

Последовательность взрывания шпуровых зарядов ВВ

№ шпуров на схеме	Диаметр окружностей, м	Тип электродетонатора	Время срабатывания (по номиналу), мс	Фактическое время срабатывания, мс
1...4	2,0	ДЭМ-0Z	0	0...4
5...12	3,0	ДЭМ-2Z	50	46...50
13...28	4,2	ДЭМ-4Z	100	92...100
29...48	6,0	ДЭМ-6Z	150	138...150
49...76	7,4	ДЭМ-9Z	225	207...250
77...90	7,6	ДЭМ-9Z	225	207...250

В процессе проходки ствола достигнуто уменьшение среднего времени цикла примерно на 3 часа, несмотря на увеличивающуюся его глубину, прежде всего за счет увеличения среднего значения величины заходки и соответственно КИШ до величины близкой к единице.

Высокие темпы строительства ствола – один из главных факторов снижения продолжительности и стоимости сооружения всего шахтного комплекса и потому разработанные безопасные и эффективные параметры производства взрывных работ в вертикальных шахтных стволах имеют несомненную практическую значимость.

## Список литературы

1. Барон Л.И., Личели Г.П. Трещиноватость горных пород при взрывной отбойке. – М. Недра, 1966. – 135 с.
2. Александров В.Е., Шевцов Н.Р., Вайнштейн Б.И. Безопасность взрывных работ в угольных шахтах. – М.: Недра, 1986. – 150 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 13.02.2002 р.

УДК 622.281.76

622.831:622.281.76

А.Н. Шашенко, В.И. Янко, Р.Н. Терещук

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОДНОРОДНОГО ПОРОДНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ВЫРАБОТКИ, ЗАКРЕПЛЕННОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПЬЮ

Розглянуто один із аналітичних способів вирішення граничної задачі про напружено-деформований стан гірського масиву в околі виробки. Наведено результати моделювання виробок, закріплених анкерним кріпленням.

Рассмотрен один из аналитических способов решения граничной задачи о напряженно-деформированном состоянии породного массива в окрестности выработки. Приведены результаты моделирования выработок, закрепленных анкерной крепью.

One of analytical ways of solving a boundary task on the stressed-deformed state of a rock massif in a vicinity of mine is considered. The results of modeling mining-workings reinforced with anchor-support are shown.

Постоянное увеличение глубины ведения горных работ, протяженности поддерживаемых выработок, отработка пластов, находящихся в сложных горно-геологических условиях, существенно ухудшило условия поддержания выработок в эксплуатационном состоянии. Применяемые конструкции крепей, в основном полнорно-ограждающего типа, в настоящее время не в состоянии обеспечить достаточную устойчивость выработок. Об этом свидетельствуют все увеличивающиеся затраты на ремонт и поддержание выработок, с одновременным увеличением доли применения металлической крепи (в первую очередь – тяжелых профилей). Как показывает анализ средств и способов повышения устойчивости выработок, наибольший эффект, в сложившихся условиях, дают мероприятия и крепи, направленные на сохранение целостности окружающего выработку массива и исполь-

зование его несущей способности. Одним из таких средств является анкерная крепь. Основная задача при этом состоит в правильности выбора ее параметров: плотности установки и их длины.

Обоснование параметров анкерной крепи выполняется на основе изучения закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) приконтурного массива пород и сводится к определению ожидаемых смещений породного контура выработки, что предопределяет соответствующие величины длины и плотности установки анкеров.

Для решения поставленной задачи удобно использовать численные методы механики деформируемого твердого тела. Они обладают наибольшей общностью при описании механических процессов в породных массивах и конструкциях, так как свободны от

влияния частных факторов, отражающих специфику горнотехнической ситуации. Эти методы также позволяют исследовать механические процессы в более широком диапазоне, т.е. дают возможность не только качественно, но и количественно прогнозировать результаты проявления горного давления.

Математическая модель, моделирующая состояние породы в окрестности местных нарушений сплошности (будь то естественные или искусственные причины), должна отображать основные явления, возникающие вследствие возникновения концентрации напряжений и возможного сопутствующего изменения физико-механических свойств окружающего материала.

В качестве способа решения граничной задачи о НДС массива в окрестности выработки используется метод конечных элементов (МКЭ). В настоящее время существует множество пакетов прикладных программ (ППП), позволяющих реализовать МКЭ. Одним из наиболее удачных пакетов для оценки НДС в окрестности выработки является ППП Cosmos/M.

Процедура решения реализована в виде последовательности итераций. На первом этапе предполагается, что окружающий выработку массив является полностью упругим. Задаются его физико-механические параметры: модуль Юнга  $E = 9 \cdot 10^4$  кгс/см<sup>2</sup>, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,23$ , предел прочности на сжатие  $R_c = 400$  кгс/см<sup>2</sup>, предел прочности на растяжение  $R_p = 40$  кгс/см<sup>2</sup>, объемный вес  $\gamma = 0,26 \cdot 10^3$  кгс/см<sup>3</sup>. Затем с использованием вышеуказанного ППП решается линейная статическая задача теории упругости и определяется НДС для данного этапа.

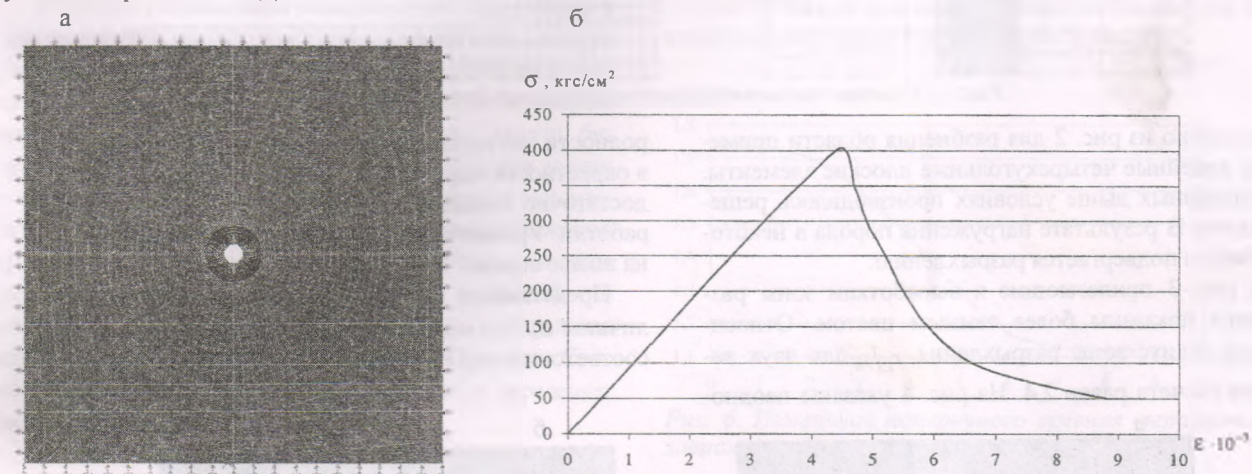


Рис. 1. Пробная задача - определение области неупругих деформаций в окрестности одиночной круглой выработки: а - визуализация конечного результата; б - диаграмма «напряжения-деформации»

После этого процедура решения повторяется. Но для данной и последующих итераций используется не линейный статический (STAR), а нелинейный (NSTAR) модуль ППП Cosmos/M. С использованием вышеупомянутого командного файла видоизменяется база данных ППП Cosmos/M и производится новое решение задачи, в процессе которого опять определяются те элементы, для которых выполняется условие  $\sigma_e > R_c$ ; в них задается ниспадающий участок диаграммы деформирования и т.п. Когда на некоторой итерации не возникает более новый (дополнительный) набор элементов, в которых эффек-

Полученное НДС используется для определения границы области разрыхления на данной итерации. При этом, необходимо иметь критерий разрушения, определяемый равенством  $\sigma_e = R_c$ . В работе [1] предложено соотношение, в котором учитывается максимальное и минимальное главные напряжения. Для эквивалентного напряжения при этом получено следующее выражение:

$$\sigma_e = \frac{1}{\psi} \left[ (1+\psi) \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - \sqrt{(1+\psi)^2 \left( \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \right)^2 - 4\psi \left( \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \right)^2} \right], \quad (1)$$

где  $\psi = R_p/R_c$  - величина отношения предела прочности на растяжение к пределу прочности на сжатие;  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  - главные значения тензора напряжений.

После того, как первое приближение к геометрическим параметрам области разрыхления найдено, необходимо изменить исходные параметры задачи для последующего решения на второй итерации. С этой целью формируется командный файл для ППП. Специальная программа, написанная на языке программирования C++, сканирует базу данных Cosmos/M и определяет зону разрыхления (т.е. те элементы, для которых на данном этапе решения получено  $\sigma_e > R_c$ ). Для этих элементов видоизменяются свойства материала. Именно, вместо закона Гука для соотношений связи «напряжения-деформации» задается ниспадающий участок диаграммы рис. 1, б, на котором напряжения достигают своего предельного значения.

тивные напряжения превышают предел прочности на сжатие, процесс определения зоны разрыхления считается законченным.

С целью верификации поставленной проблемы была решена следующая задача. Выработка в виде круглого отверстия подвергается гидростатическому давлению. Механические параметры окружающей горной породы приняты теми же, что и выше. Ввиду наличия зоны концентрации напряжений некоторая прилегающая к выработке часть породы переходит в состояние разрыхления.

На рис. 1, а в результате работы постпроцессора ППП Cosmos/M показана визуализация конечных результатов, полученных на основании вышеизложенной процедуры численных расчетов. Область, где диаграмма деформирования задается ее ниспадающей ветвью, показана на рис. 1, а более темным цветом. Эта область является зоной разрыхления. В соответствии с решением задачи, ее радиус  $r_L$ , отнесенный к радиусу выработки  $r_0$ , равен  $r_L/r_0 = 2,8$ . Сходимость была достигнута на второй итерации. В работе [2] для этих же условий получено критическое значение отношения  $r_L/r_0$ . Оно составляет 2,68. Таким образом, можно отметить достаточно удовлетворительное совпадение теоретических и численных результатов.

На основании полученных результатов исследовалось НДС горной породы в окрестности подготовительной выработки арочной формы, пройденной в однородном породном массиве. Была решена задача об

определении НДС горного массива и зоны разрыхления в окрестности выработки без подкрепляющих элементов и при наличии анкеров, а также плотности анкеров и их длины. Анкер, т.е. стержень определенной длины и радиусом 1,8 см моделировался линейным стержневым элементом Truss2D ППП Cosmos/M. Модуль Юнга и коэффициент Пуассона материала стержня приняты соответственно  $E = 2 \cdot 10^6$  кгс/мм<sup>2</sup> и  $\nu = 0,35$ .

В ходе расчетов было принято, что выработка расположена на глубине 800 м, что соответствует горному давлению (принятому гидростатическим) примерно 208 кгс/см<sup>2</sup>.

Конечно-элементная реализация расчетных схем (без подкрепляющих элементов и с анкерной крепью) дана на рис. 2. Выработка помещена в центр массива с линейными размерами 100×100 м.

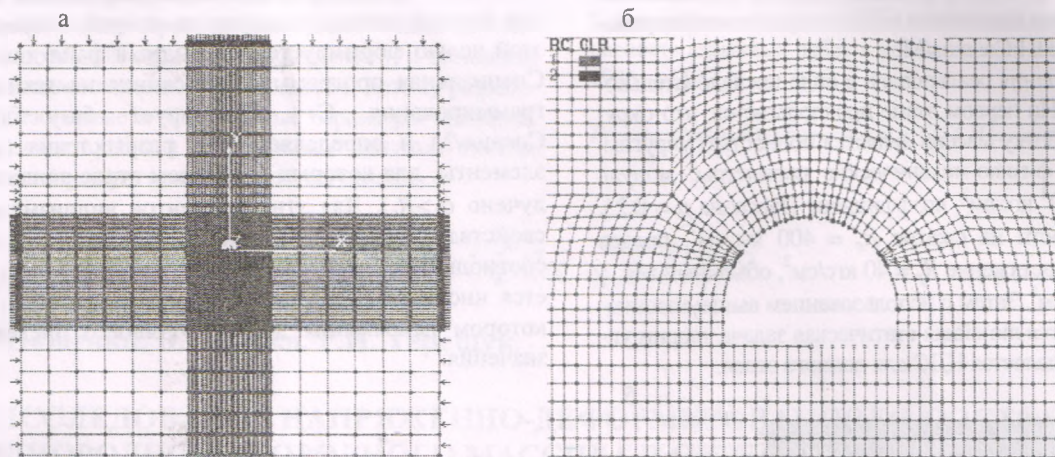


Рис. 2. Конечно-элементная реализация расчетной схемы

Как видно из рис. 2 для разбиения области применялись линейные четырехугольные плоские элементы. При описанных выше условиях производилось решение задачи. В результате нагружения порода в некоторой области подвергается разрыхлению.

На рис. 3 прилегающие к выработкам зоны разрыхления показаны более темным цветом. Относительный радиус зоны разрыхления  $r_L/r_0$  для двух вариантов расчета равен 2,4. На рис. 4 указаны неодно-

родности зон полных перемещений различного уровня в окрестности выработок. Эти перемещения достигают достаточно большой величины на верхнем своде выработки. Уровни перемещений (в сантиметрах) даются на шкале справа.

Представляет интерес картина распределения величины  $\sigma_e/R_c$  в окрестности выработки, построенная в соответствии с (1) и приведенная на рис. 5.

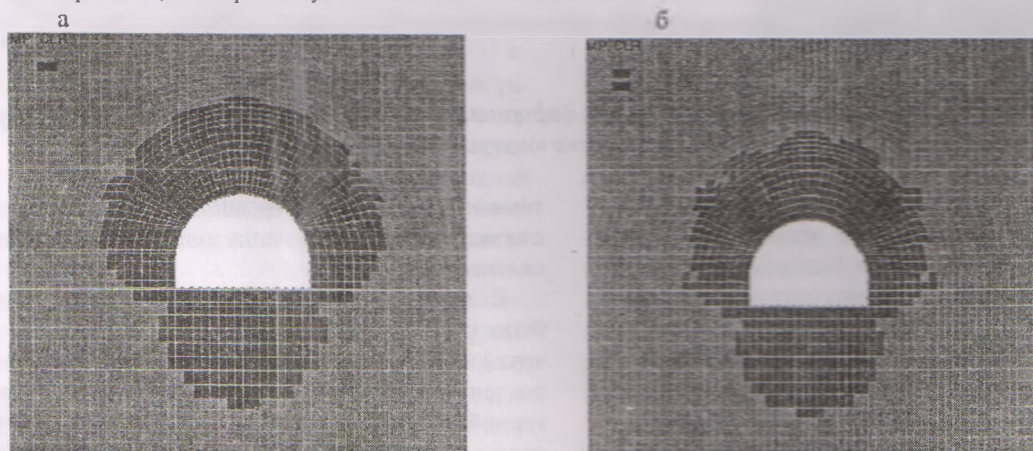


Рис. 3. Прилегающая к выработке зона разрыхления а – без крепи, б – с анкерной крепью

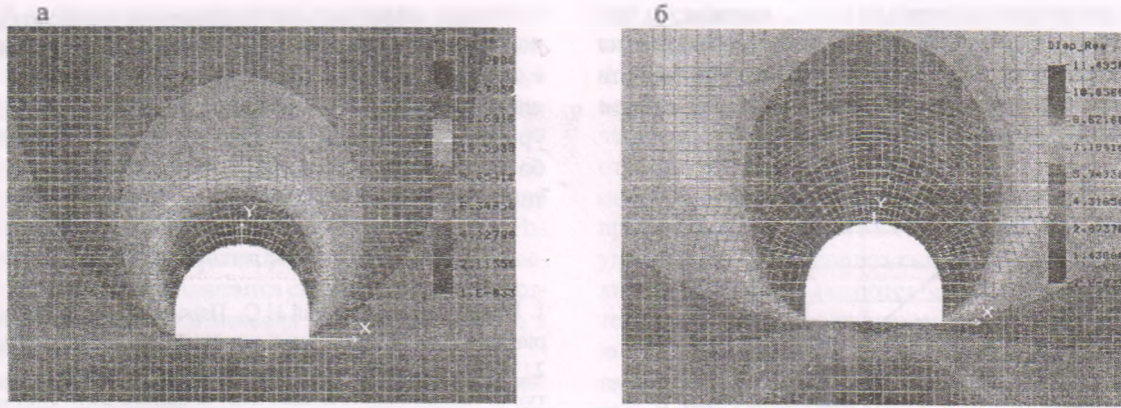


Рис. 4. Картина распределения полных перемещений: а – без крепи; б – с анкерной крепью

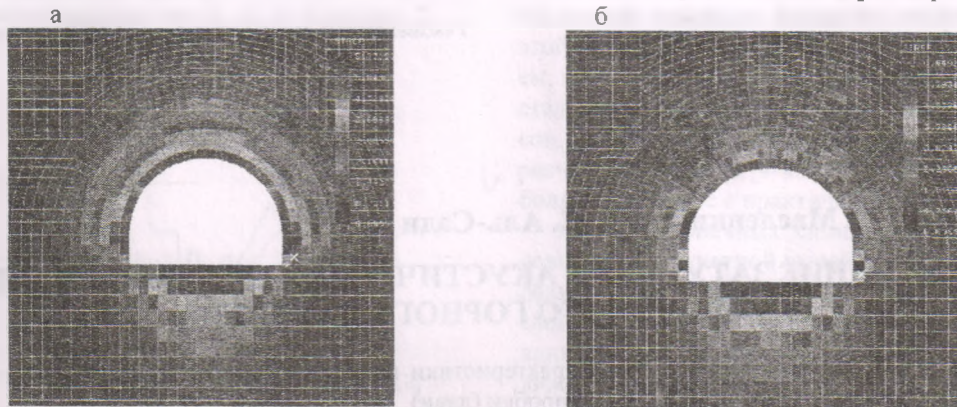


Рис. 5. Картина распределения величины  $\sigma_c/R_c$  в окрестности выработки: а – без крепи; б – с анкерной крепью

Отчетливо видны зоны концентрации напряжений в основаниях боковых стенок и почвы выработки. По мере удаления от них уровень напряжений становится значительно ниже. Величина отношения  $\sigma_c/R_c$  в некотором избранном узле на своде выработки для задачи без подкрепляющих элементов составляет 5,333, для задачи с анкерной крепью – 2,81. На концах анкеров, в массиве, наблюдается незначительная концентрация напряжений (рис. 5, б), что приводит к изменению очертания зоны разрыхления (рис. 3). Для нахождения площадей поперечного сечения выработок разработана специальная программа, написанная на языке программирования С++, которая сканирует базу данных Cosmos/M и определяет искомые величины.

Анализ результатов математического моделирования позволил сделать следующие выводы.

Область повышенных напряжений имеет меньшие размеры при наличии подкрепления в виде анкеров (рис. 5). Величина  $\sigma_c/R_c$  на своде выработки в 1,9 раза меньше при наличии анкеров, чем при их отсутствии.

Радиус зоны разрыхления для всех решенных задач практически одинаков и приблизительно равен 2,4.

Максимальные результирующие перемещения, после нелинейных решений, в 1,47 раза ниже при установке анкеров, как видно из рис. 4.

Вертикальные перемещения замка свода выработки уменьшаются от 16,9 см до 9,1 см при изменении количества анкеров (0–9 шт) и от 16,9 см до 9,2 см при изменении длины анкера (0–3 м) ( $N_a = 7$  анк.).

Деформация анкера по длине составляет 1,14%.

Достаточная плотность установки анкеров находится в пределах 0,8–1,0 шт/м<sup>2</sup> (рис. 6).

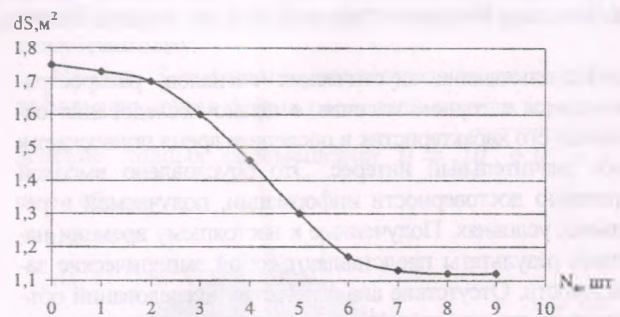


Рис. 6. Изменение поперечного сечения выработки в зависимости от количества анкеров

Рациональная длина анкера находится в пределах 2,3–2,5 м (рис. 7).

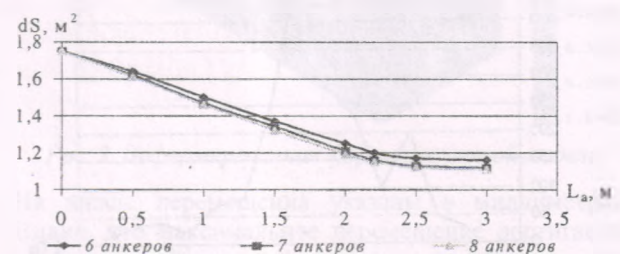


Рис. 7. Изменение поперечного сечения выработки в зависимости от длины анкера

При установке анкеров в боках выработки наблюдается незначительное уменьшение поднятия почвы (рис. 8), но при укреплении только кровли имеет место увеличение пучения, что совпадает с лабораторными результатами.

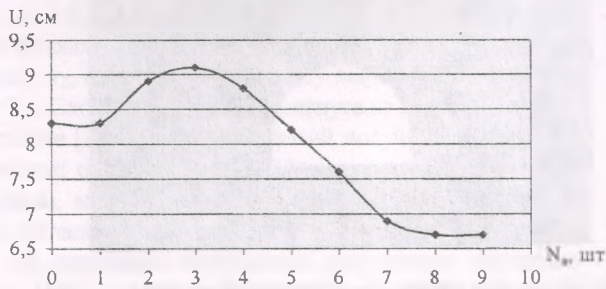


Рис. 8. Зависимость смещения почвы выработки от количества анкеров

Таким образом, при проведении выработки в однородном породном массиве и установке анкерной крепи с параметрами: плотность анкерования 0,8-1,0 шт/м<sup>2</sup>, длина анкеров 2,3-2,5 м, весьма значительно снижается уровень напряжений и перемещений на своде выработки и в почве, что приводит к повышению ее устойчивости.

Список литературы

1. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятности в геомеханике. – К.: Техніка, 1994. – 216 с.
2. Шашенко А.Н. Упругопластическая задача для структурно-неоднородного массива, ослабленного круглой выработкой // Прикладная механика. – 1989. – № 6. – С. 48-54.

Рекомендовано до публікації д.т.н. А.М. Роском 28.02.2002 р.

УДК 622.831 : 534.87

А.Н. Шашенко, Е.В. Масленников, Х. С. Аль-Сади

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ЗОНАХ ПОВЫШЕННОГО ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Експериментально досліджено спектральні характеристики пружних коливань в масиві та на основі МСЕ вивчено напружено-деформований стан очисної виробки (лави).

Експериментально досліджені спектральні характеристики упругих коливань в масиві і на основі МКЕ вивчено напружено-деформоване стан очисної виробки (лави).

The spectrum characteristics of resilient oscillations in the massif are experimentally investigated, and on the basis of Boundary Elements Method (BEM) the stressed deformed state of a clearing mining working is investigated.

Использование акустических сигналов, распространяющихся в горном массиве, с целью исследования основных его характеристик в последнее время привлекает к себе значительный интерес. Это обусловлено высокой степенью достоверности информации, получаемой в реальных условиях. Полученные к настоящему времени научные результаты представляют собой эмпирические зависимости. Отсутствие аналитических исследований объясняется недостаточной изученностью механизма рас-

пространения упругих колебаний применительно к условиям, имеющим место в сложноструктурных напряженных породных массивах.

Экспериментально полученные результаты измерения спектральных характеристик упругих колебаний в массиве, возбужденных рабочим органом добычного комбайна в лаве [2] при различных уровнях напряженного состояния в приконтурной области (задолго и непосредственно перед внезапным выбросом угля и газа) представлены на рис. 1.

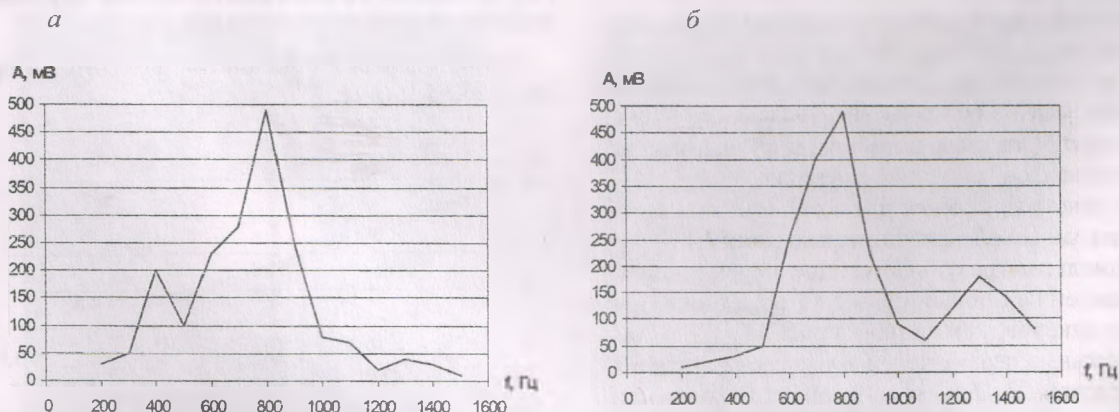


Рис. 1. Спектры акустических сигналов в массиве при работе комбайна: а – в разгруженной зоне; б – при высоких уровнях напряженного состояния массива