

УДК 622.831 +550.3

doi: <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2020-1-106-117>

Н.А. Рязанцев

А.К. Носач

А.Н. Рязанцев

## ПЕРВИЧНОЕ ОБРУШЕНИЕ ПОРОД КРОВЛИ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ КАК РЕЗОНАНСНОЕ ЯВЛЕНИЕ

**Цель.** Поиск методики прогноза первичного и вторичного шагов обрушения кровли на основе идеи о возникновении вихре – волнового резонанса перед процессом разрушения.

**Методы исследования.** Анализ современных представлений о видах и характере протекания вихре-волновых резонансов, лабораторные исследования резонансных явлений при деформировании и разрушении горных пород в объемном поле сжимающих напряжений (с помощью установки неравнокомпонентного трехосного сжатия ИФГП НАН Украины), анализ натурных наблюдений за резонансными явлениями на Земле, в горном массиве.

**Результаты исследования.** Ранее проведенные исследования показали, что любое разрушение горных пород при внешнем воздействии является следствием резонанса. Условием возникновения резонанса с точки зрения физики является кратность частот колебаний, скоростей и характерных размеров взаимодействующих объектов-резонаторов в общем гравитационном или ином поле. В работе показано, что на Земле действует пульсационно-спиновой резонанс, при котором период (частота) вращения Земли и всех ее структурных элементов вокруг собственной оси на девятой гармонике совпадает с периодом (частотой) пульсации. Резонанс на пульсационной составляющей происходит на всех гармониках и является полуволновым, резонанс на вихревой составляющей (антирезонанс) происходит только на нечетных гармониках и является волновым. При ведении горных работ по добыче полезных ископаемых обрушение пород кровли возможно с участием обоих видов резонанса. Первичный шаг обрушения компетентного породного слоя при ведении очистных работ равен длине волны собственных (поперечных) колебаний и составляет девять его мощностей. Вторичный шаг равен длине волны на девятой гармонике. В слабых породных слоях резонанс возможен на волне пульсации и шаг обрушения кратен полудлине волны.

**Научная новизна.** Первичное и вторичное обрушения кровли в очистных выработках шахт являются резонансными явлениями. Шаг первичной и вторичной посадки является результатом пульсационно-спинового резонанса или резонанса чисто пульсационного и определяется в основном мощностью породных слоев и кратностью ее длине (полудлине) волны и резкостью контакта между слоями.

**Практическая значимость.** Даны рекомендации по определению шага первичной и вторичной посадки кровли в зависимости от мощности слоев кровли и резкости контакта между ними для конкретных горно-геологических условий отработки угольных пластов.

**Ключевые слова:** пульсация, вихре-волновой резонанс, собственные колебания, гармоника, породный слой, очистной забой.

### Введение.

Согласно требованиям правил безопасности, к паспорту крепления и управления кровлей в очистном забое угольных шахт прилагается акт о первичном обрушении основной кровли. Вместе с тем, официальной общепризнанной методики определения шага первичного обрушения кровли не существует. Визуальное определение первичного шага обрушения при использовании современных механизированных комплексов, когда доступ в выработанное пространство отсутствует, особенно на больших глубинах, практически не возможно. Поэтому исследования в этом направлении были и остаются очень актуальными.

### Анализ последних исследований и публикаций.

Согласно существующим представлениям, по мере отхода лавы от монтажного ходка в породном массиве образуется выработка прямоугольного очертания. На начальном этапе кровля этой выработки удерживается за счет средневзвешенной прочности слагающих ее пород. Разрушающими являются массовые силы, которые возрастают по мере увеличения площади образующейся полости. Прогнозируемой формой обрушения при некотором критическом значении размера полости является разрушение с образованием свода обрушения [1]. При управлении кровлей полным обрушением различают два режима обрушения пород кровли: режим начального (первичного,

генерального) и режим установившегося (вторичного) обрушения.

В работе [2] для условий пласта  $\ell_8$  шахты «Белозерская» разработана физическая модель трехстадийного развивающегося сводообразования: период формирования генерального обрушения; период установившегося обрушения и период формирования мульды сдвижения на поверхности, проведено моделирование на эквивалентных материалах, компьютерное моделирование и аналитические расчеты шагов генерального и установившегося обрушения. Показано, что при первом (генеральном) обрушении пород кровли над выработанным пространством образуется криволинейный свод естественного равновесия, форма которого определяет закономерности обрушения пород кровли при дальнейшем извлечении угля; при вторичном (установившемся) обрушении в кровле угольного пласта образуются породные блоки серповидной формы, размер которых определяется, прежде всего, структурой и прочностью вмещающих пород; при полной отработке подготовленного столба геомеханические процессы сдвижения продолжают развиваться и затрагивают всю толщу пород выше зоны обрушения вплоть до поверхности. Предложены формулы и разработаны монограммы для определения шагов генерального и установившегося обрушения в зависимости от длины лавы, глубины разработки, мощностей основной и непосредственной кровли. Полученные данные отклоняются от реальных на 5-15%. Показано, что при увеличении мощности песчаника основной кровли более 20 м шаг обрушения практически не меняется. При мощности аргиллита непосредственной кровли более 10 м шаг обрушения зависит только от мощности песчаника. С увеличением длины лавы со 125 до 250 м величина генерального шага обрушения уменьшается на 10-20%.

В статье [3] показано, что длина лавы существенно влияет на шаг обрушения основной кровли только при длине до 150 м, при больших длинах уменьшение шага не превышает 10-20%. Гораздо более существенным является влияние скорости подвигания очистного забоя. При увеличении скорости подвигания с 20 до 180 м/мес. Шаг обрушения возрастает в 2-

2,5 раза. Предложена формула для расчета шага первичной осадки с учетом длины и скорости подвигания очистного забоя, глубины разработки, мощности и прочности пород основной кровли, угла падения пласта. Показано, что отклонение от фактических шахтных данных по 69 лавам СП «Ровенькиантрацит» и «Свердловантрацит» не превышает 30-40%.

В работе [4] определение шага первичной осадки кровли производилось при помощи структурной модели, учитывающей напряжения в нетронутым массиве, прочность пород на одноосное сжатие, угол падения, длину лавы и скорость подвигания забоя. Получены новые размерные параметры для определения шагов обрушения: 27,092 м для первичной и 5,06 м - для последующих осадок.

В работе [5] предложена методика расчета шагов обрушения кровли. На примере пласта  $k_{10}^B$  шахты «Саранская» в Карагандинском бассейне мощностью 4,6 м, показана многоступенчатость обрушения кровли и хорошая сходимость с фактическими данными (отклонения 5-10%).

В статье [6] произведена оценка факторов, влияющих на шаг первичной посадки кровли. Показано, что наиболее весомым является мощность основной кровли, что влияние скорости подвигания очистного забоя и длины лавы снижается практически в 2-3 раза при значительном увеличении мощности основной кровли, то есть при появлении в кровле мощных (20-30 м) песчаников. Существует максимальная скорость подвигания, при которой шаг посадки будет максимальным, причем, при наличии в кровле мощных породных слоев эта скорость приближается к 6 – 7 м/сут., при их отсутствии она колеблется в пределах 3,5 – 5 м/сут., дальнейшее увеличение скорости приводит к уменьшению шага посадки. Глубина ведения работ, мощность пласта и непосредственной кровли оказывают незначительное влияние на величину шага первичной посадки.

В работах [7-11] также произведена оценка влияния различных факторов на динамику обрушения. Несмотря на то, что шаг первичного обрушения кровли на отдельных пластах удается прогнозировать с точностью порядка 10%, в большинстве случаев из-за

неадекватности моделей реальным процессам ошибка составляет 30-40%.

В последнее время стало ясно, что любое разрушение является динамическим явлением [12-14], однако попытки решать задачу определения шага первичной осадки кровли динамическими методами весьма скромны.

В статье [15] обращается внимание на то, что понятие устойчивости систем, тесно связано с учением о колебаниях и что основная задача динамического исследования состоит в определении закона движения системы. Показано, что при расчете на устойчивость пород кровли, критическая нагрузка всегда подобна разрушающей в результате действия в них различных усилий. Рассматривая балку, лежащую на упругом основании, получено дифференциальное уравнение колебаний, совпадающее с видом уравнения свободных колебаний балки постоянного сечения. С увеличением длины балки частота ее колебаний уменьшается. Изменение координат точек тела в случае, когда балка имеет неподвижную шарнирную опору, происходит скачкообразно, с резким отклонением от положения равновесия. В случае, когда балка имеет упругое основание, изменение координат точек тела происходит плавно. Максимальные отклонения координаты точек тела от равновесного состояния при длине балки 60 м составляют для первого случая 1,5м, а для второго - 0,4м.

В работах [16-18] сделаны первые попытки по определению резонансных частот колебаний породных слоев кровли, закономерностей их расслоения, однако о прогнозе шагов первичного и вторичного обрушения речь пока не идет.

#### **Цель статьи (постановка задачи).**

Целью данной работы является поиск методики прогноза первичного и вторичного шагов обрушения кровли на основе идеи о возникновении вихре-волнового резонанса перед процессом разрушения.

#### **Методы исследования.**

Анализ современных представлений о видах и характере протекания вихре-волновых резонансов, лабораторные исследования резонансных явлений при деформировании и разрушении горных

пород в объемном поле сжимающих напряжений, анализ натуральных наблюдений за резонансными явлениями на Земле, в горном массиве и в ближнем Космосе.

#### **Изложение основного материала.**

С точки зрения физики сегодня выделяют четыре вида вихре-волнового резонанса [19,20]: *резонанс по скорости и частоте, когда происходит возбуждение только одной волны из возможного спектра; структурно-волновой резонанс по скорости и размерам – резонансное возбуждение волн колеблющейся системой или вихревой структурой, когда характерные размеры системы или ее структурного элемента близки или кратны размерам колебательной системы; двойной вихре-волновой резонанс по скорости, размерам и параметрам вихревых структур, приводящий к резкой смене циркуляции потока вокруг тела и сил взаимодействия между телом-волной и средой, появлению диспергирующих волн и новых вихревых структур; структурный резонанс – резонансное взаимодействие через среду нескольких несимметричных систем с границами раздела или вихревыми структурами.*

С точки зрения астрономии при изучении закономерностей движения космических объектов выделяют следующие виды резонансов [21-23]: *пульсационно-спиновый резонанс или резонанс нулевого рода, когда период обращения космического объекта вокруг собственной оси кратен периоду пульсации (для Земли  $T_{об} = 9T_{п}$ ); спин-орбитальный резонанс или резонанс первого рода, когда период обращения космического объекта по орбите кратен периоду обращения вокруг собственной оси (для Земли  $T_{орб} = 366T_{об}$ , для Меркурия  $T_{орб} = \frac{3}{2}T_{об}$ ); орбитальный резонанс или резонанс второго рода, когда орбитальные периоды обращения соседствующих космических объектов кратны друг другу (Земля-Венера 8:5, Сатурн-Юпитер 2:3); часто эти резонансы сопровождаются также спин-спиновыми резонансами, когда периоды обращения вокруг собственных осей совпадают и космические объекты обращены друг к другу одной стороной (Земля-Луна 1:1, Юпитер-Европа 1:1, Земля-Венера при противостоянии); спин-*

*барицентричний резонанс или резонанс третьего рода*, когда каждая планета вращается вокруг Солнца, а вместе с ним вокруг барицентра Солнечной системы. Кроме того, выделяют: *резонанс волн биения*, когда период биения (величина обратная разнице частот обращений) соседних планет равен сумме или разнице периодов обращения этих планет. В случае суммы отношение периодов равно числу золотого сечения 1,618, в случае разницы – квадрату золотого сечения 2,618; *кольцевой резонанс, солнечный резонанс и др.*

Рассматривая горный массив как структурный элемент или подсистему Земли, критерием для прогноза обрушения кровли в очистном забое будет: совпадение или кратность длин, скоростей или частот нелинейных периодических или одиночных волн, взаимодействующих между собой. Первое условие выполняется за счет приблизительной одинаковости или одного модуля кратности размеров структурных блоков в горном массиве при переходе от одного масштабного уровня к другому [24-25]. При взаимодействии любых близко расположенных структур (слоев, блоков, толщ), которые находятся в общем гравитационном и электромагнитном поле Земли, через которые они могут влиять друг на друга, независимо от их перемещения относительно поля, приблизительная одинаковость скорости нелинейных волновых структур выполняется автоматически. Как показано в работе [26], каждый структурный элемент Земли является резонатором и для всех геоматериалов и Земли в целом скорость поперечных (вихревых) волн одинакова и равна  $2500 \text{ м/с} \pm 10\%$ . Таким образом, для горного массива характерны структурные или, как минимум, двойные вихре-волновые резонансы.

С точки зрения космических резонансов наиболее интересным для горного массива является пульсационно-спиновый резонанс. Как показано в статье [27], источником самогравитации планет и самого Солнца является Всегалактический источник волновой энергии. Эта возбуждающая волна влияет и на Землю в целом, и на все структурные объекты планеты, которые также являются резонаторами. Волна имеет комплексный характер и имеет активную вихревую

составляющую и реактивную составляющую, которая входит в Землю со всех сторон перпендикулярно поверхности. В связи с этим, в Земле и каждом ее структурном элементе распространяются два вида волн: пульсационные сфероидальные волны сжатия-растяжения  $P$ , связанные с изменением объема и отвечающие за пульсацию и гравитацию; вихревые крутильные волны искажения, не связанные с изменением объема, а связанные с вращением Земли и деформациями в поперечном относительно радиуса направлении. Вихревая волна может быть представлена в виде трех составляющих: двух горизонтальных поперечных волн - широтной  $SH_{ш}$  и меридиональной  $SH_{м}$ , создающих спиралевидное вращение параллельно границам оболочек и слоев, составляющих Земли вертикальной  $SV$ , обуславливающей шаг спирали, действующей перпендикулярно границам раздела и взаимодействующей с пульсационной составляющей  $P$ .

Пульсационная составляющая распространяется перпендикулярно границам раздела и резонирует с объектами, характерный размер которых кратен половине длины волны ее гармоник. Резонанс происходит на всех гармониках и характеризуется [26] полным пропусканием волны без отражения, что позволяет изучать и горный массив, и земную кору, и мантию, и ядро. Этот эффект называют эффектом монохроматора. С увеличением порядка гармоники волны вытесняются из центральных областей планеты к поверхности и их частоты возрастают. При больших значениях порядка гармоники сфероидальные колебания могут рассматриваться как стоячая волна Релея, а поперечные – как волна Лява.

Когда объект имеет характерный размер, кратный длине волны гармоник, возникает антирезонанс, при котором часть волны отражается, а большая часть поглощается и трансформируется в собственные поперечные колебания объекта (структурного элемента). Вступая в резонанс с вихревой составляющей, амплитуда колебаний резко возрастает, возникает эффект аномально низкого трения и объект разрушается. Указанный эффект получил

название акустического резонансного поглощения (АРП).

Следует отметить, что и при эффекте монохроматора, и при эффекте АРП возникают стоячие волны, которые характеризуются фазовой скоростью, являющейся постоянной. Именно эти эффекты позволяют отдельно наблюдать сфероидальную и поперечную вихревую составляющие. При отсутствии резонанса распространяется единая пульсационно-спиновая (спирально-вихревая) волна, скорость которой может быть любой в зависимости от соотношения компонент.

В статье [27] для Солнечной системы и всех дискретных систем предложен универсальный инвариант

$$K = \frac{4\pi^2 R^2}{MT_{\pi}^2} = \left(\frac{\rho T^2}{3\pi}\right)^{-1}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус планет и самого Солнца;  $T_{\pi}$  – период их колебаний как нулевых источников волновых процессов;  $M$  – масса планет и самого Солнца;  $\rho$  – плотность вещества планет и самого Солнца.

Для случая пульсации поверхности планет как волновых источников нулевого порядка установлено, что соотношения

$$\frac{R^3}{MT_{\pi}^2} = \text{const}, \quad \text{и} \quad \frac{R^3}{MT_{\text{вр}}^2} = \text{const}, \quad (2)$$

где  $T_{\pi}$  – период пульсации, постоянный для всех объектов Солнечной системы,  $T_{\pi} = 160$  мин.;  $T_{\text{вр}}$  – период обращения вокруг своей оси,  $T_{\text{вр}} = n T_{\pi}$ ; для Земли  $T_{\text{вр}} = 9 \cdot 160 = 1440$  мин. = 24 часа;  $n$  – порядок гармоники, при котором реактивная составляющая (волна пульсации  $R$ ) резонирует со спирально-вихревой поперечной волной.

В работах [28-30] показано, что согласно барометрическим, гидродинамическим и сейсмометрическим данным в собственных колебаниях атмосферы, гидросферы и литосферы резонансные явления наблюдаются на 9-й гармонике (так называемый «девятый вал»).

Если согласиться с резонансной структурой Солнечной системы с планетами-резонаторами, то резонансный период их колебаний можно определить, приравнявая центробежную силу

вращательного (вихревого) движения и силу гравитации:

$$T_{\pi} = 2\pi \sqrt{\frac{R^3}{\gamma M}}, \quad (3)$$

где  $R$  – радиус планеты;  $T_{\pi}$  – период ее колебаний как нулевого источника волновых процессов;  $M$  – масса планеты,  $\gamma$  – гравитационная постоянная.

Для Земли как твердого шара получим  $T_{\pi} = 84,38$  мин. Девятая гармоника вращательного движения будет иметь такой же период. Следует отметить, что этот период постоянно обнаруживается сейсмологами, но относится не к собственным, а к сейсмотектоническим колебаниям. Легко показать, что это первая гармоника собственных колебаний планеты-резонатора как каменной оболочки. Средняя фазовая скорость распространения волны пульсации в недрах Земли составит:

$$V_p = \frac{2D}{T_{\pi}} = 2 \cdot 12700 / 84,38 \cdot 60 = 5,02 \text{ км/с.}$$

Средняя фазовая скорость вихревой поперечной волны собственных колебаний составит:

$$V_s = \frac{D}{T_{\pi}} = 12700 / 84,38 \cdot 60 = 2,51 \text{ км/с.}$$

Длина волны резонансной девятой гармоники

$$\lambda = \frac{\pi D}{n} = 3,14 \cdot 12700 / 9 = 4431 \text{ км.}$$

Собственные колебания имеют смысл гравитационных и являются несущими, они модулируют все виды взаимодействия структурных элементов Земли, поэтому основными особенностями спирально-вихревого поля являются его хиральность (отсутствие симметрии) и наличие 100%-й модуляции низкими частотами. Амплитуда левосторонней составляющей вектора спиновой поляризации углового момента  $L$  на протяжении первой половины периода модуляции изменяется в пределах  $\pm 180^{\circ}$ , а амплитуда правосторонней составляющей  $R$  – близка к нулю. На протяжении второй половины периода амплитуда правосторонней составляющей изменяется в пределах  $\pm 180^{\circ}$ , а левосторонняя близка к нулю [31].

В последние годы интенсивно развивается концепция вихре-волновой тектоники и других процессов в земной коре [32].

Поскольку любая оболочка или отдельный слой земной коры являются

резонаторами, зная фазовые скорости волн и характерные размеры (мощность) оболочек (слоев), можно определить резонансные периоды их колебаний и длины волн. К примеру: для пласта  $\ell_1$ , в кровле которого залегает мощный песчаник  $h = 30$  м, резонансные периоды пульсации и вихревой составляющей, которые являются синхронными, составят:

$$T_{\Pi} = \frac{2h}{V_p} = 2 \cdot 30 / 5000 = 0,012 \text{ с.}$$

$$T_s = \frac{h}{V_s} = 30 / 2500 = 0,012 \text{ с.}$$

Период волны собственных поперечных колебаний слоя составит:

$$T_s = 9T_{\Pi} = 9 \cdot 0,012 = 0,108 \text{ с.}$$

Длина поперечной волны (размер структурного блока ишак первичного обрушения) составят:

$$\lambda = V_s T_s = 2500 \cdot 0,108 = 270 \text{ м}$$

$$\text{или } \lambda = n_p h = 9 \cdot 30 = 270 \text{ м.}$$

Шаг вторичного обрушения совпадает с длиной волны резонансной девятой гармоники и равен мощности слоя.

При наличии в кровле известняка расчет производится аналогично. Если же породы кровли представлены переслаиванием аргиллитов и алевролитов в качестве расчетной принимается их суммарная мощность в пачке между двумя ослабленными (резкими) контактами. В случае если мощность пачек возрастает с удалением от пласта, обрушение может быть ступенчатым. Ступенчатое обрушение наблюдается также и в мощных песчаниках, если они не монолитны, а имеют плоскости ослабленных контактов. Для примера на рис.1 приведен стратиграфический разрез по вмещающим породам (а) и резонансные частоты слоев в кровле и почве пласта  $\ell_1$  (б) шахты «Капитальная». Чем больше амплитуда сигнала, тем резче контакт между слоями.

На рис.2 приведена аккумулирующая кривая добычи в 1-й лаве центрального бремсберга пл.  $\ell_1$  шахты «Капитальная», на которой четко отбиваются за счет ухудшения состояния кровли и снижения добычи шаги обрушения. Особое внимание следует обратить на невидимый, но очень резкий контакт в нижней пачке песчаника кровли на расстоянии 13,8 м от пласта, отделяющий слой песчаника мощностью 8-11 м. При отходе лавы от разрезной печи на расстоянии 80-81 м (9х9м) произошло

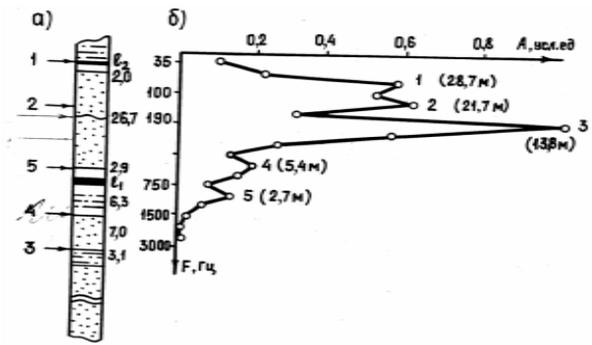


Рис. 1. Стратиграфический разрез (а) и резонансные частоты (б) вмещающих пород пласта  $\ell_1$  шахты «Капитальная»

первичное обрушение этого слоя. После подвигания еще на 29-30 м обрушилась вся толща песчаника, после подвигания еще на 40-41 м обрушилось все междупластье до пласта  $\ell_3$ . После этого с вторичным шагом обрушилась вся толща печатника и песчаник расслоился. Последующие шаги обрушения составляли 20 и 10 м, но только на верхних 110 м лавы.

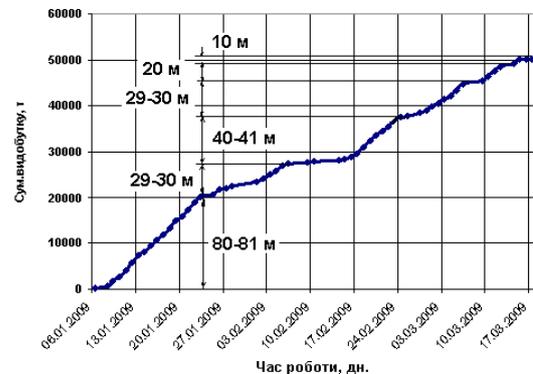


Рис. 2. Аккумулирующая кривая суточной добычи в 1-й лаве центрального бремсберга пл.  $\ell_1$

Следует отметить, что 1-я лава центрального бремсберга имела длину всего 160 м, вышележащий пласт  $\ell_3$  не был отработан, поэтому песчаник кровли пласта  $\ell_3$  мощностью 25-48 м, залегающий на расстоянии 50-55 м от пласта  $\ell_1$ , не обрушился вовсе, а над конвейерным штреком 1-й лавы песчаник кровли пласта  $\ell_1$  завис консолю 40-50 м. При отработке 2-й лавы центрального бремсберга длиной 300 м генеральная осадка кровли произошла после отхода от монтажного ходка на 270 м (9\*30м), при этом состояние кровли в лаве

существенно ухудшилось, крепь 1КМТ посадила на жесткую базу и скорость подвигания лавы в последующие два месяца снизилась до 5-10 м/мес. (рис.3).

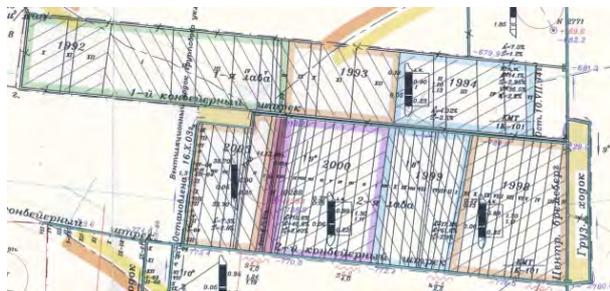


Рис. 3. Выкопировка из плана горных выработок пласта  $\ell_1$  шахты «Капитальная» (бремсберговая часть)

При отработке 1-й северной лавы группового уклона на этом же пласту длиной 275 м мощность песчаника составляла 28 м. Перед первичной осадкой, когда лава отошла от монтажного ходка на 250 м состояние кровли существенно ухудшилось. На 254 м (9\*28 м) произошло первичное обрушение песчаника и вышелегающих сланцев почвы пласта  $\ell_3$ . Поскольку пласт  $\ell_3$  (самый газоносный на шахте) был отработан ранее, при обрушении основной кровли пласта  $\ell_1$  метан из выработанного пространства пласта  $\ell_3$  устремился в выработанное пространство пласта  $\ell_1$  и, несмотря на прямоточную схему проветривания, произошла вспышка метана на верхнем вентиляционном штреке (рис.4).



Рис. 4. Выкопировка из плана горных выработок пласта  $\ell_1$  шахты «Капитальная» (панель группового уклона)

При отработке южной коренной лавы пласта  $\ell_1$  блока №3 по восстанию с переменной длиной 300-280 м шаг первичного обрушения песчаника основной кровли мощностью 30 м в 2020 году был спрогнозирован авторами 270 м (9\*30 м). В настоящее время лава дорабатывается. Прогноз подтвердился полностью.

Таким образом, при отработке четырех лав пласта  $\ell_1$  шахты «Капитальная» разной длины прогноз шага первичной осадки кровли по резонансной частоте

(периоду) колебаний породного слоя полностью подтвердился. Аналогичные результаты были получены при отработке пластов  $\ell_1$  и  $k_8$  на шахте №5/6.

Здесь следует обратить внимание на работу [5]. При отработке пласта  $K_{10}$  мощностью 4,6 м в кровле выделено 6 слоев песчаника прочностью 60 МПа. Длина лавы составляла 174 м. Обрушение непосредственной кровли началось с шага 42,6 м, равного ее мощности. Основная кровля обрушалась ступенчато с шагами 95, 131, 216, 269, 326, 386, 432, 540 м, но наиболее сильно осадки наблюдались с шагом кратным 216 м и сопровождалась раздавливанием угля в призабойной части на 8 м и вывалами кровли высотой более 4 м. Следует отметить, что шаг 216 м соответствует пяти мощностям первого слоя, девяти мощностям второго слоя, четырем мощностям четвертого слоя и шести мощностям шестого слоя, т.е. в резонанс вступали четыре слоя песчаника с разными длинами волн и на разных гармониках, кратных 24 м (9\*24=216 м). Полученные данные хорошо согласуются с данными [16] о вертикальной структуризации массива над выработанным пространством (рис.5). Развитие иерархически вложенных структур в приконтурной части выработки происходит канонически [30], в соответствии с масштабным фактором явления зональной дезинтеграции пород  $(\sqrt{2})^n$ , где  $n$  — уровень структурной иерархии, и аппроксимируется синусоидой.

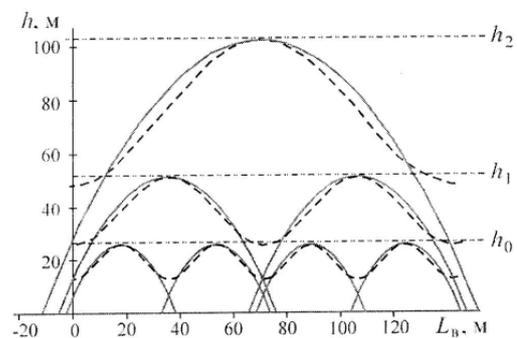
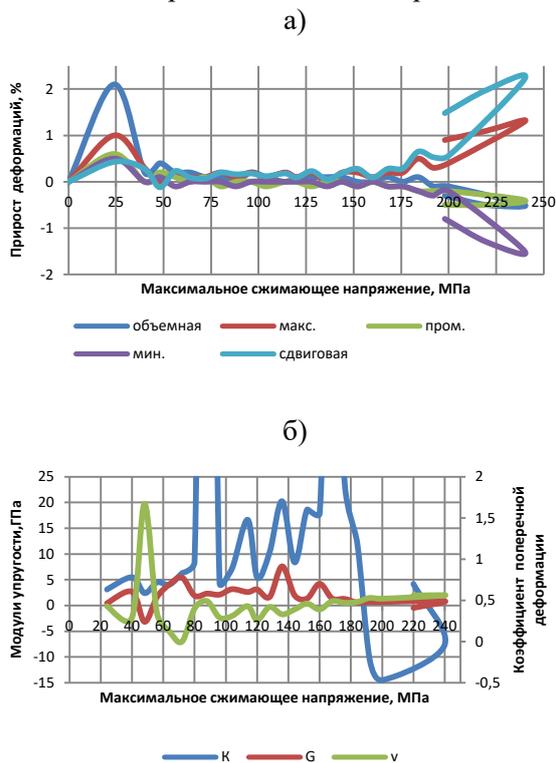


Рис. 5. Вертикальная схема структуризации (самоорганизации) вмещающего массива с формированием «геомеханических слоев»

### Обсуждение результатов.

Как было показано в предыдущих работах авторов, любое разрушение горных пород при внешнем воздействии является

следствием резонанса (рис. 6). Условием возникновения резонанса с точки зрения



**Рис. 6.** Резонансный прирост деформаций (а) и изменения упругих параметров (б) в песчанике при  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = 20$  МПа в процессе нагружения

физики является кратность частот колебаний, скоростей и характерных размеров взаимодействующих объектов-резонаторов в общем гравитационном или ином поле. Кратность частот, как показано выше, обусловлена наличием пульсационно-спинового резонанса Земли на 9-й гармонике периода обращения, структуризацией горного массива на октавном принципе с модулями  $\sqrt{2}$  или 1,618 и постоянством фазовых скоростей вихреволнового поля для всех геоматериалов. Резонанс на пульсационной составляющей происходит на всех гармониках и является полуволновым, резонанс на вихревой составляющей (антирезонанс) происходит только на нечетных гармониках и является волновым. При ведении горных работ по добыче полезных ископаемых обрушение пород кровли возможно с участием обоих видов резонанса. При наличии одного мощного прочного породного слоя-моста резонанс и первичное обрушение наступает в узловых точках кратных длине волны, вторичное – на

9-й гармонике. При наличии переслаивания слабых пород и нескольких слоев-мостов наблюдается ступенчатое обрушение с шагами кратными полудлине волны. За счет наложения нескольких волн возможно образование резонансных частот отличных от девятой гармоника.

### Выводы.

Первичное и вторичное обрушения кровли в очистных выработках шахт являются резонансными явлениями, их шаг определяется в основном мощностью породных слоев и резкостью контакта между ними. При мощности слоя, кратном длине волны, шаг первичной посадки кровли является результатом пульсационно-спигового резонанса и равен девяти мощностям слоя, вторичной посадки – мощности слоя. При мощности слоя, кратном полудлине волны, резонанс чисто пульсационный, первичная посадка за счет наложения волн возможна на любых гармониках.

### Список литературы

1. Шашенко А.Н. Механика горных пород. Днепропетровск: НГАУ, 2002. 302 с.
2. Хозяйкина Н.В. Обрушение пород кровли в лавах пологопадающих угольных пластов. Днепропетровск: НГУ, 2012. 126 с.
3. Куберский С.В., Кизияров О.Л., Болотов А.П., Бизяков Е.Е., Коваленко Н.В. Численный анализ влияния длины и скорости подвигания очистного забоя на величину шага первичной осадки кровли (Новые технологии и проблемы технических наук). Сб. науч. трудов по итогам междунар. научно-практ. конф. №5 г. Красноярск НН: ИЦРОН, 2018. 55с.
4. Ботвенко Д.В. Исследование процессов, обуславливающих устойчивость и периодичность обрушения пород кровли в очистных забоях на пластах пологого падения при современной технологии угледобычи. *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*, 2012. №2. С.84-89.
5. Алиев С.Б., Долгоносов В.Н., Кушеуов К.К., Разумняк Н.Л., Пак Г.А. Методика расчета шагов обрушения кровли и прогноза газовыделения. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*, 2012. №55. С.56-68.
6. Стаднюк Е.Д. Изучение влияния скорости подвигания очистного забоя на шаг первичной посадки основной кровли. *Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр.* Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2013. Вып. 111. С.153-162.
7. Мустафин М.Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта. *Сборник горного информационно-аналитического бюллетеня*. Москва: Изд-во МГГУ, 2008. №1. С. 17-22.

8. J. McCaffrey, L. Barletta, E. Thomas, R.C. Toothman. Hydraulic Fracturing of Sandstone and Longwall Roof Control - Implementation and Evaluation. *Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining, West Virginia University, Morgantown, WV*. 2002. P.1-10.
9. Reed G., Russell F. Coal pillar design when considered a reinforcement problem rather than a suspension problem. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. No. 28. P. 11-19.
10. Waclawik P., Ptacek J., Grygar R. Structural and stress analysis of mining practice in the Upper Silesian Coal Basin. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2013. No.10. P. 255-265.
11. Yu Y., Deng K.-Z., Chen S.-E. Mine Size Effects on Coal Pillar Stress and Their Application for Partial Extraction. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Sustainability*. 2018. No. 10. 792p.
12. Weber H. Der Gebirgsdruck als Ursache für das Auftreten von Schlagwettern, Blasen, Gasausbrüchen und Gebirgsschlägen, Gluckauf, 1916, Bd 49.
13. Трифонов А.С., Тиркель М. Г., Туманов В. В., Юфа Я., Архипенко А. И. Сейсмические проявления геодинамических процессов над очистной выработкой. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. №2. 2008. С.83-89.
14. Riazantsev M. A., Nosach O.K., Riazantsev A.M. Causes and mechanism of rock breaking / Traditions and innovations of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. Universitas Publishing Petrosani, 2019. P. 77-95.
15. Коломиец В.А., Чепига Д.А., Иорданов И.В., Власенко Н.Н., Александров С.С. О динамике боковых пород при их внезапном обрушении. *Вісник НТУ "ХПИ", Серія "Новітні досягнення в сучасних технологіях"*. 2017. № 7 (1229). С.64-72.
16. Полевщиков Г.Я. «Деформационно-волновые» процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах. *ФТПРПИ*. 2013. №5. С.50-60.
17. Молев М.Д., Матвеев В.А. Совершенствование метода геоакустической интроскопии для прогнозирования проявления горного давления в очистных забоях. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2003. №2. С.17-19.
18. Vlasov S., Sidelnikov A. Results of the 3-D simulation of the transversely isotropic rock mass stress state around a longwall. *New techniques and technologies in mining*. Сб. науч. тр.; CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group. – Dnepropetrovsk: Lizunov Press Ltd, 2010. P. 145 – 150.
19. Басина Г.И., Басин М.А. Синергетика. Основы методологии. Санкт Петербург: Норма, 2006. 56 с.
20. Басин М.А. Волны. Кванты. События. Волновая теория взаимодействия структур и систем. Ч.1. Санкт Петербург: Норма, 2006. 168с.
21. Берри Б.Л. Гелио-геофизические и другие процессы, периоды их колебаний и прогнозы. *Геофизические процессы и биосфера*. 2010. Т. 9, № 4. С. 21-66.
22. Сухарев В. Миром правит закон космических резонансов. Кн. 1. Москва: Амрита-Русь, 2012. 288 с.
23. Петров Н.В. Витакосмология: основы для понимания реального знания. Ч.2. Санкт Петербург: «Береста», 2013. 388с.
24. Опарин В.Н., Танайло А.С. Представление размеров естественных отдельностей горных пород в канонической шкале. Классификация. *ФТПРПИ*, 2009. №6. С. 40-53.
25. Макаров П.В. Об иерархической природе деформации и разрушения твердых тел. *Физическая мезомеханика*. 2004. Т.7. №4. С.25-34.
26. Гликман А.Г. Эффект акустического резонансного поглощения (АРП) как основа новой парадигмы теории поля упругих колебаний. *Геофизика XXI столетия: 2003-2004 годы*: сб. трудов Пятых и Шестых геофизических чтений им. В.В. Федьинского. Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2005. С.293-299.
27. Кумченко Я.А. Альтернативная резонаторная теория силовых взаимодействий в макромире: устойчивость Вселенной и ее энергетика на примере Солнечной системы. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: зб. робіт конф. Кривий Ріг*, 2002. Т.2. С.103-108.
28. Кумченко Я.А. Технология и обоснование необходимости мониторинга космической погоды для прогнозирования локальных земных катастроф. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2009. №4 (61). С.95-103.
29. Беляев Т.М., Швед Г.М. Короткопериодные собственные колебания атмосферы. *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 2014. Т.50. №6. С.639-646.
30. Ермоленко С.И. Собственные колебания атмосферы и Земли по барометрическим и сейсмометрическим данным: дис. канд. физ.-мат. наук. Санкт-Петербург: 2016. 90с.
31. Ингель Л.Х. Об одном типе резонансных явлений в атмосфере и водоемах. *Изв. РАН. Механика жидкости и газа*. 2015., №4. С.37-43.
32. Никольский Г.А. О пятом взаимодействии. *Торсионные поля и информационные взаимодействия – 2009*: Материалы междунар. научн. конф. Хоста-Сочи, 25-29 августа 2009г. Москва: 2009. С.56-75.
33. Vikulin A.V. Earth rotation, elasticity and geodynamics: earthquake wave rotary model. *Earthquake source asymmetry, structural media and rotation effects*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2006. P. 271-289.

## References

1. Shashenko A.N. (2002). Rock mechanics [Mekhanikagornyxporod]. Dnepropetrovsk: NSAU. (in Russian).
2. Khozyayksna N.V. (2012). The collapse of the roof rocks in the lavas of dipping coal seams [Obrusheniye porod krovli v lavakh pologopadayushchikh ugoľnykh plastov]. Dnepropetrovsk: NSU. (in Russian)
3. Kubersky S.V., Kiziyarov O.L., Bolotov A.P., Bizyakov E.E., Kovalenko N.V. (2018). A numerical analysis of the influence of the length and speed of movement of the net face on the step size of the primary roof upsetting [Chislennyy analiz vliyaniya dliny I skorosti podviganiya ochisnogo zaboya na velichinu shaga pervichnoy osadki krovli](New technologies and problems of technical sciences). *Sat. scientific Proceedings of the international. scientific and practical. Conf. No. 5*. Krasnoyarsk - NN: ITSRON. (in Russian).

4. Botvenko D.V. (2012), Investigation of the processes that determine the stability and frequency of collapse of roofing rocks in the working faces on the slopes of a shallow dip with modern coal mining technology [Issledovaniye protsessov, obuslovlivayushchikh ustoychivost' i periodichnost' obrusheniya porod krovli v ochistnykh zaboyakh na plastakh pologogo padeniya pri sovremennoy tekhnologii ugledobychi]. *Bulletin of the scientific center for work safety in the coal industry*. (in Russian).
5. Aliev S.B., Dolgonosov V.N., Kusheuov K.K., Razumnyak N.L., Pak G.A. (2012). Methodology for calculating the steps of roof collapse and the forecast for gas release [Metodika rascheta shagov obrusheniya krovli i prognoza gazovydeleniya]. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, No. S5, 6-68. (in Russian)
6. Stadnyuk E.D. (2013). Studying the influence of the speed of movement of the face on the step of primary sprouting of the main roof [Izucheniye vliyaniya skorosti podviganiya ochistnogo zaboya na shag pervichnoy posadki osnovnoy krovli]. *Geotechnical Mechanics: Mezhdved. Dnepropetrovsk: IGTM NASU, Issue.111, 153-162.*(in Russian)
7. Mustafin M.G. (2008). The influence of the speed of movement of the seep face on the dynamics of destruction of the rocks of the coal seam roof [Vliyaniye skorosti podviganiya ochistnogo zaboya na dinamiku razrusheniya porod krovli ugol'nogo plasta]. *Sat. mining information. - theanalyt. bul.*, № 1, 17-22. (in Russian)
8. McCaffrey J., Barletta L., Thomas E., Toothman R.C. (2002). Hydraulic Fracturing of Sandstone and Longwall Roof Control - Implementation and Evaluation. *Proceedings of the 21st International Conference on Ground Control in Mining. West Virginia University, Morgantown, WV*, 1-10.
9. Reed G., Russell F. (2018). Coal pillar design when considered a reinforcement problem rather than a suspension problem. *International Journal of Mining Science and Technology*, No. 28, 11-19.
10. Wacławik P., Ptacek J., Grygar R. (2013), Structural and stress analysis of mining practice in the Upper Silesian Coal Basin. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, No.10, 255-265.
11. Yu Y., Deng K.-Z., Chen S.-E. (2018). Mine Size Effects on Coal Pillar Stress and Their Application for Partial Extraction. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy. Sustainability*, No.10.
12. Weber H. (1916). Der Gebirgsdruck als Ursache für das Auftreten von Schlagwettern, Blasern, Gasausbrüchen und Gebirgsschlägen. *Gluckauf*, Bd 49. (in German)
13. Trifonov A.S., Tirkel M. G., Tumanov V.V., Yufa Ya., Arkhipenko A.I (2008). Seismic manifestations of geodynamic processes over a mine [Seismicheskiye proyavleniya geodinamicheskikh protsessov nad ochistnoy vyrabotkoy]. *Scientific Works of UkrNDMI of NAS of Ukraine*, No. 2, 83-89. (in Russian)
14. Riazantsev M. A., Nosach O.K., Riazantsev A.M. (2019). Causes and mechanism of rock breaking. Traditions and innovations of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph (pp. 77-95). Universitas Publishing Petrosani
15. Kolomiets V.A., Chepiga D.A., Iordanov I.V., Vlasenko N.N., Aleksandrov S.S. (2017). On the dynamics of lateral rocks during their sudden collapse [O dinamike bokovykh porod pri ikh vnezapnom obrushenii]. *Newsletter NTU "KhPI", Seriya "New Decision in Current Technologies"*, No. 7(1229), 64-72. (in Russian).
16. Polevshchikov G.Ya. (2013). "Deformation-wave" processes in the rock mass during the movement of the face in coal seams [«Deformatsionno-volnovyye» protsessy v massive gornyykh porod pri dvizhenii ochistnogo zaboya v ugol'nykh plastakh]. *FTPPI*, No. 5, 50-60. (in Russian)
17. Molev M.D., Matveev V.A. (2003). Improving the method of geoacousticintrospecty to predict the manifestation of rock pressure in the working faces [Sovershenstvovaniye metoda geoakusticheskoy introskopii dlya prognozirovaniya proyavleniya gornogo davleniya v ochistnykh zaboyakh]. *Mountain Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*, No. 2, 17-19. (in Russian)
18. Vlasov S., Sidelnikov A. (2010). Results of the 3-D simulation of the transversely isotropic rock mass stress state around a longwall. *New techniques and technologies in mining. CRC Press is an imprint of the Taylor & Francis Group*, 145 – 150.
19. Basina G.I., Basin M.A. (2006). Synergetics. The basics of the methodology [Sinergetika. Osnovy metodologii]. St. Petersburg: Norma. (in Russian).
20. Basin M.A. (2006). The waves. Quanta. Events. Wave theory of the interaction of structures and systems [Volny. Kvanty. Sobytiya. Volnovaya teoriya vzaimodeystviya struktur i sistem]. (Part 1.). St. Petersburg: Norma. (in Russian).
21. Berry B.L. (2010). Helio-geophysical and other processes, periods of their fluctuations and forecasts [Gelio-geofizicheskiye i drugie protsessy, periody ikh kolebaniy i prognozy]. *Geophysical processes and biosphere*, Vol. 9, No. 4. 21-66. (in Russian)
22. Sukharev V. (2012). The world is governed by the law of cosmic resonances [Mirom pravit zakon kosmicheskikh rezonansov]. (Prince 1.) Moscow: Amrita. (in Russian).
23. Petrov N.V. (2013). Vitacosmology: the basis for understanding real knowledge [Vitakosmologiya: osnovy dlya ponimaniya real'nogo znaniya]. (Part 2). St. Petersburg: "Beresta". (in Russian).
24. Oparin V.N., Tanaylo A.S. (2009). Representation of the sizes of natural rock entities in a canonical scale [Predstavleniye razmerov Yestestvennykh otdel'nostey gornyykh porod v kanonicheskoy shkale]. Classification. *FTPPI*, No.6, 40-53. (in Russian).
25. Makarov P.V. (2004). On the hierarchical nature of deformation and fracture of solids [Ob iyerarkhicheskoy prirode deformatsii i razrusheniya tverdykh tel]. *Physical Mesomechanics*, V.7, Number 4, 25-34. (in Russian.)
26. Glikman A.G. (2005). The effect of acoustic resonance absorption (ARP) as the basis of a new paradigm of the theory of the field of elastic vibrations [Effekt akusticheskogo rezonansnogo pogloshcheniya (ARP) kak osnova novoy paradigmy teorii polya uprugikh kolebaniy]. *Geophysics of the 21st century: 2003-2004. Sat Proceedings of the Fifth and Sixth Geophysical Readings. V.V. Fedynsky*. Tver: LLC "Publishing House GERS". (in Russian).
27. Kumchenko Ya.A. (2002). An alternative resonator theory of force interactions in the macrocosm: the stability of the Universe and its energy using the example of the solar system [Alternativnaya rezonatornaya teoriya silovykh vzaimodeystviy v

makromire: ustoychivost' Vselennoy I yeye energetika na primere Solnechnoy sistemy]. *Sat. rob. conf. "Theory and the technique of introducing mathematics, physics, computer science."* Kryvyi Rih. (in Russian).

28. Kumchenko Ya.A. (2009). Technology and justification for the need for space weather monitoring to predict local earth disasters [Tekhnologiya I obosnovaniye neobkhodimosti monitoring kosmicheskoy pogody dlya prognozirovaniya lokal'nikh zemnikh katastrof]. *Aerospace Engineering and Technology*, No. 4(61), 95-103. (in Russian).

29. Belyaev T.M., Shved G.M. (2014). Short-period eigen oscillations of the atmosphere [Korotkoperiodnyye sobstvennyye kolebaniya atmosfery]. *Izvestiya RAS. Atmospheric and Ocean Physics*, T.50, №6, 639-646. (in Russian).

30. Ermolenko S.I. (2016). Own vibrations of the atmosphere and the Earth according to barometric and seismometric data [Sobstvennyye kolebaniya atmosfery i Zemli po barometricheskim I seysmometricheskim danym]. (Dis. Cand. Phys.-Math. of sciences). St. Petersburg. (in Russian).

31. Ingel L.H. (2015). On one type of resonance phenomena in the atmosphere and reservoirs [Ob odnom tipe rezonansnykh yavleniy v atmosfere i vodoyemakh]. *Izv. RAS. Fluid and Gas Mechanics*, № 4, 37-43. (in Russian).

32. Nikolsky G.A. (2009). About the fifth interaction [O pyatom vzaimodeystvii]. *International materials scientific Conf. "Torsion Fields and Information Interactions 2009". Hosta Sochi, August 25-29, Moscow/* (in Russian)/

33. Vikulin A.V. (2006). Earth rotation, elasticity and geodynamics: earthquake wave rotary model. *Earthquake source asymmetry, structural media and rotation effects*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

Надійшла до редакції 24.04.2020

Рецензент д-р техн. наук, проф. І.Г. Сахно.

**Рязанцев Николай Александрович** – доцент, кандидат технических наук, доцент каф. управление горным производством Учебно-научный индустриальный институт Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (г. Покровск, пл. Шибанкова, 2; 85300, Украина).

E-mail: [mykola.riazantsev@ii.donntu.edu.ua](mailto:mykola.riazantsev@ii.donntu.edu.ua)

**Носач Александр Константинович** - доцент, кандидат технических наук., профессор каф. управление горным производством Учебно-научный индустриальный институт Государственное высшее учебное заведение «Донецкий национальный технический университет», (г. Покровск, пл. Шибанкова, 2; 85300, Украина).

E-mail: [oleksandr.nosach@ii.donntu.edu.ua](mailto:oleksandr.nosach@ii.donntu.edu.ua)

**Рязанцев Антон Николаевич** – инженер-конструктор, Красноармейский завод промышленного оборудования, (г. Покровск, ул. Нахимова, 82; 85300, Украина).

E-mail: [anton.riazantsev@ii.donntu.edu.ua](mailto:anton.riazantsev@ii.donntu.edu.ua)

#### ПЕРВИННЕ ОБВАЛЕННЯ ПОРІД ПОКРІВЛІ В ОЧИСНИХ ВИБОЯХ ЯК РЕЗОНАНСНЕ ЯВИЩЕ

**Мета.** Пошук методики прогнозу первинного і вторинного кроків обвалення покрівлі на основі ідеї про виникнення вихро - хвильового резонансу перед процесом руйнування.

**Методи дослідження.** Аналіз сучасних уявлень про види і характер протікання вихро-хвильових резонансів, лабораторні дослідження резонансних явищ при деформації і руйнуванні гірських порід в об'ємному полі стискаючих напружень (за допомогою установок нерівнокомпонентного тривісного стискання ІФГП НАН України), аналіз натурних спостережень за резонансними явищами на Землі, в гірському масиві.

**Результати дослідження.** Раніше проведені дослідження показали, що будь-яке руйнування гірських порід при зовнішньому впливі є наслідком резонансу. Умовою виникнення резонансу з точки зору фізики є кратність частот коливань, швидкостей і характерних розмірів взаємодіючих об'єктів-резонаторів в загальному гравітаційному чи іншому полі. В роботі показано, що на Землі діє пульсаційно-спіновий резонанс, при якому період (частота) обертання Землі і всіх її структурних елементів навколо власної осі на дев'ятій гармоніці збігається з періодом (частотою) пульсації. Резонанс на пульсаційно-спіновій складовій відбувається на всіх гармоніках і є напівхвильовим, резонанс на вихровій складовій (антирезонанс) відбувається тільки на непарних гармоніках і є хвильовим. Під час ведення гірничих робіт з видобутку корисних копалин обвалення порід покрівлі можливо за участю обох видів резонансу. Первинний крок обвалення компетентного породного шару при веденні очисних робіт дорівнює довжині хвилі власних (поперечних) коливань і становить дев'ять його потужностей. Вторинний крок дорівнює довжині хвилі на дев'ятій гармоніці. У слабких породних шарах резонанс можливий на хвилі пульсації і крок обвалення кратний півдовжині хвилі.

**Наукова новизна.** Первинне і вторинне обвалення покрівлі в очисних виробках шахт є резонансними явищами. Крок первинної і вторинної посадки є результатом пульсаційно-спінового резонансу або резонансу чисто пульсаційного та визначається в основному потужністю породних шарів і кратністю її довжині (півдовжині) хвилі і різкістю контакту між шарами.

**Практична значимість.** Дано рекомендації щодо визначення кроку первинної і вторинної посадки покрівлі в залежності від потужності шарів покрівлі та різкості контакту між ними для конкретних гірничо-геологічних умов відробки вугільних пластів.

**Ключові слова:** пульсація, вихро-хвильовий резонанс, власні коливання, гармоніка, породний шар, очисний вибій.

**Рязанцев Микола Олександрович** - доцент, кандидат технічних наук, доцент каф. управління гірничим виробництвом Навчально-науковий індустріальний інститут Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2; 85300, Україна).

E-mail: [mykola.riazantsev@ii.donntu.edu.ua](mailto:mykola.riazantsev@ii.donntu.edu.ua)

**Носач Олександр Костянтинівич** - доцент, кандидат технічних наук, професор каф. управління гірничим виробництвом Навчально-науковий індустріальний інститут Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет», (м. Покровськ, пл. Шибанкова, 2; 85300, Україна).

E-mail: [oleksandr.nosach@ii.donntu.edu.ua](mailto:oleksandr.nosach@ii.donntu.edu.ua)

**Рязанцев Антон Миколайович** - інженер-конструктор, Красноармійський завод промислового обладнання, (м. Покровськ, вул. Нахімова, 82; 85300, Україна).

E-mail: [anton.riazantsev@ii.donntu.edu.ua](mailto:anton.riazantsev@ii.donntu.edu.ua)

### PRIMARY DESTRUCTION OF ROOF ROCKS IN WORKING FACES AS A RESONANCE PHENOMENON

**Purpose.** Methodology search for predicting the primary and secondary steps of roof collapse based on the idea of the origin of a vortex - wave resonance before the destruction process.

**Research Methods.** Analysis of modern ideas about the types and the nature of the occurrence of vortex-wave resonances, laboratory studies of resonance phenomena during deformation and destruction of rocks in a volume field of compressive stresses (using the installation of non-component three-axis compression IFGP NAS of Ukraine), analysis of field observations of resonance phenomena on the Earth, in a rock massif.

**The results of the study.** Previous studies have shown that any destruction of rocks during external influence is a consequence of resonance. The condition for the appearance of resonance from the point of view of physics is the multiplicity of vibration frequencies, velocities, and characteristic sizes of interacting objects- resonators in a common gravitational or other field. It is shown that on the Earth a pulsation-spin resonance acts, during which the period (frequency) of the rotation of the Earth and all its structural elements around its own axis at the ninth harmonic coincides with the period (frequency) of the pulsation. The resonance at the pulsating component occurs at all harmonics and is half-wave, the resonance at the vortex component (anti-resonance) occurs only at odd harmonics and is wave. In the course of mining operations, collapse of roofing rocks is possible with the participation of both types of resonance. The primary collapse step of a competent rock layer during coal-face works is equal to the wavelength of its own (transverse) vibrations and contains nine of its powers. The secondary step is equal to the wavelength at the ninth harmonic. In poor rock layers, resonance is possible on a ripple wave and the collapse step is a multiple of the half-wavelength.

**Scientific novelty.** The primary and secondary roof collapse in the working faces are resonant phenomena. The step of the primary and secondary landing is the result of pulsation-spin resonance or purely pulsation resonance, and is determined mainly by the thickness of the rock layers and the multiplicity of its wavelength (half-length) wave and the sharpness of the contact between the layers.

**Practical significance.** Recommendations are given to determine the step of the primary and secondary landing of the roof depending on the thickness of the roof layers and the sharpness of contact between them for specific mining and geological conditions of mining of the coal seams.

**Keywords:** pulsation, vortex-wave resonance, natural vibrations, harmonic, rock layer, working face.

**Ryazantsev Nikolay Aleksandrovich** - Associate Professor, Ph.D., Associate Professor of the department mining management Educational Scientific Industrial Institute State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University", (Pokrovsk, pl. Shibankova, 2; 85300, Ukraine).

E-mail: [mykola.riazantsev@ii.donntu.edu.ua](mailto:mykola.riazantsev@ii.donntu.edu.ua)

**Nosach Alexander Konstantinovich** - Associate Professor, Ph.D., Professor of the department mining management Educational Scientific Industrial Institute State Higher Educational Institution "Donetsk National Technical University", (Pokrovsk, pl. Shibankova, 2; 85300, Ukraine).

E-mail: [oleksandr.nosach@ii.donntu.edu.ua](mailto:oleksandr.nosach@ii.donntu.edu.ua)

**Ryazantsev Anton Nikolaevich** - design engineer, Krasnoarmeysky factory of industrial equipment, (Pokrovsk, st. Nakhimova, 82; 85300, Ukraine).

E-mail: [anton.riazantsev@ii.donntu.edu.ua](mailto:anton.riazantsev@ii.donntu.edu.ua)