

УДК 622.8:550.3

## ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СЕЙСМИЧЕСКИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НАД ОЧИСТНОЙ ВЫРАБОТКОЙ

**Трифонов А. С., Туманов В. В., Буждежан А. В.**  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Розглянуто особливості геомеханічних процесів у основній покрівлі над очисною виробкою та інформаційні показники сейсмічної емісії щодо формування і розвитку геодинамічної ситуації.*

*Geomechanical processes that occur in the main roof of production working and seismic emission data are considered in relation to the formation and development of geodynamic situation.*

Энергетическая масштабность геомеханических преобразований в породной толще над очистной выработкой является определяющей в формировании геодинамически опасных ситуаций в призабойной области угольного пласта. Величина напряжений в этих условиях, помимо гравитационной составляющей ( $\gamma H$ ), в основном, обусловлена протяженностью консольных образований пород основной кровли. Консольные части менее прочных нижележащих пород обрушаются раньше консоли основной кровли и за счет близости плоскости обрушения к призабойной части пласта определяют передачу нагрузки от консоли основной кровли на локальную область призабойной части [1–2]. Эта область концентрации напряжений в момент обрыва основной консоли испытывает дополнительное и весьма значительное динамическое воздействие, которого может оказаться достаточно для повреждения структуры угля с высвобождением метана (пре-

имущественно адсорбированного на стенках пор и находящимся в поровом пространстве).

Образовавшаяся локальная область перемятого угля в призабойной части пласта со свободным метаном под большим (значительно больше  $\gamma H$ ) давлением может быть герметично изолированной со стороны очистного забоя частично структурно нарушенным (консолью непосредственной кровли) углем и сохранять какое-то время состояние повышенной энергонасыщенности. С приближением очистного забоя это состояние может проявиться в виде отжима (выдвигание) призабойной части пласта или выбросом газонасыщенной угольной смеси.

Признаками формирования такой геодинамически опасной ситуации могут быть определенные показатели сейсмических проявлений трещинообразования в консольных образованиях основной кровли. Сама по себе сейсмическая эмиссия не может являться достаточным признаком опасного развития геомеханической ситуации, даже при значительном изменении ее интенсивности во времени, поскольку трещинообразование происходит во всей породной толще над угольным пластом, в которой достаточно геомеханически незначимых (малой мощности и слабыми прочностными показателями) породных структур. К тому же «фоновая» эмиссия может дополняться растрескиванием краевой части угольного пласта в очистном забое под воздействием непосредственной кровли, в силу своей мощности и прочностных показателей заметно не влияющей на напряжения в пласте. При этом вариация эмиссии во времени может определяться различными факторами (тектонические, литологические и другие особенности породной толщи), не отражающими непосредственно геомеханического состояния основной кровли. По всей видимости, эта неоднозначность присутствует в ныне практикуемом сейсмопрогнозе газодинамических явлений, основанном именно на количественных показателях событий сейсмической эмиссии (надежность прогноза «опасно» по экспертной оценке [3] порядка 30 %).

Исходным и наиболее важным условием при изучении особенностей сейсмической эмиссии представляется достаточное качество сейсмической информации, которое нереально при приеме

эмиссии в шахтных условиях вблизи очистной выработки. Современное добычное оборудование является источником весьма мощных сейсмических помех с рассредоточением по всей протяженности очистного забоя источников их одновременной генерации (угольный комбайн и скребковый конвейер с их приводами, маслостанция и др.). Значительное энергетическое превосходство этих помех над сигналами сейсмической эмиссии определяет ограничения возможностей сейсмопрогноза.

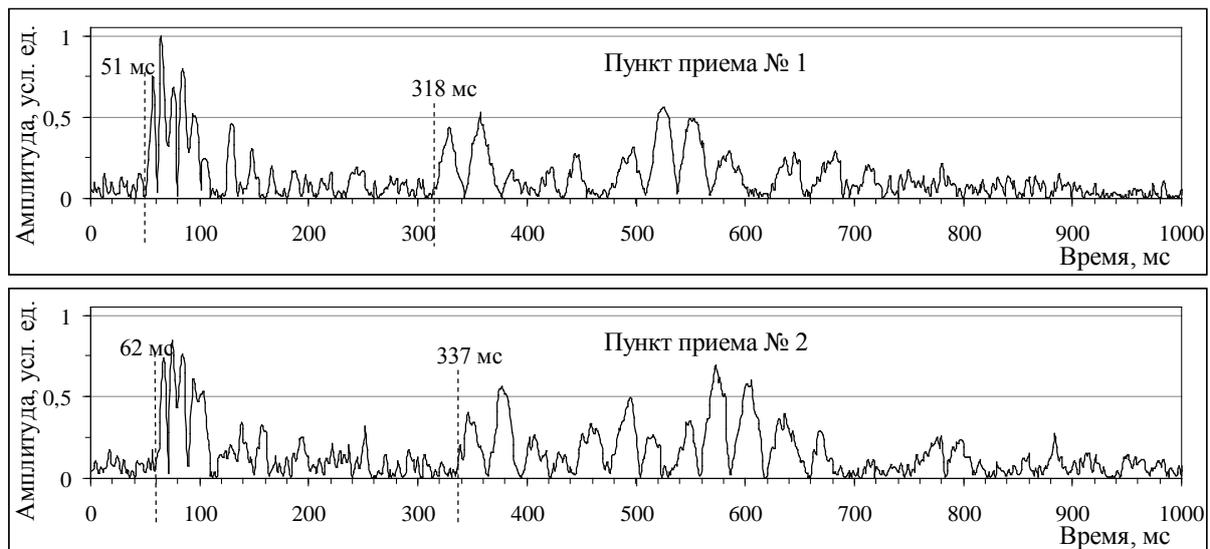
Наиболее реальным вариантом получения качественной сейсмической информации представляется расположение пунктов приема как можно дальше от источников помех и в досягаемости сигналов от источника сейсмической эмиссии. С учетом определенной низкочастотности (десятки Гц) полезных сигналов эмиссии, а соответственно, умеренности их затухания с расстоянием, представляется возможным размещение пунктов приема сигналов вблизи земной поверхности. В этом случае удаленность источника помех может быть достаточной для эффективного их подавления самим горным массивом при сохранении достаточного уровня полезного сигнала для его качественного приема.

Продуктивность такого подхода подтверждается результатами исследований по разработке технологии сейсмической диагностики геомеханического состояния горного массива над очистной выработкой, которые проводились на шахтном поле ПАТ Ш/У «Покровское» над 5-ой южной лавой блока № 10 (угольный пласт  $d_4$  на глубине  $\sim 800$  м).

В общем виде прием осуществлялся в двух разнесенных на 50 м пунктах с расположением их по направлению движения очистного забоя и с установкой сейсмоприемников (специально разработанные скважинные сейсмоприемники с точечным группированием трех сейсмопреобразователей GS-20DX и встроенным предварительным усилителем) в забоях полутораметровых скважин.

Примеры волновых картин сигналов сейсмической эмиссии показаны на рисунке 1 в виде абсолютных значений амплитуд для двух пунктов приема и двух сейсмических событий с разницей их регистрации во времени  $\sim 10$  минут (временная шкала не отражает временной привязки возникновения сигнала).

### Сейсмическое событие А



### Сейсмической событие В

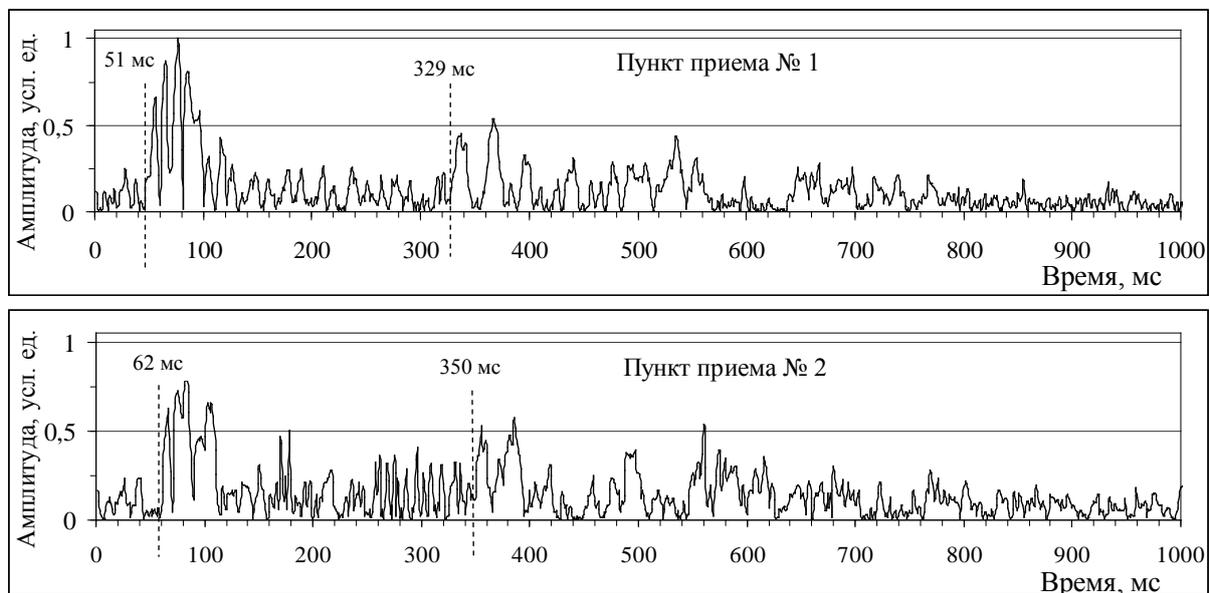


Рис. 1. Пример волновой структуры сигналов сейсмической эмиссии над очистной выработкой для двух пунктов приема и двух сейсмических событий

Общим для этих событий является первоначальное возникновение относительно высокочастотного (см. спектры на рисунке 2) импульса эмиссии, по-видимому, формируемого локальной трещиной в области защемления консольной структуры, и последующее (через 250–300 мс) проявление собственных изгибных колебаний консольной части породной структуры. Столь значительное запаздывание этих колебаний (неподходящих по

скоростным показателям для поперечных волн) может определяться инерционностью значительной по массе породной консоли. Концентрация энергии этого сигнала в достаточно узкой частотной области (на рисунке 2 график б) с выраженным экстремумом также указывает на наличие структур с проявлением собственных изгибных колебаний.

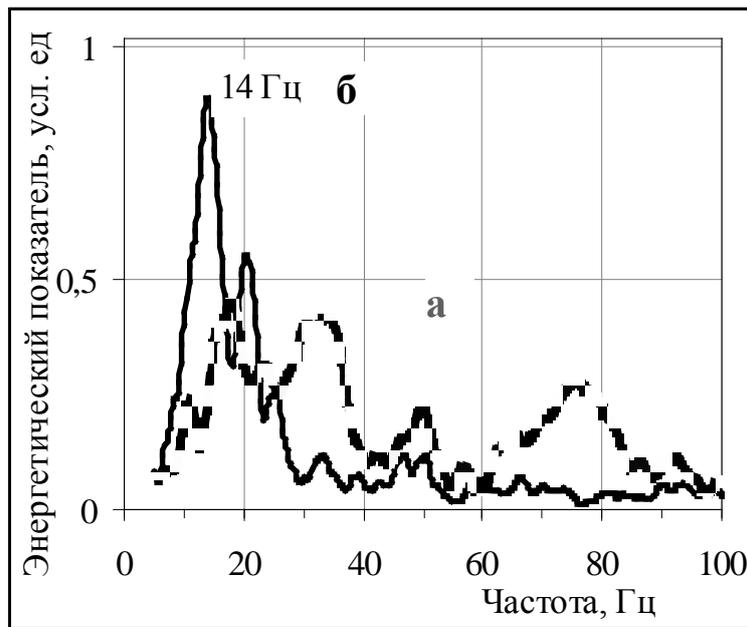


Рис. 2. Спектры предшествующего высокочастотного (а) и последующего низкочастотного (б) сейсмических событий

В общем случае проявление сейсмической эмиссии над очистной выработкой представляется достаточно хаотичным во времени при значительной изменчивости амплитуд сигналов. Показанный на рисунке 3 фрагмент сейсмической записи в абсолютных значениях амплитуд с осреднением по 400 значениям (при частоте дискретизации записи 2 кГц) иллюстрирует преимущественно количественное изменение эмиссии во времени, но ее оценка применительно к степени геомеханической активности может быть достаточно умозрительной и субъективной.

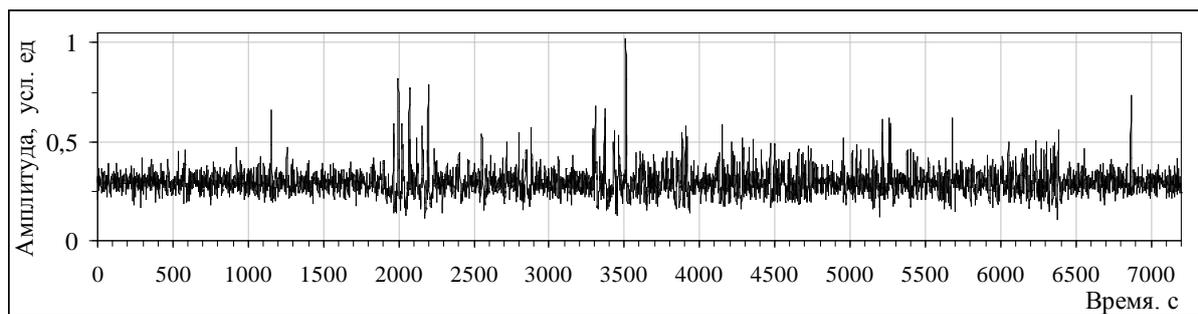


Рис. 3. Фрагмент записи сейсмической эмиссии в представлении абсолютных значений амплитуд и осреднения по 400 значениям (частота дискретизации 2 кГц) с нормированием по максимальному значению амплитуды в выборке

На рисунке 4 эмиссионная активность массива представлена в виде изменения во времени ее энергетических показателей в определенных частотных диапазонах. В этом случае энергетический показатель является обобщенной оценкой соответствующего частотного диапазона спектра для интервала записи в 1 с (используемая временная выборка для расчета спектра).

Такое представление сейсмической эмиссии указывает на энергетическое превалирование сейсмических событий в частотном диапазоне 5–10 Гц, причем реальные значения энергетических показателей на частотах ниже 10 Гц могут быть значительно (в разы) больше, поскольку у используемых сейсмопреобразователей GS-20DX амплитудно-частотная характеристика спадает именно с 10 Гц (порядка 20 дБ на октаву).

Величина частотного диапазона 5 Гц для исследования энергетических особенностей эмиссии выбрана с учетом достаточной детализации спектральной информации при сосредоточенности основной энергии эмиссии в узкой частотной области – 5–25 Гц.

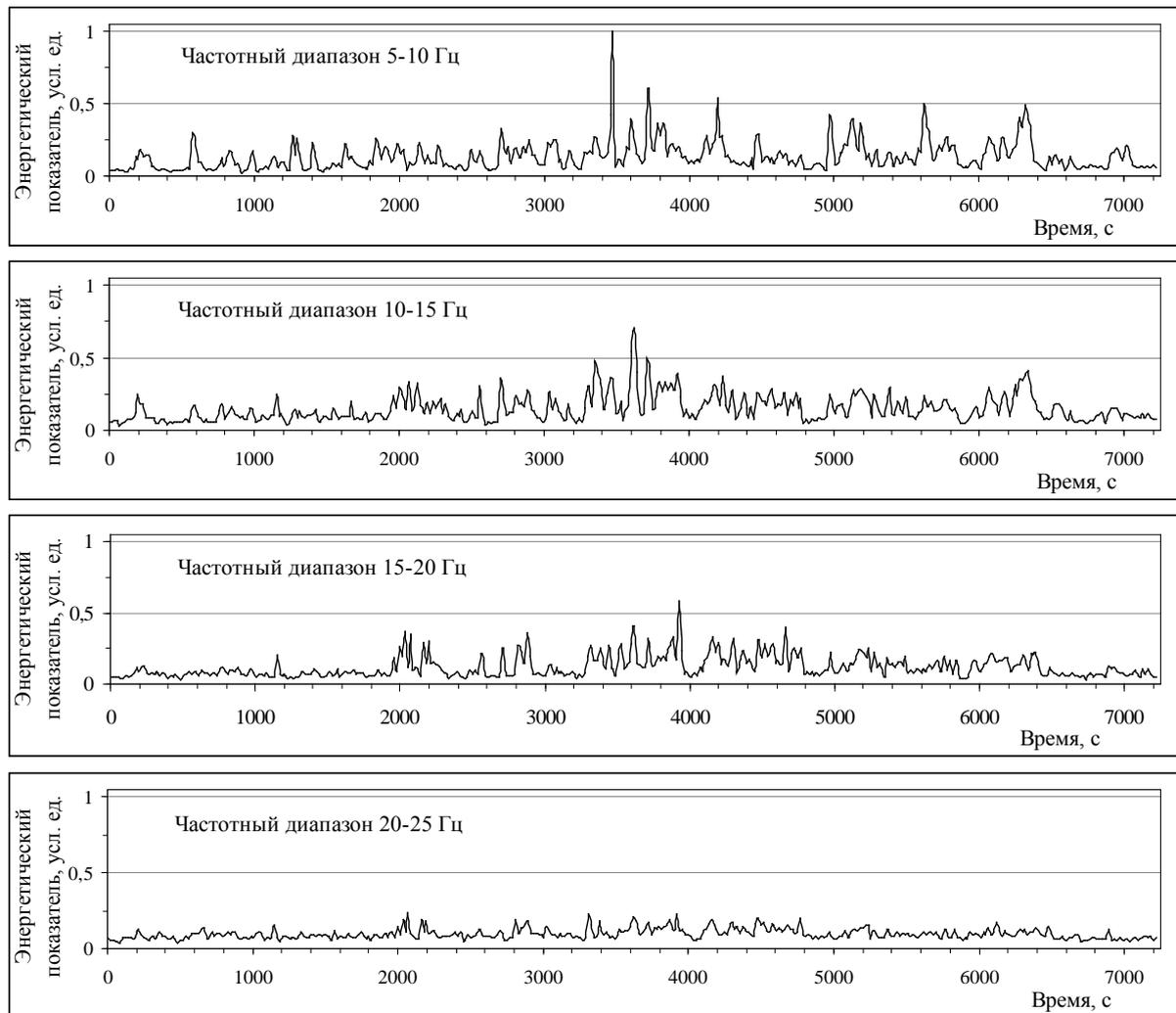


Рис. 4. Вариация во времени энергетических показателей сейсмической эмиссии в частотных диапазонах

При определенных различиях вариации во времени эмиссии на различных частотах прослеживается корреляция некоторого энергетического возрастания во временном интервале 3200–4000 с, а в диапазонах 10–15 Гц и 15–20 Гц и на временах около 2000 с прослеживается начало активизации эмиссии.

Более наглядное развитие процесса активизации эмиссии во времени представлено на рисунке 5 по двум пунктам приема с осреднением энергетических показателей частотных диапазонов для пяти последовательных значений с дискретностью перемещения интервала осреднения в пять значений и последующим сглаживающим осреднением (по семи значениям).

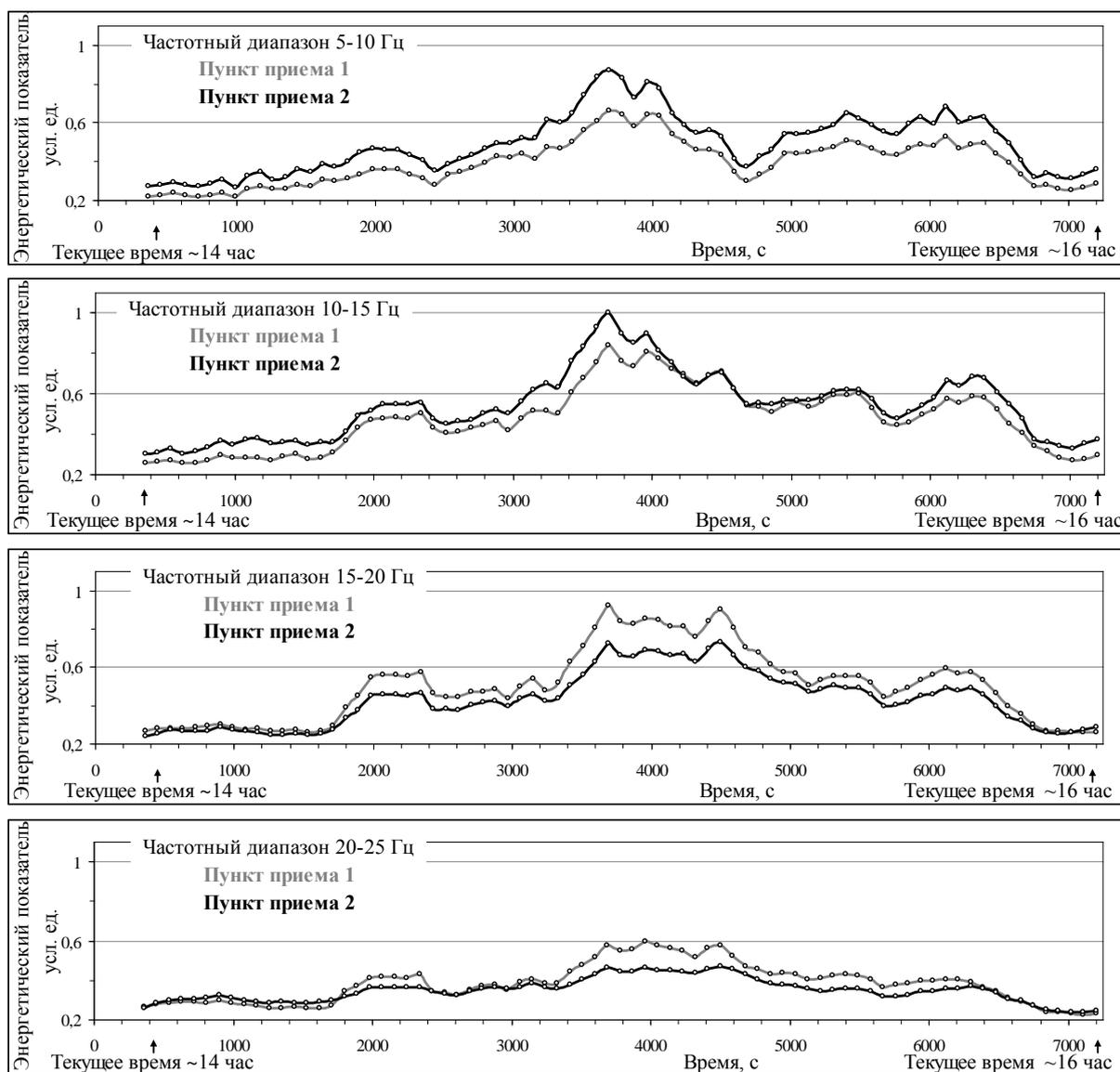


Рис. 5. Характер изменения обобщенных энергетических показателей сейсмической эмиссии во времени в соответствующих частотных диапазонах

Такое представление эмиссии позволяет заметить, что уровень сигнала второго пункта приема для первых двух частотных диапазонов существенно превышает уровень первого пункта, а в более высокочастотных диапазонах (15–20 Гц и 20–25 Гц) ситуация обратная (в рассматриваемом случае пункты приема находятся над выработанным пространством с удаленностью в  $\sim 60$  м и 110 м соответственно второго и первого пунктов от проекции линии очистного забоя на земную поверхность). По всей видимо-

сти, это обстоятельство отражает проявление эмиссии в различных породных структурах, которые становятся более заметны при обобщении энергетических показателей по пятидесяти последовательным значениям. В показанных на рисунке 6 графиках такого обобщения для обоих пунктов приема очевидное группирование энергетических показателей определенных последовательных частотных диапазонов (три энергетически выраженные группы) указывает на достаточно существенное отличие прочностных характеристик соответствующих этим группам породных образований. Энергетически менее выраженные показатели, очевидно, соответствуют эмиссии в менее прочных и менее мощных породных слоях, у которых консольные части короче в сравнении с более прочными породными образованиями, а частоты собственных изгибных колебаний, соответственно, выше.

По-видимому, в рассматриваемом случае нижележащие породные структуры постепенным отрывом своих консольных частей от основного массива, в определенной мере, ослабляют podpor вышележащей консоли, а динамическим воздействием инициируют в ней колебательные процессы с развитием трещинообразования.

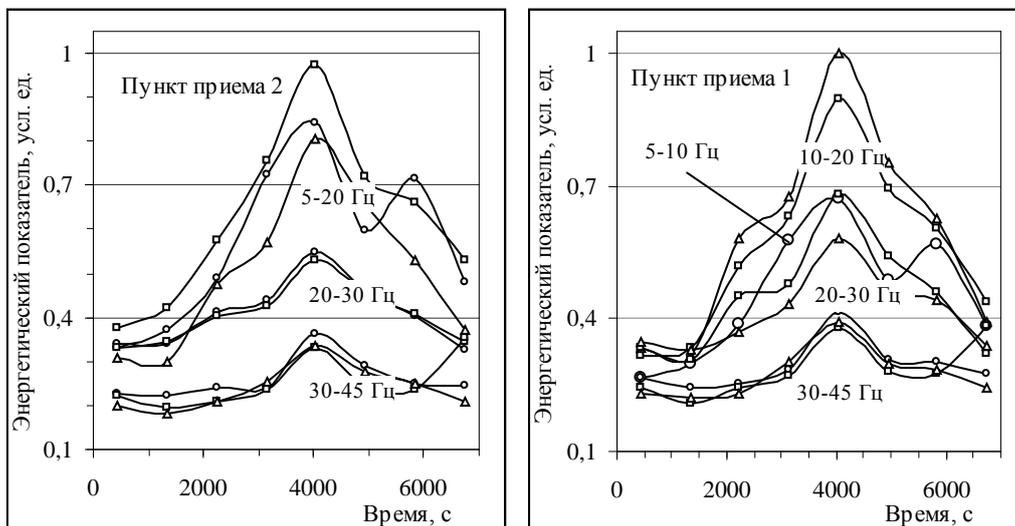


Рис. 6. Характер изменения во времени энергетических показателей сейсмической эмиссии при их обобщении по 50-ти значениям

Показателем развития событий в такой последовательности могут служить временные различия активизации трещинообразования по определенным частотным диапазонам. Характеристикой такой активизации является пространственное развитие трещинообразования с соответствующим пространственным перемещением гипоцентра эмиссии. О таком перемещении может свидетельствовать изменение во времени соотношения значений энергетических показателей эмиссии для двух пунктов приема. Убывание значения энергетического показателя для одного пункта приема при одновременном его возрастании для другого, очевидно, возможно только при перемещении гипоцентра источника сейсмических событий (вершины трещины) от первого пункта ко второму.

Вариации соотношений энергетических показателей двух пунктов приема для частотных диапазонов показаны на рисунке 7 и свидетельствуют о значительной протяженности развития трещинообразования, которое, с учетом диапазона изменения соотношения показателей (20–30 %), расстояния между пунктами приема (50 м) и их примерном расположении по направлению подвигания очистного забоя, может достигать десятков метров.

Достаточно быстрое и значительное изменение соотношения энергетических показателей в некоторых временных интервалах (1700–2000 мс на графике для частотного диапазона 10–15 Гц и 2300–4200 с для частотного диапазона 5–10 Гц) указывает на преимущественное развитие трещин примерно вдоль направления расположения пунктов приема и локальности областей динамических проявлений в породной толще.

Наиболее энергетически значимыми являются динамическими процессы в породных структурах с частотным диапазоном собственных изгибных колебаний 5–10 Гц во временных интервалах с резкими миграциями гипоцентров сейсмических событий (~ 2300–2600 с и 3000–4200 с). Отсутствие предваряющих признаков возникновения масштабного трещинообразования в этом частотном диапазоне может являться свидетельством пребывания в состоянии предельной устойчивости протяженного консольного образования, а толчком к возникновению в нем трещин отрыва, по всей видимости, является активизация трещинообразования в по-

родных структурах с частотами изгибных колебаний 10–15 Гц и 20–25 Гц (см. рис. 7, а).

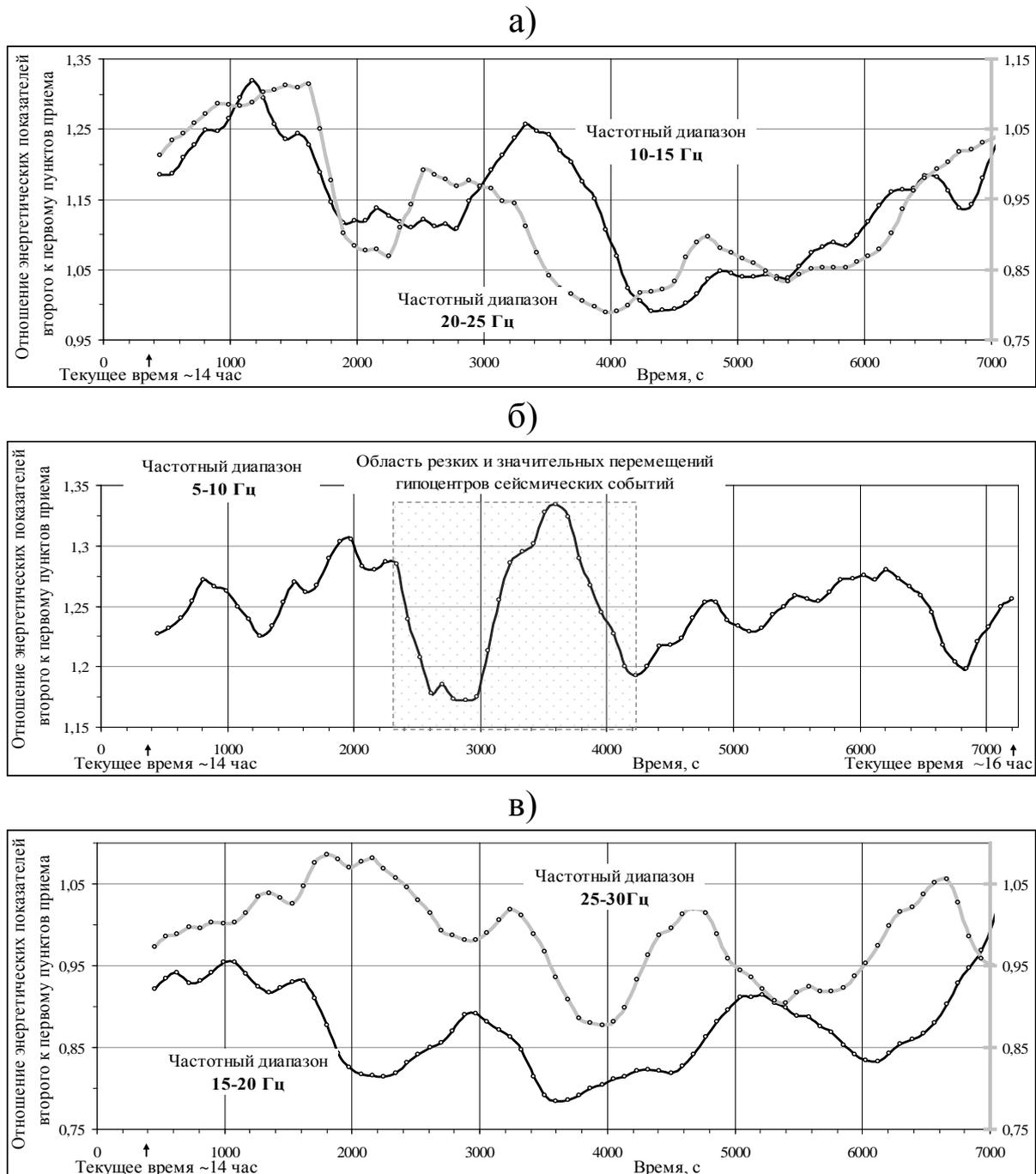


Рис. 7. Изменение во времени соотношения энергетических показателей двух пунктов приема в частотных диапазонах: 10–15 Гц и 20–25 Гц (а), 5–10 Гц (б), 15–20 Гц и 25–30 Гц (в)

В этих частотных диапазонах резкие перемещения гипоцентров начинаются за  $\sim 15$  минут то возникновения таких перемещений в диапазоне 5–10 Гц (см. рис. 7, б). Примерно в это же время миграция гипоцентров также начинаются и в диапазоне 15–20 Гц (см. рис. 7, в), но они гораздо менее значительны и в начальном проявлении происходят в противоположном направлении, чем в диапазонах 10–15 Гц и 20–25 Гц (поскольку в диапазоне 15–20 Гц уровень сейсмического сигнала первого пункта приема превышает уровень сигнала второго пункта).

В еще более высокочастотном диапазоне 25–30 Гц (см. рис. 7, в) миграция гипоцентров также незначительна и, возможно, в этом случае трещинообразование развивается в направлении примерной равно удаленности от пунктов приема. Это не исключает возможную информативность этого диапазона, а возможно и более высокочастотных диапазонов в других горно-геологических условиях.

В целом энергетические показатели сейсмических проявлений в породной толще над очистной выработкой с их детализацией по частотным диапазонам представляются достаточно информативно насыщенными в отношении особенностей формирования и развития геомеханических процессов.

Возможность формализованного расчета этих диагностически информативных показателей сейсмической эмиссии определяет объективность оценки состояния горного массива как в отношении идентификации признаков формирования геодинамически опасных ситуаций, так и в отношении оценки пространственной масштабности возможных геомеханических трансформаций.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Сейсмические проявления геодинамических процессов над очистной выработкой / А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов, Я. М. Юфа, А. И. Архипенко // Наук. пр. УкрНДМІ НАН України : зб. наук. пр. — Донецьк, 2008. — № 2. — С. 83—89.
2. Спосіб сейсмічної діагностики гірського масиву над очисною виробкою [Текст] : Патент на корисну модель № 86243 Укра-

їна, МПК G01V 1/28 (2006.01) / Трифонов О. С., Туманов В. В., Архипенко А. І.; власник УкрНДМІ НАН України. — № u2013 06399; Заявлено 23.05.2013; Опубл. 25.12.2013, Бюл. № 24. — 4 с.

3. Блеск и нищета прогнозирования / Б. М. Деглин // «Уголь Украины», № 10 (574), октябрь 2004 г.