный эффект. В условиях усложнения горно-геологических условий, растущей мощности оборудования необходимы доработка, уточнение применяемых и создание новых методов контроля состояния массива и прогноза динамических явлений. При использовании существующих геофизических методов оценки состояния массива не опробованы комплексные подходы – это ближайшая перспектива для развития. Необходимы новые научные исследования промежуточных состояний угольного массива. Назрела необходимость концептуальных и фундаментальных изменений в этой сфере. Распадская угольная компания начала разработку комплексного подхода к процессу мониторинга состояния массива, прогноза и предотвращения динамических явлений.

**Ключевые слова:** угольные шахты, горные удары, прогноз удароопасности, геофизические методы, системы мониторинга

**Для цитирования:** Сидоров М.С., Лебедев И.М., Мулев С.Н., Тюхрин В.Г. Обеспечение геодинамической безопасности на угольных шахтах. *Горная промышленность*. 2024;(3S):37–43. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3S-37-43>

## Ensuring geodynamic safety in coal mines

M.S. Sidorov<sup>1</sup>, I.M. Lebedev<sup>1</sup>, S.N. Mulev<sup>2</sup>, V.G. Tyukhrin<sup>1</sup>✉

<sup>1</sup> Rapsadskaya Coal Company LLC, Novokuznetsk, Russian Federation

<sup>2</sup> VNIMI JSC, St. Petersburg, Russian Federation

✉ Vadim.Tyukhrin@raspadsкая.ru

**Abstract:** With all the diversity available, the most commonly used methods of predicting and preventing dynamic phenomena in coal mines, which are based on research done in the middle of the previous century, are characterized with a very limited range of application and a local impact; they are discrete, and highly dependent on the human factor and often do not have a stable effect. In the conditions of increasing complexity of mining and geological conditions, the growing capacity of mining equipment, it is necessary to improve, clarify the used and create new methods to control the state of the rock mass and make predictions of dynamic phenomena. When using the existing geophysical methods to assess the rock mass state, integrated approaches have not yet been tested: this is the nearest prospect for development. New research of intermediate states of the coal mass is necessary. There is a need for conceptual and fundamental changes in this area. The Rapsadskaya Coal Company has started to develop an integrated approach to monitoring the rock mass state, predicting and preventing dynamic phenomena.

**Keywords:** coal mines, rock bumps, prediction of rock bump hazards, geophysical methods, monitoring systems

**For citation:** Sidorov M.S., Lebedev I.M., Mulev S.N., Tyukhrin V.G. Ensuring geodynamic safety in coal mines. *Russian Mining Industry*. 2024;(3S):37–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-3S-37-43>

**Введение**

Добыча угля подземным способом, создавая выработанные пространства в недрах, неизбежно приводит к нарушению баланса сил, перераспределению потенциальной энергии, которые стремятся к восстановлению равновесия. Главная задача инженера в этом процессе – исключить неуправляемые динамические формы разрушения массива и содержащихся в нём горных выработок. Инструкцией по прогнозу динамических явлений в угольных шахтах<sup>1</sup> определён перечень явлений, возникновение которых возможно при отработке пластов угля, регламентированы методы их прогноза.

Наибольшее распространение имеют методы, связанные с измерениями при бурении прогнозных скважин. Они привычны, понятны, на первый взгляд, просты и не требуют сложных приборов, специальных знаний и навыков. Опыт их применения исчисляется десятками лет. Часто эти методы называют базовыми и доверяют их результатам больше, чем другим. Наряду с главными качествами базовые методы обладают и недостатками. Они трудозатратны, как правило, не совмещаются с основными производственными процессами, и главное – отражают состояние массива только в момент проведения прогноза. А процессы перераспределения сил и напряжений не останавливаются никогда. Кроме того, кажущаяся простота методов скрывает за собой особенности, которые в определённых ситуациях приводят к неправильной интерпретации результатов прогноза. Такой опыт применения методов описал в своей диссертации В.Н. Пузырёв [1].

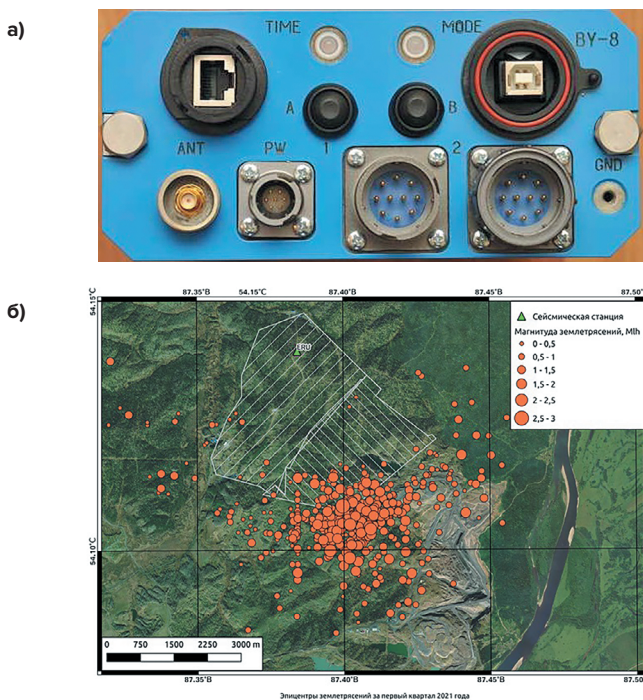
С увеличением глубины и интенсивности горных работ повышается энергия деформационных процессов вмещающего массива. Изменяются баланс действующих сил, физические процессы, формирующие опасность и предшествующие явлению. Обостряются проблемы увеличения масс, вовлечённых в процесс, скорости деформаций приближаются к динамической форме. Меры профилактики в зависимости от горно-геологических условий должны быть направлены на основную действующую силу, определение и оценка потенциала которой – основная задача процесса предотвращения динамических явлений. На фоне происходящих изменений условий ведения горных работ методы прогноза динамических явлений и их промежуточных форм остро нуждаются в доработке. В особенности это касается необходимости перехода от дискретных методов прогноза к непрерывным. Не меньшее значение имеет расширение диапазона оцениваемых параметров (индикаторов) состояния массива [2]. Эволюционный подход к развитию методов прогнозирования мониторинга динамической опасности и мер по её предотвращению должен основываться на анализе множества существующих методов, применённых одновременно к оценке состояния одного массива.

Системы, используемые для мониторинга состояния горного массива и прогноза динамических явлений

Распадская угольная компания (далее – РУК) 10 лет поэтапно осваивает геофизические методы мониторинга состояния горного массива и прогноза динамических явлений. Соседство шахт РУК с предприятиями, ведущими

ми добычу угля открытым способом, и необходимость изучения взаимного влияния стали толчком для первого шага на этом пути. В сотрудничестве с научными организациями налажены регистрация и анализ сейсмических явлений.

Регистрация и оценка колебаний от поверхностных сейсмических волн природного и техногенного происхождения ведутся сейсмопавильонами, оборудованными акселерометрами, велосиметрами и регистраторами типа Байкал (рис. 1), установленными на поверхности шахт Алардинская, Ерунаковская-VIII, Осинниковская, Распадская-Коксовая. Обработка и анализ зарегистрированной информации осуществляются Алтае-Саянским филиалом Единой геофизической службы СО РАН, Кемеровским филиалом АО «ВНИМИ» и ООО «ВНИИГЕО».



**Рис. 1**  
Внешний вид сейсморегистратора Байкал (а) и пример графического отображения результатов сейсмических наблюдений Алтае-Саянским филиалом Единой геофизической службы СО РАН (б)

**Fig. 1**  
External view of the Baikalsky seismic acquisition system (a) and an example of graphical representation of seismic observation results at the Altai-Sayan branch of the Unified Geophysical Service of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (b)

Сопоставление информации о местных и транзитных поверхностных сейсмических волнах с показаниями подземных систем мониторинга позволяет уточнять координаты гипоцентров, направления, магнитуды и энергии сейсмических событий, исследовать связь их происхождения и влияние на технологические процессы, на возникновение динамических явлений.

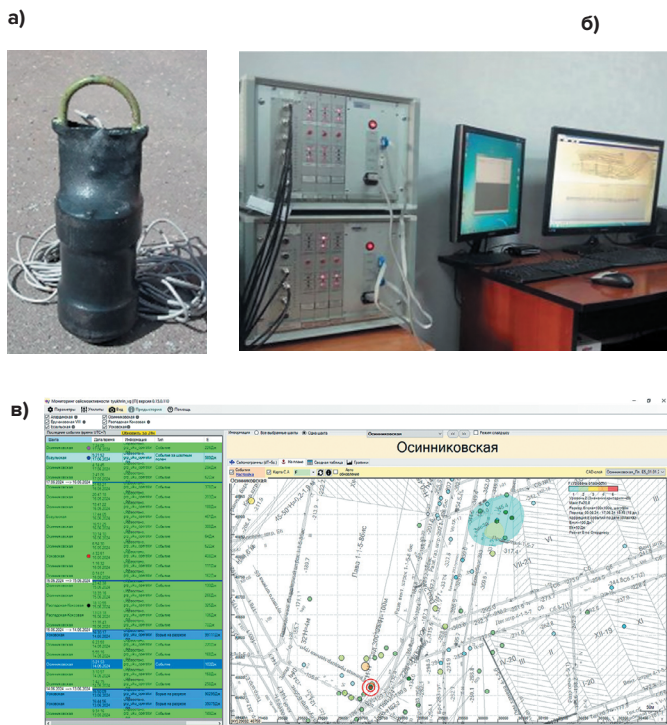
**Региональный мониторинг и прогноз горных ударов**

На шахтах Алардинская, Ерунаковская-VIII, Есаульская, Осинниковская, Распадская-Коксовая, Усковская эксплуатируется подземная геофизическая информационно-передающая система GITS (Geo Info Trans Sistem).

<sup>1</sup> Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», утверждённые Приказом Ростехнадзора от 10.12.2020 № 515; Руководство по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах», утверждённое Приказом Ростехнадзора от 07.12.2023 № 441.



Посредством пространственно-распределенной подземной сети сейсмических датчиков системой GITS осуществляется непрерывный контроль углепородного массива шахтного поля с выявлением участков и зон активизации естественных и техногенных геомеханических и сейсмических процессов в горном массиве (рис. 2). Результаты наблюдений используются для установления наличия (или отсутствия) связи сейсмических явлений с местоположением очистных и подготовительных забоев, с вызываемыми ими напряжениями в горном массиве. Осуществляется региональный прогноз удароопасности в соответствии с требованиями нормативных документов<sup>2</sup>.



**Рис. 2**  
Внешний вид вибропреобразователя ДРЦ-11 (а) и базовых блоков системы (б) GITS, пример графического отображения результатов сейсмоакустических наблюдений (в)

**Fig. 2**  
External view of the DRC-11 vibro-converter (a) and the basic blocks of the GITS system (б), an example of the graphical representation of seismic observation results (v)

Работа системы GITS используется для оценки негативного воздействия крупных сейсмических событий на состояние массива и горных выработок, для определения прогнозного положения зон повышенной геодинамической опасности, связанных с естественным неотектоническим и индуцируемыми процессами, происходящими в результате активного ведения горных работ. Карта зон интенсивности является исходным материалом количественной оценки ситуации в контролируемом районе. Обеспечение непрерывного контроля (мониторинга) за поведением зон повышенной интенсивности позволяет

<sup>2</sup> Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений», утверждённые Приказом Ростехнадзора от 10.12.2020 № 515; Руководство по безопасности «Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонах к динамическим явлениям угольных пластах», утверждённое Приказом Ростехнадзора от 07.12.2023 № 441.

прогнозировать и оценивать возможности динамических проявлений движения горных массивов.

По результатам регионального прогноза с применением систем GITS на шахтах Осинниковская, Есаульская, Распадская-Коксовая неоднократно успешно предпринимались заблаговременные меры по предотвращению удароопасности в очистных забоях. АО «ВНИМИ» разрабатывается алгоритм и программное обеспечение для применения GITS в качестве локальной системы прогноза динамических явлений.

**Прогноз состояния горного массива в призабойной зоне по параметрам искусственного акустического сигнала**

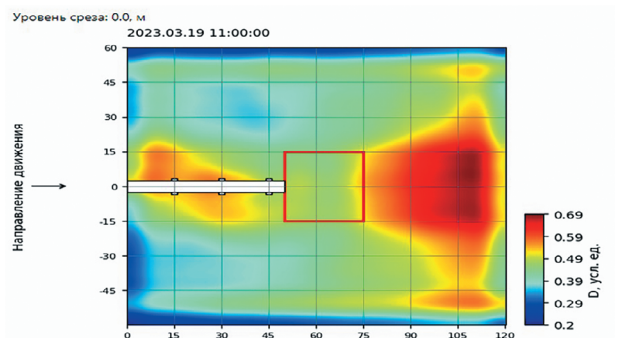
**Система локального и текущего контроля состояния горного массива Микон-ГЕО**

На шахте Распадская Микон-Гео применяется в режиме регионального и локального мониторинга. Нарбатываются критерии для применения в режиме прогноза динамических явлений.

Система Микон-ГЕО предназначена для обнаружения зон развития опасных гео-газо-динамических явлений



**в)** Изображение проекции куба по параметру D (уровень разуплотнения, усл.ед.)



**Рис. 3**  
Внешний вид сейсмоакустического датчика ИПСМ2 (а) и базовых блоков системы (б) Микон-Гео, пример графического отображения результатов сейсмоакустических наблюдений (в)

**Fig. 3**  
External view of the IPSM2 seismoacoustic sensor (a) and the basic blocks of the Mikon-Geo system (б), an example of the graphical representation of seismic observation results (в)

в процессах подземной разработки месторождений полезных ископаемых (рис. 3). Микон-ГЕО осуществляет сейсмоакустический контроль напряженно-деформированного состояния массива в пределах шахтного поля, контроль газодинамической активности выемочного и проходческого участков, локальный и текущий прогноз внезапных выбросов и горных ударов.

Программное обеспечение Микон-ГЕО ориентировано на визуализацию состояния массива для получения пользователем максимально возможного представления о распределении свойств в объёме. Позволяет интерпретировать степень удароопасности в привычной шкале по выходу буровой мелочи при бурении прогнозных скважин.

Ингортех ведёт доработку программного обеспечения, которое позволит оценивать опасность на основе анализа спектра регистрируемого «шума» работающего оборудования, в том числе по медиане спектра и по отношению высокочастотной и низкочастотной компонент «шума». Наличие двух методов контроля напряженного состояния повысит достоверность прогноза.

### Система акустического контроля состояния массива САКСМ

В очистных и подготовительных забоях шахт Алардинская, Ерунаковская-VIII, Осинниковская, Распадская-Коксовая, Усковская применяется система акустического контроля состояния массива САКСМ (рис. 4).

Шнек комбайна, разрушающего массив, генерирует искусственный акустический сигнал (ИАС). Система непрерывно в автоматическом режиме выполняет прием этого сигнала, прошедшего через окружающий горную выработку массив, его неоднородности, обладающие отражающими и преломляющими особенностями. Защищённое патентом программное обеспечение АКМП-РИВАС производит анализ амплитудно-частотных характеристик ИАС, отражающих состояние массива впереди забоя и в боках выработки. Сообщение с не-

обходимой информацией о входе забоя в потенциально опасную зону программа выдает на печать автоматически без участия оператора. Диспетчеру шахты остаётся только поставить в известность руководство для принятия мер по предотвращению опасности динамического явления.

САКСМ позволяет вести непрерывный мониторинг и прогноз горных ударов, выбросов угля и газа, внезапного выдавливания угольного пласта, динамического разрушения пород почвы с интенсивным газовыделением, обрушения пород кровли, контроль безопасности и оценки эффективности мер предотвращения динамических явлений, прогноз геологических нарушений впереди движущегося забоя.

Разрабатывается дополнительное программное обеспечение для объединения баз данных с другими системами, создания возможности сопоставления и анализа результатов мониторинга и прогноза динамических явлений.

### Мониторинг кровли в лавах

Механизированные комплексы очистных забоев шахт РУК оснащены системами контроля за пространственным положением и давлением в гидравлических приводах секций крепи (рис. 5).

Информация систем цифрового контроля используется для оценки нагрузочных свойств и особенностей поведения активных кровель для их учёта при осуществлении комплексного прогнозирования и профилактики опасных проявлений опорного давления и его участия в создании напряженных геомеханических зон в районе лавы.

В программное обеспечение входит Интеллектуальный подсказчик по прогнозу посадки кровли. Разрабатывается дополнительное программное обеспечение, позволяющее сопоставлять информацию о давлении на стойки крепи с данными системы аэрогазового контроля для поиска взаимосвязи и закономерностей изменений метановыделения и нагрузок на крепь. В сопоставлении

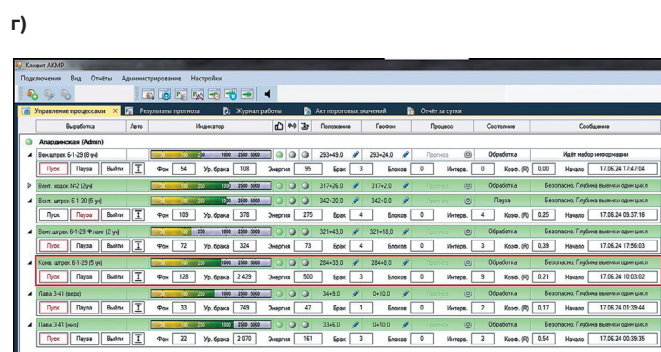
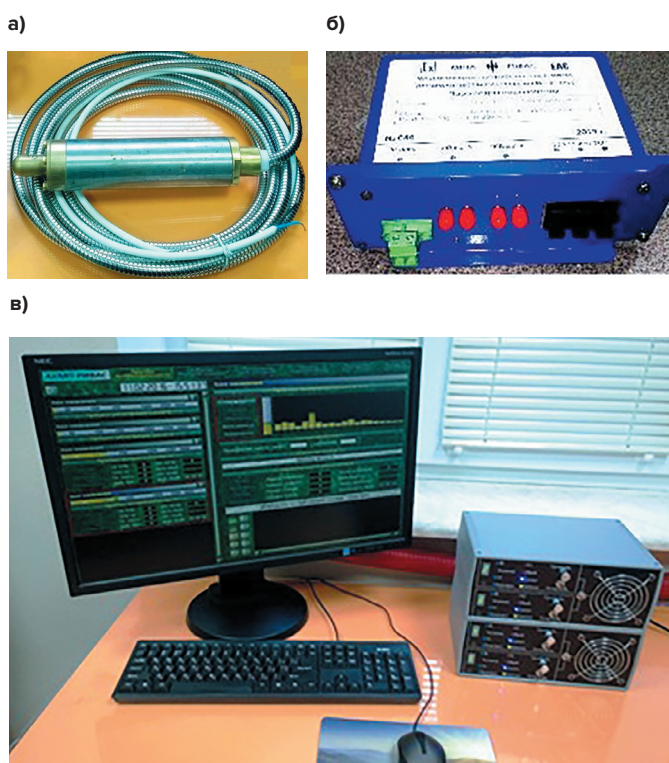


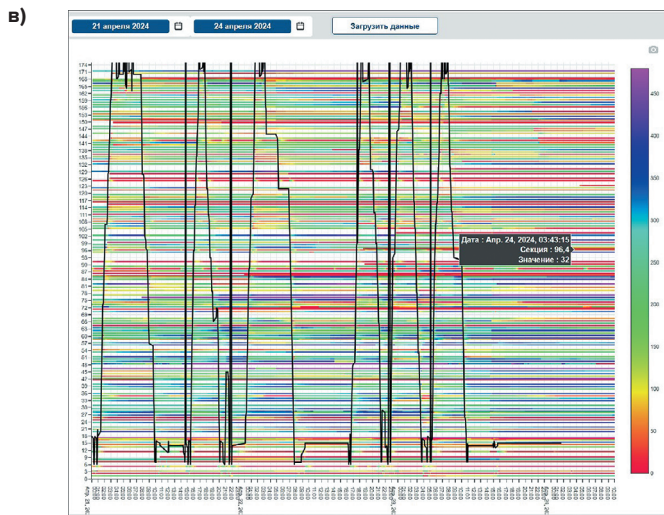
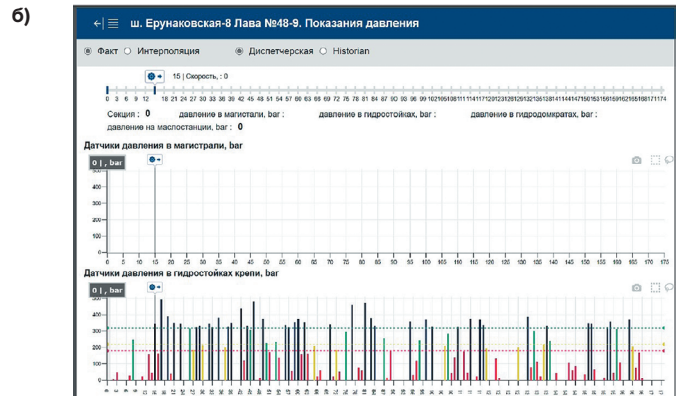
Рис. 4 Внешний вид геофона ГИЦ (а) медиаконвертера (б) и базовых блоков (в) системы САКСМ. Пример графического отображения результатов сейсмоакустических наблюдений (г)

Fig. 4 External view of the GITS geophone (a), media converter (б) and base units (в) of the SAKSM system. Example of graphical representation of seismoacoustic observation results (г)



а)

Расположение	Показатель	Статус
Секция 1-25	Давление 340	↑
Секция 26-50	Давление 250	↓
Секция 51-75	Давление 420	-
Секция 76-100	Давление 350	↑
Секция 101-125	Давление 270	↑
Секция 126-150	Давление 180	-
Секция 151-175	Давление 190	↓
Сейсмоактивность	15	↑
Отход лавы за сутки (НИТ)	10 40 60м	



**Рис. 5**  
Пример графического отображения результатов наблюдений за давлением в стойках секций механизированного комплекса

**Fig. 5**  
An example of graphical representation of the pressure observation results in the powered roof support posts

с показаниями других систем мониторинга в дальнейшем предполагается использование геофизической службой РУК для комплексной оценки состояния горного массива.

**Периодический (локальный и текущий) прогноз динамических явлений**

Наряду с методами, связанными с бурением прогнозных скважин, на всех шахтах РУК применяются портативные геофизические приборы для прогноза динамических явлений.

Комплекс ANGEL-M выполняет прием и анализ сигналов от источников электромагнитных колебаний, вызван-

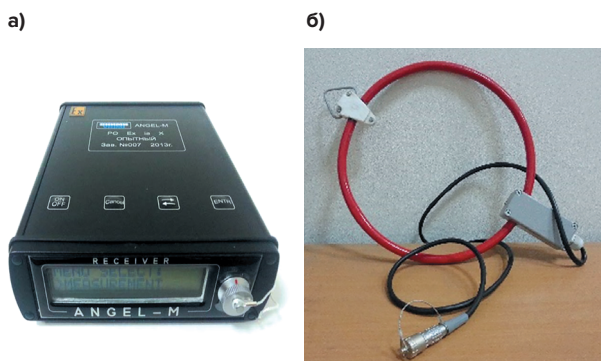
ных разрушением пород в массиве, накопление информации об излучении, а также запись результатов оценки в память для вывода на компьютер и документирования. Используется для прогноза удароопасности методом измерения и регистрации естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ) (Рис. 6).

Сейсмоакустические датчики KD35 позволяют использовать ANGEL-M для прогноза выбросоопасности и оценки эффективности разгрузочных мероприятий.

Применение ANGEL-M в разы сокращает время выполнения прогноза удароопасности и количество задействованных в процедуре работников. Метод ЕЭМИ не требует дополнительного оборудования, инструментов, источников энергии и прост в реализации. Это даёт возможность в разы увеличить количество измерений, а значит – увеличить представительность базы данных, минимизировать ошибочные данные и влияние человеческого фактора.

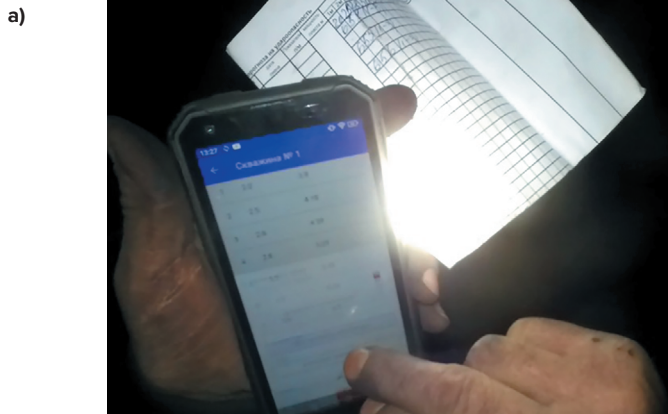
**Интегрированная система автоматизации и контроля за проведением прогноза**

Группы прогноза динамических явлений оснащены смартфонами в подземном исполнении и головными светильниками со встроенным видеорегистратором (рис. 7).



**Рис. 6**  
Внешний вид ресивера комплекса ANGEL-M (а), передающей (б) и приёмной (в) антенн и акустического датчика (г) KD35

**Fig. 6**  
External view of the ANGEL-M receiver (a), transmitting (б) and receiving (в) aerials and the KD35 acoustic sensor (г)



**Рис. 7**  
Интегрированная система автоматизации и контроля за проведением прогноза: внешний вид ПО на смартфоне при заполнении результатов измерений (а); дашборд диспетчера при прогнозе в лаве (б); главный вид ПО Электронный наряд на прогноз ДЯ (в)

**Fig. 7**  
Integrated automation and control system for prediction: external view of the software on a smartphone when filling in the measurement results (а); dispatcher's dashboard when forecasting in the longwall (б); main view of the dynamic events in the Elektronniy Naryad Software Suite (в)



**в)**

Шахта	Участок/Забой	Параметр	Дата	Значение	Состояние
Суджанская	48-9	Россова Сергей Сергеевич	04.08.2024	20024	Новая
Суджанская	48-9	Россова Сергей Сергеевич	08.08.2024	18885	Новая
Суджанская	РДБ-4 1-6-9 Числовой	Иванова Евгений Сергеевич	17.08.2024	30010	В работе
Распадская	Вентиляционный штрек 4-4-3 (пр. ПЗ) на запад	Третьяков Александр Юрьевич	17.08.2024	30008	В работе
Распадская	Фланговый вентиляционный штрек 3-4-3	Третьяков Александр Юрьевич	17.08.2024	29981	В работе
Суджанская	1-3-Сабель	Александр Александр Николаевич	17.08.2024	10317	Выполнена ИСР/РАД
Суджанская	48-14	Илья Андрей Андреевич	17.08.2024	10010	Выполнена ИСР/РАД
Суджанская	48-9	Колесников Сергей Александрович	17.08.2024	30010	Выполнена ИСР/РАД
Суджанская	48-11-2	Трунов Андрей Тимурович	17.08.2024	30008	Выполнена ИСР/РАД
Распадская	Промышленный дорожный штрек 3-4-2 (зап.)	Сидорова Дарьяна Олеговна	17.08.2024	30005	Выполнена ИСР/РАД

Разработано программное обеспечение, выполняющее целый комплекс процедур процесса периодического прогноза:

- оформление наряд-путёвки, отчёта и журналов результатов прогноза;
- синхронизация с электронным нарядом производственного участка и общешахтовой книгой нарядов;
- определение категории опасности по горным ударам и внезапным выбросам при прогнозе инструментальными методами по результатам измерений прочности угля, выхода буровой мелочи, скорости истечения газа и ЕЭМИ;
- передача и хранение результатов прогноза в базе данных;
- оперативное оповещение об установленной категории;
- контроль проведения прогноза по соответствию хронометражу, локации в системе позиционирования и IP адресу Wi-Fi, совмещению с работой комбайна, видеофиксации;
- статистический анализ данных о прогнозах и вывод информации для анализа;
- визуализация периодичности и совмещения прогноза с работой комбайна (дашборд диспетчера шахты и компании);
- контроль обслуживания и проверки используемой аппаратуры.

Разрабатываются приложения:

- видеоаналитика (распознавание приборов и действий);
- блокировка (корректировка) производственных заданий по периодичности и результатам прогноза;
- ведение планшета прогнозов в забое.

Применение системы повысило исполнительскую дисциплину при инструментальном прогнозе динамических явлений, снизило влияние человеческого фактора на ре-

зультаты прогноза, упростило документирование и сделало доступной и удобной для анализа информацию о процессе.

В дальнейшем предполагается доработка программного обеспечения для обмена и сопоставления информации о результатах инструментального прогноза с показаниями систем САКСМ, использования формируемой базы данных для комплексной оценки состояния горного массива геофизической службой РУК.

### Геофизическая служба

В целях создания, поддержания и использования единого информационного пространства, развития и совершенствования существующих и разработки новых методов оценки состояния массива в РУК в 2023 г. создана геофизическая служба.

Информация со всех геофизических систем всех шахт собирается в центральной диспетчерской РУК. Операторы-геофизики ведут круглосуточную обработку показаний систем GITS, наблюдение за показаниями систем САКСМ, оповещение руководителей и специалистов шахт о критических событиях и работоспособности оборудования. Под научным сопровождением разработчиков осваивают принципы работы и настройки программного обеспечения и аппаратуры мониторинга состояния горного массива.

Руководство геофизической службы осуществляет развитие подразделения в соответствии с принятой стратегией. Разрабатываются алгоритмы и программное обеспечение для интеграции всех геофизических систем с системами контроля нагрузок на механизированную крепь, газового контроля, инструментального прогноза динамических явлений. Поддерживается сотрудничество с научными организациями.

В ближайшей перспективе предполагается освоить сопоставление изменений метановыделения, нагрузок на ме-



ханизированную крепь и результатов инструментального прогноза с показаниями сейсмических и акустических систем различных принципов и методов для улучшения и достижения точности и интерпретации их показаний, достаточной для кардинального перехода от инструментальных методов прогноза динамических явлений к геофизическим.

### Заключение

Путь, выбранный РУК для обеспечения геодинамической безопасности подземной добычи угля, основан на десятилетнем опыте внедрения на шахтах компании геофизических методов мониторинга состояния горного массива и прогноза динамических явлений. Этот опыт показывает необходимость применения максимально возможного числа методов объединения всей информации в единую

базу для сопоставления и поиска взаимосвязей и закономерностей.

Ни один из методов не даёт достаточно достоверной картины, необходимой для оценки потенциала напряжённо-деформированного состояния горного массива и прогноза его реализации. Комплексный же подход с интеграцией как минимум создаёт представительный массив для изучения, возможность сопоставления для подтверждения тенденций и закономерностей. Такой подход, несомненно, откроет новые возможности для каждого из методов, сделает их точнее и даст импульс не только их дальнейшему развитию, но и геофизике в целом. Откроются новые горизонты для развития фундаментальной и прикладной составляющих процесса обеспечения геодинамической безопасности угольных шахт.

### Список литературы / References

1. Пузырёв В.Н. *Научные основы и метод текущего прогноза газодинамических явлений в подготовительных выработках угольных шахт: дис. ... д-ра техн. наук.* Кемерово; 1981. 413 с.
2. Шадрин А.В., Потапов П.В. Идеология обоснования высокодостоверных подсистем текущего прогноза динамических явлений, происходящих в угольных шахтах. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности.* 2023;(1):16–25.  
Shadrin A.V., Potapov P.V. The occurring in coal mine dynamic phenomena current forecast highly reliable subsystems' justification ideology. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety).* 2023;(1):16–25. (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Сидоров Максим Сергеевич** – первый заместитель генерального директора – технический директор, ООО «Распадская угольная компания», г. Новокузнецк, Российская Федерация

**Лебедев Игорь Михайлович** – заместитель технического директора, ООО «Распадская угольная компания», г. Новокузнецк, Российская Федерация

**Мулев Сергей Николаевич** – член-корреспондент Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, директор по науке, АО «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Тюхрин Вадим Геннадьевич** – начальник управления по профилактике газодинамических явлений и противоаварийной готовности, ООО «Распадская угольная компания», г. Новокузнецк, Российская Федерация; e-mail: Vadim.Tyukhrin@raspadskaya.ru

#### Information about the authors

**Maksim S. Sidorov** – First Deputy General Director, Technical Director, Rspadskaya Coal Company LLC, Novokuznetsk, Russian Federation

**Igor M. Lebedev** – Deputy Technical Director, Rspadskaya Coal Company LLC, Novokuznetsk, Russian Federation

**Sergey N. Mulev** – Corresponding Member of the International Academy of Ecology and Life Protection Sciences, R&D Director, VNIMI JSC, St. Petersburg, Russian Federation

**Vadim G. Tyukhrin** – Head of the Gas Dynamics Prevention and Emergency Preparedness Department, Rspadskaya Coal Company LLC, Novokuznetsk, Russian Federation; e-mail: Vadim.Tyukhrin@raspadskaya.ru

#### Article info

Received: 17.05.2024

Revised: 18.06.2024

Accepted: 29.06.2024

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 17.05.2024

Поступила после рецензирования: 18.06.2024

Принята к публикации: 29.06.2024