

Д-р техн. наук С. И. Скипочка,  
канд. техн. наук В. Н. Сергиенко  
(ИГТМ НАН Украины)  
инж. В. Б. Усаченко  
(НПП Технополис «Экоиндустрия»)

## ОБ АППАРАТУРНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ДИАГНОСТИКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА УЧАСТКАХ С ОПАСНОСТЬЮ ОБРУШЕНИЯ

Показано актуальність прогнозу обвалень земної поверхні над відпрацьованим підземним простором. Описано конструкцію експериментального зразка апаратури «Опір-3». Апаратура призначена для низькочастотної електророзвідки ґрунтової товщі методом опору на глибині до 100 м.

## ABOUT APPARATUS PROVIDING OF DIAGNOSTICS OF SURFACE ON AREAS WITH DANGER OF COLLAPSE

Actuality of prognosis of collapse of surface above used underground space is shown. The construction of experimental type of apparatus "Опір-3" is described. Apparatus is intended for low-frequency electrometric of the ground layer by the method of resistance on a depth to 100 m.

Деформации земной поверхности над выработанным пространством – неотъемлемая особенность подземной добычи полезных ископаемых. Масштабы потенциальной опасности от присутствия в зоне хозяйственной деятельности человека искусственных подземных полостей определяются их размерами и глубиной заложения. Особо опасны камерные системы разработки без закладки. С их использованием в Украине отрабатывают месторождения каменной и калийной солей, железной и урановой руд. При этом высота камер может достигать 50 м, а в отдельных случаях и больше. Потеря устойчивости камер приводит к катастрофическим последствиям, как под землей, так и на земной поверхности. Сведения о некоторых крупных авариях на горнодобывающих предприятиях Украины, повлекших обрушение земной поверхности, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Крупнейшие аварии на шахтах и рудниках Украины с обрушением земной поверхности

Предприятие	Год	Последствия аварии
ОАО «Ориана» (добыча калийных руд)	1987	Провал в жилом районе г. Калуша, разрушивший 63 дома.
Солотвинский соляной рудник	2005	Провал на земной поверхности диаметром 35 и глубиной 30 м.
Железорудная шахта им. Орджоникидзе	2010	Обрушение земной поверхности на площади 16 га. Погиб один человек. Разрушены инженерные коммуникации.
ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог»	2011	Провал на земной поверхности размером 50 x 70 м. Техногенное землетрясение силой 3,9 балла в черте территории г. Кривой Рог.

В меньших масштабах подобные явления наблюдаются также при отработке мощных залежей сырья для строительной промышленности (пильные известня-

ки, гипс) с использованием камерно-столбовой системы [1], а также при закрытии старых угольных шахт Донбасса [2].

В работах [3, 4] рассматривается процесс сдвижения слабых пород над выработанным пространством. Несмотря на различие размеров подземных пустот и конкретных горно-геологических особенностей месторождения, общими являются следующие закономерности:

- постепенное распространение зоны деформаций от выработанного пространства к земной поверхности;
- двухэтапность процесса, заключающаяся в постепенном необратимом накоплении структурных изменений в покрывающей толще с последующим скачкообразным обрушением земной поверхности;
- значительное превышение размеров зоны вероятного образования провалов на земной поверхности над размерами в плане опасной по обрушению камеры.

В данной публикации не рассматривается вопрос о плавном оседании земной поверхности над выработанным пространством в пределах мульды сдвижения, поскольку данному процессу присущи другие закономерности. Различие двух указанных явлений иллюстрируется рис. 1.



а)



б)

а) – плавное опускание; б) – образование провала

Рис. 1 – Различные формы деформации земной поверхности над выработанным пространством

Известные методы прогноза обрушений над выработанным пространством базируются преимущественно на комплексном анализе горно-геологической информации в пределах эксплуатируемого участка месторождения [5, 6]. Информативность данного прогноза существенно снижается в зонах геологической нарушенности по следующим причинам:

- модель строения продуктивного пласта и покрывающей толщи, полученная на основе данных разведочного бурения, недостаточно детальна;
- отдельные характеристики горно-геологической обстановки имеют качественный характер и допускают их субъективное толкование экспертами;
- прогноз не позволяет оценить динамику развития процесса подготовки обрушения поверхности.

Нами принята модель формирования зоны обрушения с выходом на земную поверхность, включающая этапы:

- серии последовательных обрушений кровли камер;
- формирования блочной структуры в вышележащих породах;
- фильтрации воды из вышележащих водоносных горизонтов через нарушенную защитную пачку в горные выработки;
- интенсификации водопритоков в выработки, сопровождающиеся процессами суффозии и образованием депрессионной воронки;
- изменения физико-механических свойств наносных пород на границе с нарушенной защитной пачкой;
- увеличения зоны изменений свойств наносов в объеме и ее распространения в направлении земной поверхности;
- предварительной деформации земной поверхности (в отдельных случаях может отсутствовать);
- потери устойчивости геомеханической системы в целом и скачкообразного образования провала.

Полный цикл формирования провального обрушения над выработанным пространством может составлять годы и даже десятилетия. Представляет практический интерес выявление изменений в наносных породах как стадии, предшествующей обрушению, но еще не вызвавшей видимых деформаций земной поверхности. Подобного рода задачи эффективно решаются методами электро-разведки, из которых наиболее подходит, по нашему мнению, метод электросопротивлений в вариантах профилирования и вертикального электрического зондирования. Необходимую глубину контроля определяет мощность наносов, которая, как правило, составляет от 40 до 100 м. Что касается сетки наблюдений и критериев оценки опасности, то, например, в результате экспериментальных исследований, выполненных на земной поверхности над выработками Артемовской гипсовой шахты, установлено следующее:

- критерием отнесения участка к потенциально опасному по обрушению является увеличение кажущегося электрического сопротивления наносной толщи;
- рациональная сетка расположения точек контроля составляет от 20x20 до 30x30 м.

Выполнение широкомасштабных измерений выдвигает определенные требования к используемой электроразведочной аппаратуре. С учетом того, что измерения зачастую выполняют в условиях пересеченной местности и инженерных коммуникаций аппаратура, без сомнения, должна быть портативной и обеспечивать работоспособность при разnose питающей линии до 200 м. Данным требованиям наиболее удовлетворяют приборы ERA-MAX и "ERA-MULTIMAX, производимые в России ООО "НПП ЭРА" (г. Санкт-Петербург) на базе ранее выпускавшейся аппаратуры «Эра» (1989 г.). Однако высокая стоимость указанных приборов (более полумиллиона российских рублей), в силу ограниченных финансовых возможностей научно-исследовательских организаций Украины, не позволяет использовать их для решения указанных горно-геологических задач. Что касается отечественной промышленности, то данный сектор приборостроения она не осваивает.

В качестве альтернативы имеющимся зарубежным образцам современной электроразведочной аппаратуры, а также морально устаревшим средствам типа ИКС и АЭ-72, авторами настоящей публикации разработан экспериментальный образец специализированной электроразведочной аппаратуры «Опір-3», предназначенной для исследования наносов мощностью до 100 м.

Классический подход к выполнению переносной полевой электроразведочной аппаратуры предполагает ее конструктивное разделение на два блока: генератор стабильного тока и приемник, представляющий собой вольтметр для измерения малых напряжений с выхода приемной линии. Иногда в виде отдельного блока выполняют также и источник питания для генератора. Таким исполнением характеризуется, например, упомянутая выше аппаратура «Эра». Однако блочная компоновка аппаратуры существенно снижает оперативность выполнения работ в полевых условиях. Поэтому в аппаратуре «Опір-3», с учетом положительного опыта эксплуатации более ранней разработки – ШИИС-3М1, выполненной в ИГТМ [7], принята концепция конструктивного и схемного объединения всех узлов аппаратуры в одном корпусе.

Опыт авторов по выполнению малоглубинного (до 30 м) исследования наносной толщи с использованием аппаратуры постоянного тока АЭ-72 показал ее невысокую помехоустойчивость в условиях мощных помех техногенного характера. Поэтому было предложено использование низкочастотного генератора тока, а также целого комплекса известных ранее технических решений:

- повышение стабилизированного тока в питающей линии до 20 мА, в отличие от обычного (10 мА) в аппаратуре такого класса;
- применение синхронного детектора;
- использование частоты 19,5 Гц, гармоника которой не кратна промышленной частоте;
- выбор АЦП с невысокой скоростью преобразования аналогового сигнала в цифровой код для сглаживания коротких выбросов напряжения на выходе синхронного детектора;
- схемное выполнение приемника входного сигнала с использованием современных операционных усилителей с низким уровнем собственных шумов и высокой стабильностью параметров во времени, а также при изменении температуры окружающей среды.

Техническое противоречие между необходимостью повышенной мощности генератора тока и уменьшением массогабаритных показателей аккумуляторной батареи устранено в данной разработке путем использования кратковременного режима работы с автоматическим отключением в конце цикла, составляющего 4 с. Запуск цикла осуществляют путем нажатия оператором кнопки «Пуск», после чего в автоматическом режиме выполняются следующие процессы:

- тестирование источника питания на наличие минимально необходимого напряжения;
- тестирование питающей линии на величину сопротивления нагрузки;
- измерения кажущегося электрического сопротивления на участке земной толщи между электродами приемной с индикацией результата в цифровой форме;

- сброс показаний, отключение большинства энергопотребляющих блоков, переход аппаратуры в «спящий» режим.

В аппаратуре имеется возможность подключения внешнего источника постоянного тока с напряжением 12-15 В. В качестве такого источника при необходимости может быть использован автомобильный аккумулятор.

При повышенном сопротивлении в цепи питающей линии, не позволяющей достичь стабилизации тока, включается звуковая и световая сигнализация и блокируется индикация результатов. Блокировка индикации происходит также в случае пониженного напряжения питания даже при принудительной подаче напряжения на схему при постоянно нажатой кнопке «Пуск». Указанные особенности данной разработки не позволяют недобросовестному оператору выполнять измерения в случае нештатного режима работы аппаратуры.

Аппаратура комплектуется набором линий для выполнения продольного профилирования по симметричной четырехэлектродной схеме. В штатный набор входят три сфазированных линии с разносом для подключения питающих электродов 12, 24 и 48 м. База для подключения приемных электродов принята в три раза меньше питающей. Линии с другими параметрами изготавливаются индивидуально для решения конкретной задачи. Все четыре провода подключают к прибору с помощью одного разъема, что ускоряет смену линий. Вторые концы проводов линии снабжены пружинящими зажимами для быстрого подсоединения и отсоединения электродов.

Поскольку часто возникают сомнения в исправности аппаратуры, для проверки аппаратуры непосредственно в полевых условиях предназначено, входящее в комплект аппаратуры, тестовое устройство. Оно позволяет установить как исправность собственно прибора, так и целостность проводников линии.

Основные технические характеристики аппаратуры «Опір-3»:

- диапазоны измеряемых сопротивлений, Ом	– 0-4 и 0-40;
- приведенная погрешность измерения сопротивлений, %	– 2,0;
- рабочая частота, Гц	– 19,5;
- ток в питающей линии, мА	– 20;
- длительность рабочего цикла, с	– 4;
- номинальное напряжение питания, В	– 12;
- потребляемый ток, А	– 0,35;
- максимальная мощность генератора, Вт	– 1,8;
- масса электронного блока, кг	– 4,3;
- габариты электронного блока, мм	– 300x260x130.

Внешний вид аппаратуры «Опір-3» с подключенной линией и тестовым устройством представлен на рис. 2.

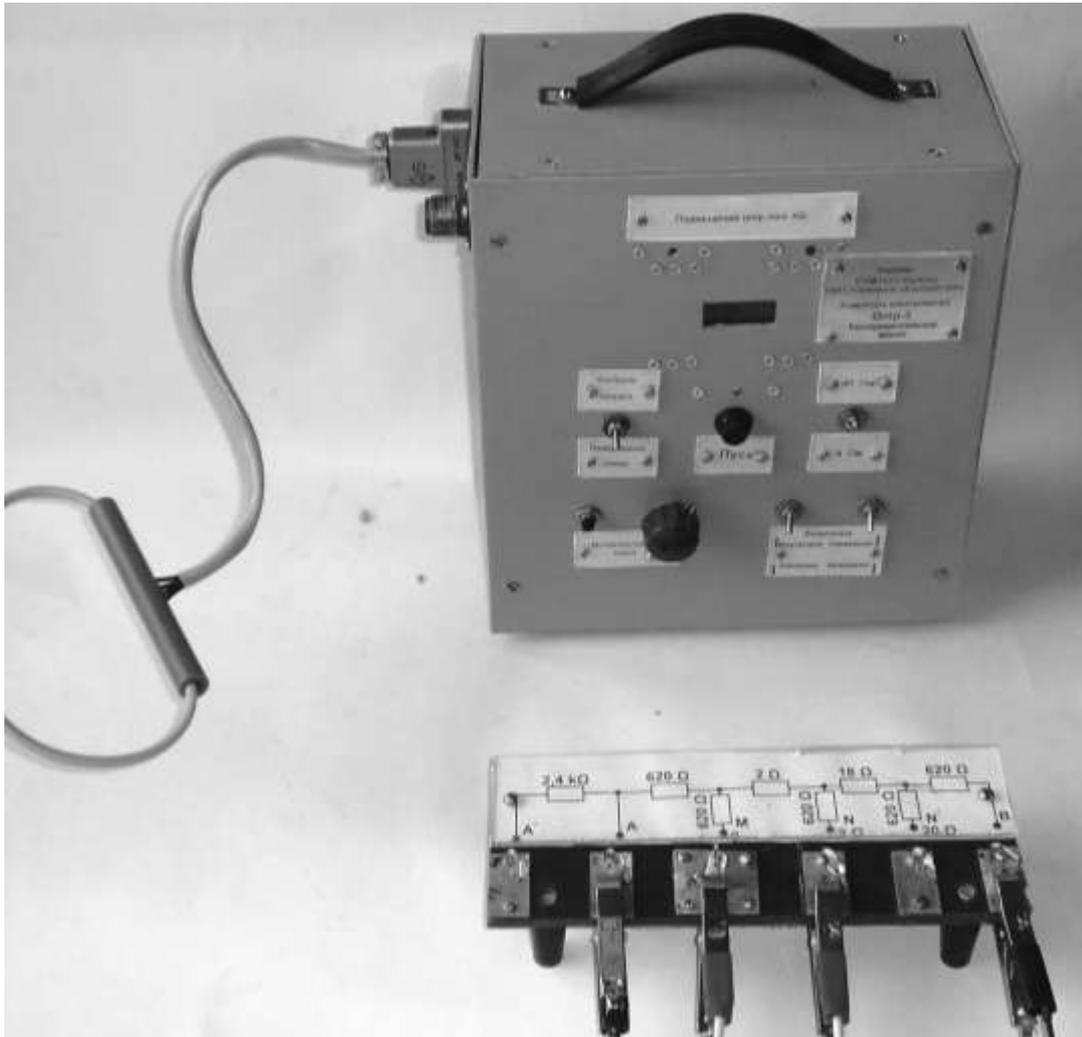


Рис. 2 - Внешний вид аппаратуры «Опір-3»

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амелин В. А. Технологические решения по предотвращению поступления в подземные выработки Артемовской гипсовой шахты обрушающейся геомассы из провальных воронок на поверхности горного отвода / В. А. Амелин // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск: Полиграфист. – 2000, № 23. – С. 184-189.
2. Звягильский Е. Л. Предотвращение провалов земной поверхности над заброшенными шахтами / Е. Л. Звягильский // Уголь Украины. – 1999. – № 5. – С. 23-25.
3. Петухов И. М. Геодинамика недр / И. М. Петухов, И. М. Вагутина. – М.: Недра, 1996. – 217 с.
4. Техногенные последствия закрытия угольных шахт Украины / Ю. Н. Гавриленко, В. Н. Ермаков, Ю. Ф. Кренида [и др.]. – Донецк: Норд-Пресс, 2004. – 631 с.
5. Дрибан В. А. Разработка системы прогноза обрушений земной поверхности над погашенными горными выработками / В. А. Дрибан, А. Н. Феофанов, В. В. Назимко // Проблеми гірського тиску: Зб. наук. праць ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ. – 2009, № 17. – С. 18-23.
6. Пат. 2153071 Российской Федерации, МКИ E21C41/00, E21C39/00. Способ определения зон на земной поверхности, потенциально опасных по обрушению при подземной разработке рудных месторождений / Сапов М. Ж. (Казахстан); заявитель и патентообладатель АО Корпорация "Казахмыс". - № 99109642/03; заявл. 07.05.1999; опубл. 20.07.2000; приоритет 20.07.2000.
7. Методическое пособие по комплексной геофизической диагностике породного массива и подземных геотехнических систем / А. Ф. Булат, Б. М. Усаченко, А. А. Яланский [и др.]. – Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2004. – 75 с.

Д-р техн. наук Н.Н. Касьян,  
асп. Н.Н. Малышева,  
канд. техн. наук И.Г. Сахно  
(ДонНТУ)

## **ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ С РАСПОРНЫМ ЭЛЕМЕНТОМ**

У статті представлені результати лабораторних досліджень нових способів охорони виробок, які підтримуються після проходження очисного вибою, що зводяться з елементом, котрий сприяє саморозпору цих конструкцій після моменту їхньої установки. Отримані результати показали працездатність цих способів у межах тиску, який витримують способи охорони на сучасних глибинах, досягнутих вугільними підприємствами Донбасу.

## **LABORATORY RESEARCHES OF BEARING STRENGTH OF THE GUARD BUILDINGS WITH SPACER**

The results of laboratory researches of new methods of guard of making, supported after the passage-way of cleansing longwall are presented in the article, which are erected with an element, which enable active setting load themselves after the moment of setting of these constructions. The got results appeared the capacity of these methods within the limits of pressures, which test the methods of guard on modern depths, attained the coal enterprises of Donbass.

Анализ существующего положения в угольной отрасли Украины показывает, что в последние годы вновь намечена тенденция увеличения долевого участия систем разработки с проведением выработок вслед за лавой. В основном это классическая сплошная система разработки лава-ярус, а также различные комбинированные системы разработки. Одной из важнейших производственных задач при применении таких систем разработки является поддержание участков выработок, оформляемых после прохода очистного забоя. Эксплуатационное состояние подготовительных выработок, проводимых вслед за лавой, обуславливается в основном эффективностью работы околотрекового охранного сооружения (полосы). Традиционно применяемые способы охраны выработок проводимых за лавой – бутовые полосы, полосы из костров, бутокоств, БЖБТ и других искусственных материалов. Несмотря на различие в технологии сооружения, и разную жесткость охранных полос, все они вступают в работу не сразу после возведения, а после исчерпания зазоров и определенного сжатия (усадки) полосы, которое реализуется за счет сближения кровли и почвы. При этом несущая способность полос возрастает со временем, и достигает рабочего режима работы на значительном расстоянии от лавы.

Отсутствие существенного сопротивления смещениям пород кровли в направлении извлеченного лавой пласта приводит к их прогибу, расслоению, вызывает рост зоны разрушения вглубь массива, что обуславливает асимметричное нагружение крепи выработки и значительную потерю ее высоты. Это приводит к необходимости проведения дополнительных мероприятий, направленных на обеспечение эксплуатационного состояния выработок.

Таким образом, разработка новых и модернизация существующих способов охраны и поддержания горных выработок после прохода очистного забоя, позволяющих минимизировать или ликвидировать указанные недостатки, является