

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.64.89.001

УДК 622.833.5

©А. С. Горбачев, А. Ю. Жаровских, В. И. Шилов, Д. А. Шилов, 2026

А. С. ГОРБАЧЕВ

ведущий инженер
ООО МНТЛ «РИВАС», г. Москва
e-mail: info@rivas.ru



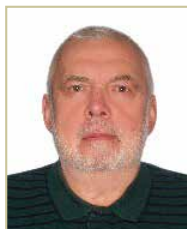
А. Ю. ЖАРОВСКИХ

инженер по сервисному обслуживанию
ООО «РИВАС-Кузбасс», г. Новокузнецк
e-mail: zharovskikhay@mail.ru



В. И. ШИЛОВ

директор по науке
ООО МНТЛ «РИВАС», г. Москва
e-mail: 30shilov@gmail.com



Д. А. ШИЛОВ

инженер по сервисному обслуживанию
ООО «РИВАС-Кузбасс», г. Новокузнецк
e-mail: Shilovdarivas@gmail.com



ДИНАМИКА НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ВПЕРЕДИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород впереди движущегося очистного забоя в угольных шахтах. Целью исследования является выявление закономерностей пространственного распределения относительных напряжений в массиве на основе анализа параметров искусственных акустических сигналов. Исследования выполнены методом акустических зондирований в оконтуривающих выработках очистных забоев на ряде угольных шахт Кузбасса при различных горно-геологических условиях.

Показано, что изменение НДС массива впереди очистного забоя носит выраженный волнообразный характер, при котором зоны повышенных напряжений чередуются с участками локальной разгрузки. Установлено, что локальные максимумы относительных напряжений распространяются на расстояние не менее 1000 м впереди движущегося забоя, при этом до расстояния порядка удвоенной длины очистного забоя их величины возрастают, а затем постепенно уменьшаются. Выявлено существенное влияние мощности обрабатываемого угольного пласта, расстояния очистного забоя от монтажной камеры и положения оконтуривающих

выработок относительно отработанной части пласта на распределение относительных напряжений.

Показана возможность выявления потенциально опасных участков массива по аномальным изменениям параметров акустических сигналов, что подтверждает эффективность применения акустических зондирований для мониторинга НДС массива и автоматизированного прогноза динамических явлений в процессе ведения очистных работ.

Ключевые слова: НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ, МАССИВ ГОРНЫХ ПОРОД, ИСКУССТВЕННЫЙ АКУСТИЧЕСКИЙ СИГНАЛ, АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, КОЭФФИЦИЕНТ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЛНООБРАЗНАЯ ДИНАМИКА, ОКОНТУРИВАЮЩИЕ ВЫРАБОТКИ.

ВВЕДЕНИЕ

Знание напряженно-деформированного состояния (далее — НДС) массива горных пород впереди очистного забоя является важным фактором повышения безопасности ведения горных работ, их планирования, а также обеспечения устойчивости оконтуривающих горных выработок.

В угольных шахтах исследования динамики НДС впереди очистного забоя выполнялись с применением инструментальных методов исследований сдвижения пород впереди забоя. Установлено наличие поднятия пород кровли на определенном расстоянии от очистного забоя, величина которого зависит от ее строения [1]. Показана периодичность метанообильности, связываемая с волнообразным развитием процессов сдвижения горных пород при отработке угольных пластов [2]. Отдельные данные о НДС впереди очистного забоя получены также на основе анализа газовыделения при выемке угля [3].

С конца прошлого столетия для оценки НДС массива горных пород развиваются исследования, основанные на применении искусственных акустических сигналов (далее — ИАС) [4, 5]. При механическом воздействии на массив в каждом слое, ограниченном ослабленными механическими контактами (ОМК), возникают резонансные колебания, собственная частота f_p которых связана с мощностью слоя h соотношением: $f_p = V/h$, где V — частота распространения сдвиговых волн, определенная эмпирически и принимаемая равной 2500 м/с. [6, 7].

Исследования состояния массива горных пород выполняются по параметрам спектра

ИАС с частотой дискретизации 20 Гц, полученного в результате быстрого преобразования Фурье, и последующего вычисления третьоктавного спектра с логарифмической шкалой частот. По спектру определяются: частота спектрального максимум F и соответствующая ей амплитуда A_ϕ , общая энергия $E_{иас}$, частота резонансов f_p и их амплитуда A_p . По третьоктавному спектру вычисляются высокочастотная A_ϕ и низкочастотная A_n амплитудные составляющие (в условных единицах), а также безразмерный коэффициент K , равный их отношению и отражающий изменение относительных напряжений в массиве горных пород [8].

Расстояние h , соответствующее частоте спектрального максимума F , характеризует положение контакта с максимальным ослаблением в разрезе пород, по которому развиты тангенциальные (межслоевые) деформации, а амплитуда A_ϕ отражает относительную степень ослабления данного контакта.

По частоте резонансов f_p вычисляется расстояние до ОКМ, а по их амплитуде A_p — степень ослабления контакта, соответствующая относительной интенсивности межслоевых деформаций. Поскольку деформационные процессы находятся в обратной связи с напряженным состоянием массива, спектр ИАС содержит информацию о напряженно-деформированном состоянии (НДС) массива горных пород. Сопоставления относительных напряжений в двух и более пунктах наблюдений выполняются по величине коэффициента K .

В угле вмещающем массиве ослабленными контактами служат литологические границы,

Таблица 1

Параметры исследованных очистных забоев

Параметры	Очистные забои лав			
	24-59	18-47	50-03	70-10
Мощность угольного пласта, м	2,0	3,0	4,0	4,7
Длина очистного забоя, м	300	300	400	210
Глубина ведения работ, м	510	440	310	520
Мощность песчаника основной кровли, м	До 20	До 20	До 30	До 21

а также границы сред, формирующиеся в средней части прогибания породных толщ вследствие тангенциальных напряжений [8].

Для изучения напряженно-деформированного состояния массива впереди движущегося очистного забоя разработан метод акустических зондирований, заключающийся в ударном возбуждении массива, регистрации и последующей обработки импульсных искусственных акустических сигналов [8,9].

Для реализации данного метода МНТЛ «РИВАС» разработал программно-аппаратный комплекс, включающий регистратор искробезопасный портативный акустических сигналов РИПАС и программное обеспечение «Геоскан-РИВАС», предназначенное для обработки и анализа результатов акустического зондирования горных выработок [10].

Акустические зондирования применяются для изучения НДС впереди движущегося очистного забоя по оконтуривающим выработкам следующих очистных забоев: 24–59 (пласт Болдыревский, шахта «Им. С. М. Кирова»); 18–47 (пласт Толмачевский, шахта «Комсомолец»); 50–03 (пласт 50, шахта «Им. В.Д. Ялевского»); 70–10 (пласт 70, шахтоуправление «Талдинское-Западное» АО «СУЭК-Кузбасс»).

Выемка угля в указанных очистных забоях осуществляется под контролем системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений САКСМ [11,12].

В таблице 1 приведены основные параметры перечисленных объектов, которые могут оказывать влияние на распределение НДС впереди очистного забоя.

По мощности угольного пласта исследованные объекты различаются в 2,3 раза, по глубине ведения горных работ — в 1,8 раза. Существенное влияние на напряженно-деформированное состояние массива оказывает расстояние очистного забоя от монтажной камеры: при значениях, равных или превышающих длину очистного забоя, в процессе сдвижения горных пород вовлекаются толщи, залегающие выше основной кровли (далее — квадрат сдвижения).

Мощность песчаника основной кровли потенциально может влиять на распределение НДС массива, однако для рассматриваемых условий ее изменения не оказывают определяющего влияния и могут быть признаны несущественным. Исследования выполнены преимущественно по обеим оконтуривающим выработкам. При этом только в лаве 18–47 конвейерный штрек расположен со стороны ранее отработанной лавы, тогда как на остальных объектах он примыкает к целику.

На рисунке 1 представлены результаты акустических зондирований по вентиляционной печи лавы 24–59 шахты им. С. М. Кирова. Начало наблюдений расположено на расстоянии 5 м от линии очистного забоя, находящегося в 790 м от монтажной камеры. На рисунке 1: а — распределения ОМК по породам кровли (по вертикали горизонтальными линиями показано расстояние от угольного пласта до активного контакта, длина горизонтальных линий отражает относительную интенсивность их ослабления); б — коэффициент относительных напряжений K ; в — расстояния до контактов с максимальным ослаблением, соответствующие частоте спектрального максимума F .

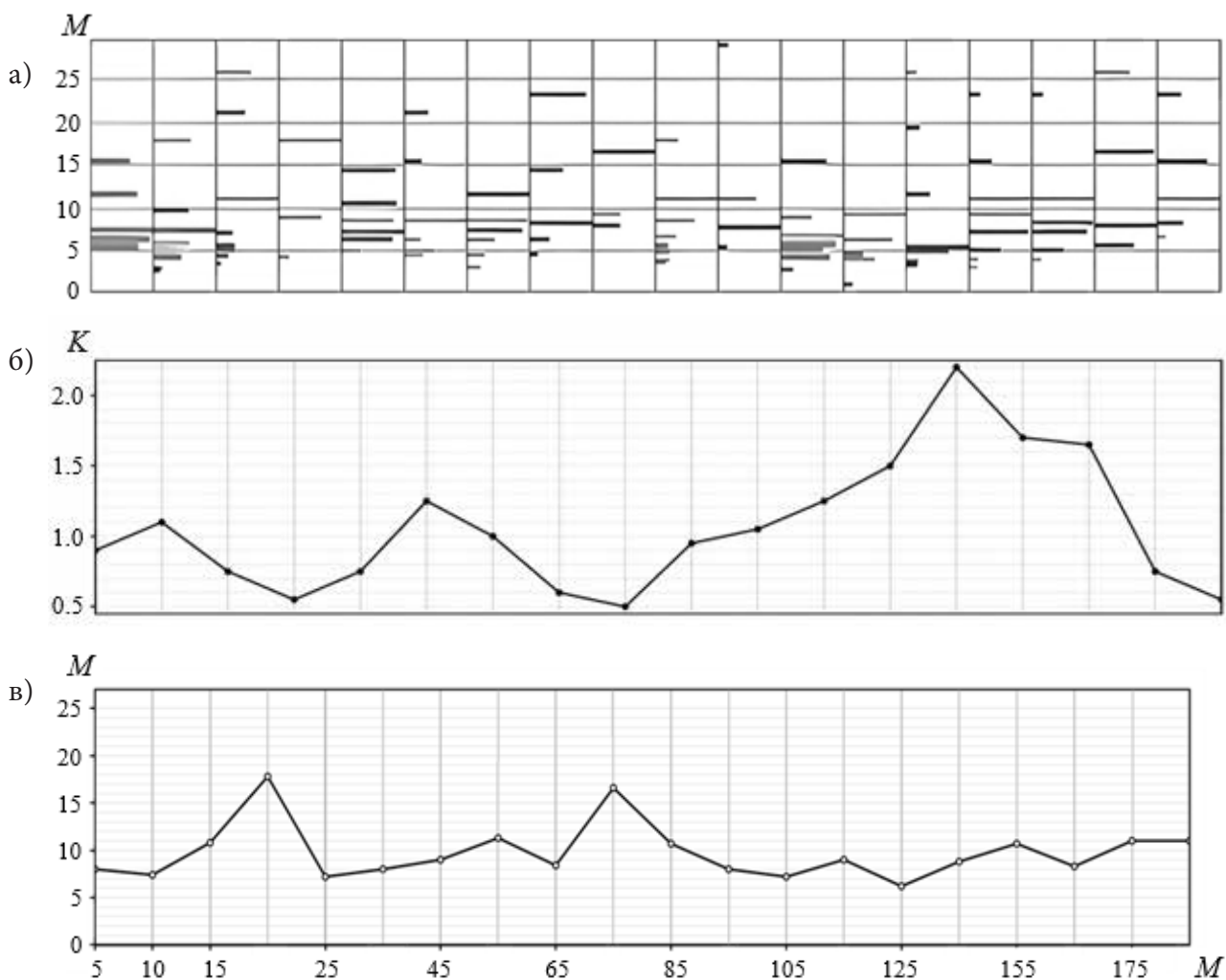


Рис. 1. Расположение ОМК в породах кровли угольного пласта (а), коэффициент относительных напряжений K (б) и расстояния до контактов с максимальным ослаблением (в) по результатам акустических зондирований в вентиляционной печи 24-59 пласта Болдыревский шахты им. С. М. Кирова.

Графическое представление распределений ОМК носит наглядный и воспроизводимый характер, тогда как коэффициент относительных напряжений K позволяет выявлять формирование зон повышенных напряжений в массиве горных пород [8].

На рис. 2 представлены результаты акустических зондирований в конвейерном штреке лавы 70–10 шахтоуправления «Талдинское-Западное». Данный объект отличается от рассмотренного ранее тем, что расстояние очистного забоя от монтажной соизмеримо с длиной очистного забоя, мощность обрабатываемого угольного в 2,3 раза превышает мощность пласта Болдыревский, а конвейерный штрек расположен со стороны целика.

Выявленные различия в горно-геологических условиях отражаются в параметрах искусственных акустических сигналов.

ОМК в породах кровли (рис. 2а) характеризуются более динамичным распределением в интервале до 40 м от линии очистного забоя и резким снижением интенсивности их проявления на больших расстояниях по сравнению с предыдущим объектом исследований.

Максимумы коэффициента относительных напряжений K (рис. 2б) в целом располагаются на меньших расстояниях от очистного забоя. Так, в вентиляционной печи 24–59 они зафиксированы на расстояниях 10, 45 и 125 м, тогда как в конвейерном штреке лавы 70–10 — на расстояниях 15, 35 и 65 м;

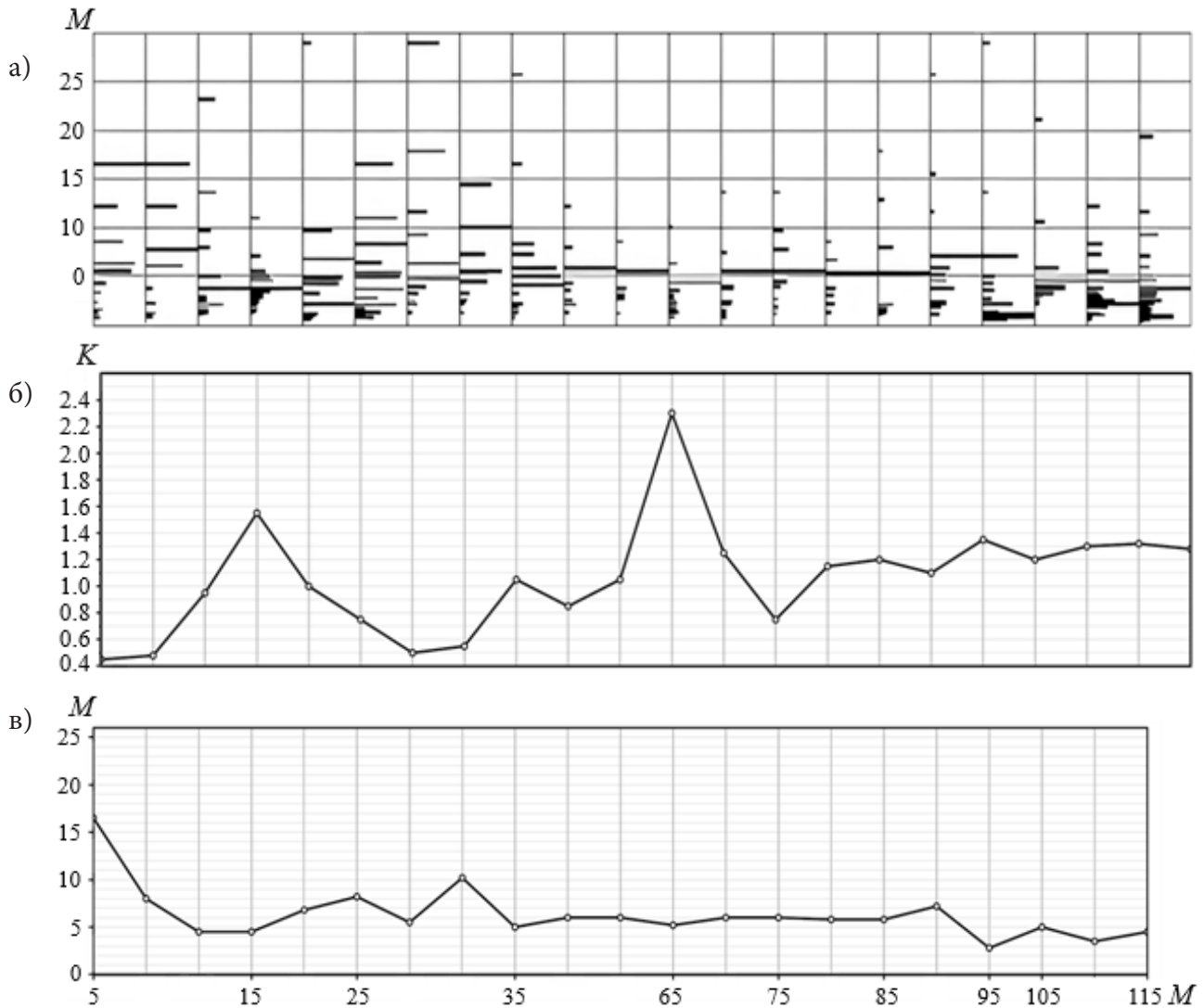


Рис. 2. Расположение ОМК в породах кровли угольного пласта (а), коэффициент относительных напряжений K (б) и расстояния до контактов с максимальным ослаблением (в) по результатам акустических зондирований в конвейерном штреке лавы 70-10 пласта 70 шахтоуправления «Талдинское-Западное»

Расстояния до максимальных ослаблений ОМК (рис. 2в) в интервале до 40 м от очистного забоя изменяются от 4,5 до 17 м, после чего приобретают устойчивые значения в пределах 4,5–5,0 м. В то же время для вентиляционной печи 24-59 (рис. 1в) значения указанных расстояний изменяются в диапазоне от 7 до 17 м на протяжении до 105 м от очистного забоя и далее варьируют в пределах 5–12 м, что обусловлено влиянием отработанной части пласта и более интенсивным развитием деформационных процессов.

Приведенные результаты показывают, что коэффициент относительных напряжений K является наиболее устойчивым и информативным параметром ИАС при анализе

напряженно-деформированного состояния массива впереди очистного забоя. В отличие от отдельных спектральных характеристик, данный коэффициент представляет собой интегральную оценку перераспределения энергии между низко- и высокочастотными составляющими сигнала, что обеспечивает его воспроизводимость и чувствительность к формированию зон повышенных напряжений. Дополнительным преимуществом коэффициента K является возможность выявления изменений относительных напряжений в зонах горно-геологических неоднородностей (ПГД, геологические нарушения и др.) [8].

В таблице 2 приведено распределение коэффициента относительных напряжений

K впереди очистных забоев по оконтуривающим выработкам лав, перечисленных в таблице 1. Полученные данные позволяют оценить влияние на характер распределения относительных напряжений впереди очистного забоя следующих горно-геологических факторов:

- мощности отрабатываемых угольных пластов,
- расстояние очистного забоя от монтажной камеры,
- положения оконтуривающих выработок относительно отработанной части пласта.

В нижней части таблицы 2 представлены результаты вычисления средних значений коэффициента K для различных условий: общее среднее значение (строка 16), расположение оконтуривающих выработок в целике и вблизи отработанного угольного пласта (строка 17, 18), угольные пласты с мощностью до 4,0 м и более (строка 19, 20). В среднем в пределах интервала исследований до 500 м по выработкам выделяются пять максимумов коэффициента K , соответствующих расстояниям 9,7; 39; 88; 141 и 217 м при значениях коэффициента 1,37; 1,51; 1,61; 1,88 и 1,63 соответственно.

При этом отношения расстояний между соседними максимумами коэффициента K составляют 4,0, 2,3, 1,6, 1,5 что отражает их относительное сближение по мере приближения к очистному забою. Значения коэффициента K в пределах первых четырех максимумов последовательно возрастают от 1,37 до 1,88.

Средние распределения коэффициента относительных напряжений K для конвейерных выработок и вентиляционного штрека 18–47, расположенных на границе с целиком, устойчиво отличаются от распределений, полученных для выработок, граничащих с отработанным пространством. В выработках, прилегающих к целику, первый максимум коэффициента K располагается в среднем в 0,7 раза ближе к очистному забою и имеет значение, в 1,7 раза меньшее по сравнению с выработками, граничащими с отработанным пластом. Для второго, третьего и четвертого

максимумов также характерно более близкое расположение к очистному забою в выработках, примыкающих к целику.

С увеличением расстояния очистного забоя от монтажной камеры возрастает интервал между соседними максимумами коэффициента K . Для всех исследованных выработок приращение расстояний между последовательными максимумами составляет 30, 52, 56 и 66 м. При этом для выработок, прилегающих к целику, характерно постепенное увеличение максимальных значений коэффициента K от 1,04 до 2,19.

Существенное влияние на положение и величину максимумов коэффициента K оказывает мощность угольного пласта. При мощности более 4 м расстояние до максимумов коэффициента K равномерно увеличиваются от 13,8 до 261 м, что в среднем на 30 % превышает аналогичные значения для пластов мощностью менее 4 м.

Значения коэффициента относительных напряжений K в целом монотонно возрастают по мере увеличения расстояния очистного забоя от монтажной камеры: для угольных пластов мощностью более 4 м — от 1,33 до 1,84, для пластов мощностью менее 4 м — от 1,42 до 2,09.

Приведенные результаты указывают на существенное влияние перечисленных горно-геологических факторов на характер распределения относительных напряжений впереди очистного забоя. В целом, независимо от особенностей горно-геологических условий, изменение коэффициента K впереди очистного забоя носит волнообразный характер, при котором зоны повышенных напряжений чередуются с участками локальной разгрузки.

Данные таблицы 2 также свидетельствуют о существенных изменениях распределения коэффициента K по мере увеличения расстояния очистного забоя от монтажной камеры. На рисунке 3 приведен пример таких изменений по результатам акустического зондирования в вентиляционном штреке 18–47, примыкающий к целику, при расстоянии очистного забоя от монтажной камеры 50 м (рис. 3а) и 290 м (рис. 3б).

Таблица 2

Положение максимумов коэффициента относительных напряжений K впереди очистного забоя по данным акустических зондирований

№	Выработка	Расстояние от монтажной камеры, м	Максимум 1		Максимум 2		Максимум 3		Максимум 4		Максимум 5	
			расстояние, м	K	расстояние, м	K	расстояние, м	K	расстояние, м	K	расстояние, м	K
1	Вентиляционная печь 24-59	790	10	1,1	45	1,25			125	2,1		
2	Вентиляционный штрек 50-03	980	15	1,15	40	0,73	80	1,5	150	1,0		
3	Вентиляционный штрек 18-47	50	7	1,22	35	1,0	85	1,2	120	2,8	160	2,67
4	Вентиляционный штрек 18-47	290	5	0,82	20	1,9	85	1,28	125	2,0	170	1,72
5	Вентиляционный штрек 18-47	380	5	1,3	40	1,85	90	1,9	105	2,2	160	2,15
6	Конвейерный штрек 18-47	70	7	2,05	45	1,9	80	1,15	120	1,4	190	2,6
7	Конвейерный штрек 18-47	300	5	1,25	45	1,95	85	2,3	125	1,85	165	1,95
8	Конвейерный штрек 18-47	390	15	2,0	40	1,7	60	0,93	140	1,68	190	1,45
9	Конвейерный штрек 18-48	50	12	1,6	25	1,65	75	2,2	115	1,65		
10	Вентиляционный штрек 70-10	260	20	1,91	35	1,71	85	1,58	185	2,28	215	1,4
11	Вентиляционный штрек 70-10*	270	17	1,78	45	2,3	112	1,32	155	2,2	200	1,79
12	Вентиляционный штрек 70-10*	300	20	1,5	75	1,45	160	1,5	250	1,83	330	1,28
13	Конвейерный штрек 70-10	210	5	0,3	30	0,68	110	1,5	260	1,86	500	2,1
14	Конвейерный штрек 70-10	240	5	0,8	35	1,45	65	1,9	120	1,13	160	1,7
15	Конвейерный штрек 70-10	270	15	1,85	35	1,12	65	2,3	115	1,27	160	2,8
16	Среднее:		9,7	1,37	39	1,51	88	1,61	141	1,88	217	1,63
17	Выработки вблизи целика		7	1,04	32	1,33	84	1,68	141	1,87	218	2,19
18	Выработки, где пласт отработан		10	1,73	46	1,85	97	1,34	161	1,95	215	1,74
19	Мощность пласта < 4 м		8,3	1,42	37	1,65	80	1,56	122	1,96	172	2,09
20	Мощность пласта ≥ 4 м		13,8	1,33	42	1,39	97	1,66	176	1,65	261	1,84

* – Вентиляционный штрек 70-10 расположен в зоне влияния геологического нарушения.

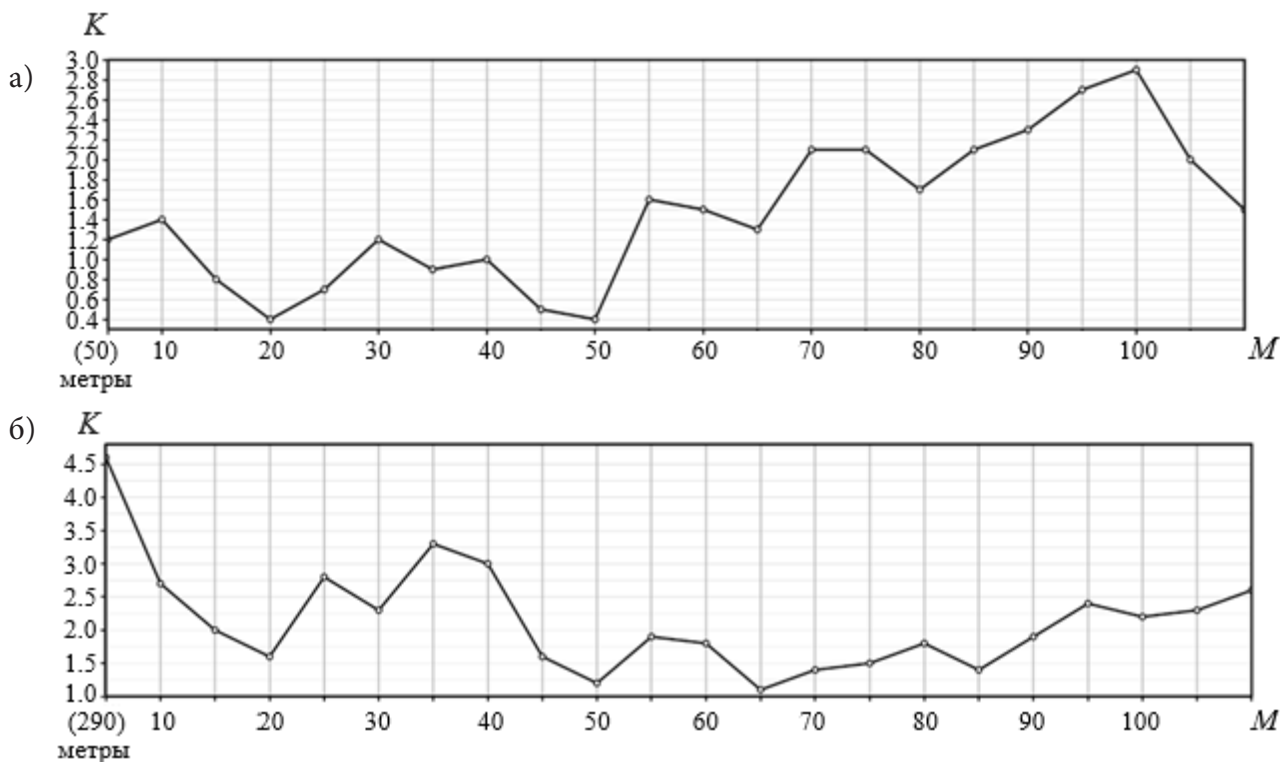


Рис. 3 Коэффициент относительных напряжений K по вентиляционному штреку 18–47 шахты «Комсомолец» при положении очистного забоя на расстоянии 50 м (а) и 290 м (б) от монтажной камеры.

В первом случае диапазон изменения коэффициента K составляет 0,4–3,1 и характеризуется постепенным увеличением значений коэффициента с чередованием локальных разгрузок, при этом глобальный максимум $K = 3,1$ зафиксирован на расстоянии 100 м от очистного забоя. Во втором случае диапазон изменений коэффициента K расширяется до 0,5–4,6, при этом глобальный максимум $K = 4,6$ располагается вблизи очистного забоя (на расстоянии 5–7 м). При удалении от забоя на расстояние до 35 м отмечается локальная аномалия с максимальным значением

коэффициента $K = 3,2$, а очередной глобальный максимум $K = 4,2$ фиксируется на расстоянии около 150 м от очистного забоя.

Представленные результаты акустических зондирований и приведенные численные значения подтверждают вывод о существенном влиянии расстояния очистного забоя от монтажной камеры на характер распределения напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Для оценки протяженности развития волнообразной динамики НДС массива впереди очистного забоя выполнены акустические

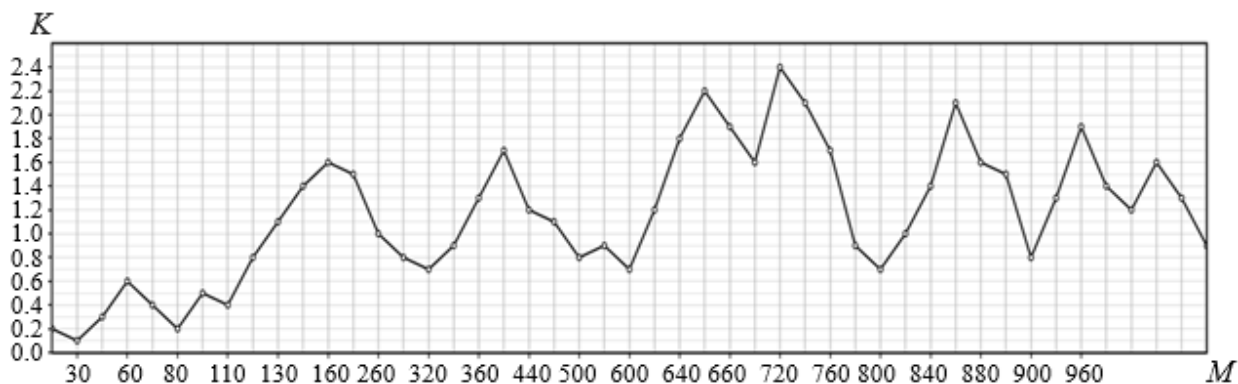


Рис. 4. Коэффициент относительных напряжений K в конвейерном штреке 70–10 на протяжении 1000 м впереди очистного забоя при его расположении на расстоянии 210 м от монтажной камеры

зондирования в конвейерном штреке лавы 70–10 на протяжении 1000 м от очистного забоя (рис. 4). Повышенные значения относительных напряжений зафиксированы на расстояниях 5 м от очистного забоя ($K = 0,3$), 30 м ($K = 0,68$), 110 м ($K = 1,5$), 260 м ($K = 1,56$), 440 м ($K = 1,85$), 500 м ($K = 2,1$), 680 м ($K = 1,78$), 800 м ($K = 1,52$), 900 м ($K = 1,3$).

Установлено, что на расстоянии до 500 м от монтажной камеры наблюдается увеличение интервалов между соседними максимумами коэффициента относительных напряжений, а также рост максимальных значений от 0,3 до 2,1.

Анализ полученных данных свидетельствует о распространении волнообразного изменения напряженно-деформированного состояния массива на расстояние не менее 1000 м впереди движущегося очистного забоя. При этом на участке до 500 м (примерно удвоенная длина очистного забоя) максимальные значения коэффициента K по мере удаления от забоя возрастают, а на больших расстояниях — постепенно уменьшаются.

Помимо выявленных закономерностей изменения относительных напряжений в зависимости от горно-геологических условий и положения очистного забоя, существенный практический интерес представляет выявление участков массива, в пределах которых при приближении очистного забоя происходят аварийные деформации выработок и возникают осложнения управления породами кровли, включая очистной забой [8].

При выполнении повторных акустических зондирований впереди очистного забоя по вентиляционному штреку 70–10 такой участок был установлен в районе пикетов 30–31 (на расстоянии 300–310 м от очистного забоя). Для данного участка характерны аномально низкие значения коэффициента K и частоты спектрального максимума F .

На рис. 5 приведены значения коэффициента K по этому штреку при положении очистного забоя на расстоянии 260 м от монтажной камеры (на рисунке значения приведены в скобках) и при расстоянии 300 м. При пересечении очистным забоем указанной опасной

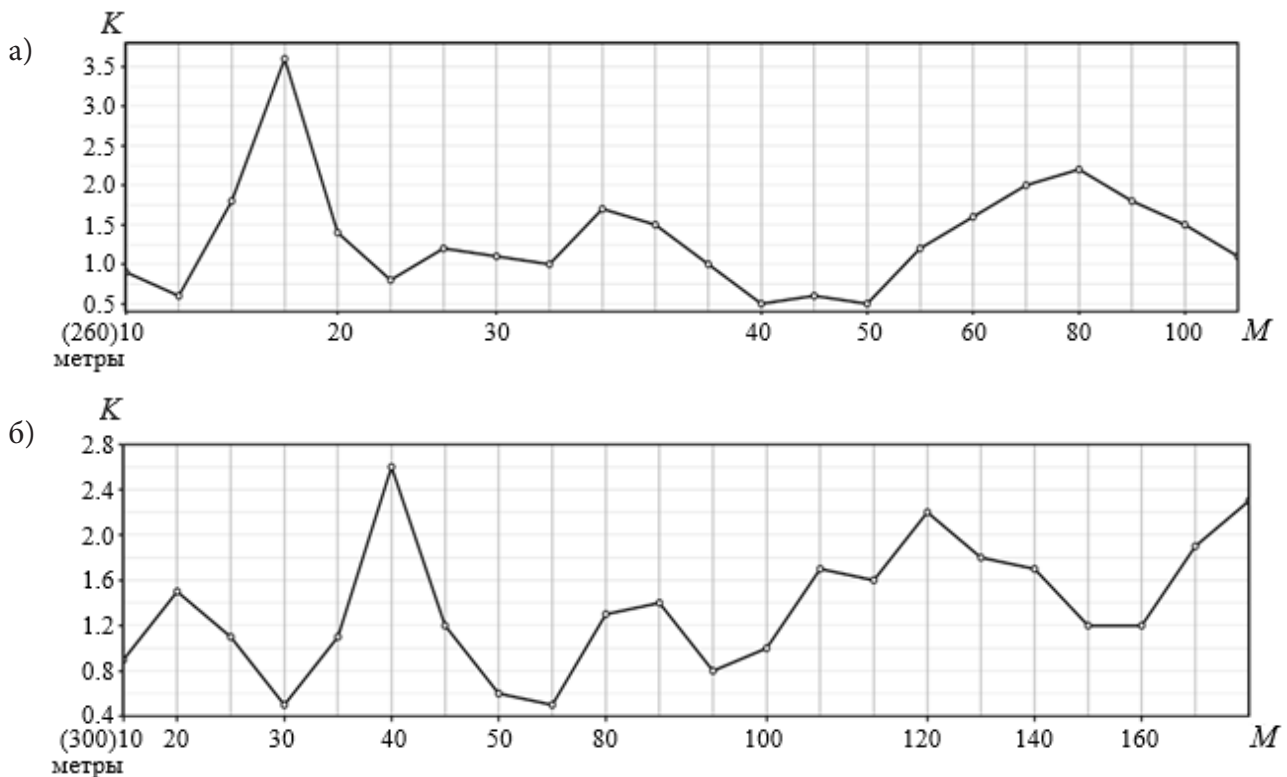


Рис. 5. Значения коэффициента относительных напряжений K по вентиляционному штреку 70–10 шахты «Талдинская–Западная» при положении очистного забоя на расстоянии 260 м (а) и 300 м (б) от монтажной камеры.

зоны вентиляционный штрек перешел в аварийное состояние, а в прилегающей к нему части очистного забоя возникли существенные осложнения управления породами кровли.

Демонстрация возможности контроля напряженно-деформированного состояния массива в оконтуривающих выработках впереди движущегося очистного забоя служит дополнительным подтверждением эффективности применения искусственных акустических сигналов в автоматизированном прогнозе системы акустического контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений САКСМ в каждом цикле выемки угля [11, 12].

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Подтверждено наличие деформационно-волновых процессов в окрестностях оконтуривающих горных выработок впереди движущегося очистного забоя.
2. Распространение локальных максимумов напряжений в оконтуривающих лаву выработках впереди движущегося забоя носит регулярный характер и наблюдается на расстоянии от 5 м до не менее 1000 м от его положения.
3. Существенное влияние на положение и интенсивность максимумов относительных напряжений оказывают мощность отрабатываемого угольного пласта и положение оконтуривающих выработок относительно выработанной части пласта.
4. Периодические акустические зондирования в оконтуривающих лаву выработках обеспечивают возможность выявления участков, на которых при приближении очистного забоя вероятны аварийные деформации выработок и осложнения управления породами кровли в очистном забое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черняк И. Л., Зайденварг В. Е. Периодичность изменения напряженно-деформированного состояния массива угля и пород впереди очистного забоя // Известия вузов. Горный журнал. 1993. № 3.
2. Полевщиков Г. Я., Назаров В. Ю. Влияние сдвижений прочных вышележающих пород на динамику метанообильности выемочного участка // ГИАБ. 2001. № 5.
3. Ключко И. И., Лобков Н. И. Особенности изменения напряженного состояния впереди лавы в процессе выемки угля // Вісті Донецького гірничого інституту. 2011. № 2. С. 136–141.
4. Мирер С. В., Хмара О. И., Масленников Е. В. О контроле выбросоопасности забоев по спектральным характеристикам акустических сигналов // Вопросы предотвращения внезапных выбросов. Научн. сообщ. ИГД им. А. А. Скочинского. 1987. С. 52–61.
5. Гликман А. Г. Поля упругих колебаний в горных породах. Л., 1984. Деп. в ОЦНТИ ВИ-ЭМС 10.04.85 № 188 мг. Деп., 63 с.
6. Андреев В. П., Гликман А. Г. Геоакустический метод выявления поверхностей ослабленного механического контакта // Уголь. 1985. № 9.
7. Гликман А. Г. Физика и практика спектральной сейсморазведки // www.newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml. 2002. 104 с.
8. Горбачев А. С., Шилов В. И., Шилов Д. А. Параметры искусственного акустического сигнала в слоистом массиве // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2025. № 2. С. 13–26. DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.34.10.002.
9. Лунев С. Г. Колчин Г. И. Оценка состояния массива по результатам импульсного возбуждения // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах. Сб. науч. тр. Макеевка: МакНИИ. 2001. Ч. 1. С. 101–108.
10. Горбачев А. С., Шилов В. И. Аппаратно-программное обеспечение акустических зондирований // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 3. С. 20–25.

11. Копылов К. Н., Смирнов О. В., Кулик А. И., Пальцев А. И. Автоматизированная система контроля состояния массива горных пород и прогноза динамических явлений // Безопасность труда в промышленности. 2015. № 8. С. 32–37.

12. Смирнов О. В., Кулик А. И., Шилов В.И., Горбачев А.С. Автоматизированный прогноз динамических явлений // Добывающая промышленность. 2016. Вып. 2. С. 56–63.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2026.64.89.001

UDC 622.833.5

© A. S. Gorbachev, A. Y. Zharovskikh, V. I. Shilov, D. A. Shilov, 2026

A. S. GORBACHEV

Lead Engineer

MNTL «RIVAS» LLC, Moscow

e-mail: info@rivas.ru

A. Y. ZHAROVSKIKH

Service Engineer

«RIVAS-Kuzbass» LLC, Novokuznetsk

e-mail: zharovskikhay@mail.ru

V. I. SHILOV

Director for Science

MNTL «RIVAS» LLC, Moscow

e-mail: 30shilov@gmail.com

D. A. SHILOV

Service Engineer

«RIVAS-Kuzbass» LLC, Novokuznetsk

e-mail: Shilovdarivas@gmail.com

DYNAMICS OF THE STRESS-STRAIN OF THE ROCK MASS STATE AHEAD OF THE LONGWALL FACE

The paper is devoted to the study of the stress–strain state (SSS) of the rock mass ahead of a moving longwall face in coal mines. The aim of the study is to identify regularities in the spatial distribution of relative stresses in the rock mass based on the analysis of artificial acoustic signal parameters. The investigations were carried out using the method of acoustic sounding in the gate roadways of longwall faces at several coal mines in the Kuzbass region under various mining and geological conditions.

It is shown that changes in the rock mass SSS ahead of the longwall face exhibit a pronounced wave-like character, in which zones of increased stresses alternate with areas of local unloading. It has been established that local maxima of relative stresses propagate to a distance of at least 1000 m ahead of the advancing face, while within a distance approximately equal to twice the longwall face length their magnitudes increase and then gradually decrease. A significant influence of the mined coal seam thickness, the distance of the longwall face from the setup room, and the position of the gate roadways relative to the mined-out area on the distribution of relative stresses has been revealed.

The possibility of identifying potentially hazardous rock mass zones based on anomalous changes in acoustic signal parameters is demonstrated, which confirms the effectiveness of using acoustic sounding

for monitoring the rock mass SSS and for automated prediction of dynamic phenomena during longwall mining operations.

Key words: STRESS–STRAIN STATE; LONGWALL FACE; ROCK MASS; ARTIFICIAL ACOUSTIC SIGNAL; ACOUSTIC SOUNDING; RELATIVE STRESS COEFFICIENT; WAVE-LIKE DYNAMICS; GATE ROADWAYS.

REFERENCES

1. Chernyak I. L., Zaydenvarg V. E. Periodicity of changes in the stress–strain state of coal and rock mass ahead of the longwall face // *Minerals and Mining Engineering*. 1993. No. 3. [In Russ.].
2. G. Ya., Nazarov V. Y. Influence of displacements of strong overlying rocks on methane emission dynamics of a longwall panel // *Mining Information Analytical Bulletin*. 2001. No. 5. [In Russ.].
3. Klochko I. I., Lobkov N. I. Features of stress state changes ahead of the longwall face during coal extraction // [Visti Donetskoho Hirnychoho Instytutu]. 2011. [In Russ.].
4. Mirer S. V., Khmara O. I., Maslennikov E. V. On controlling outburst hazard of faces based on spectral characteristics of acoustic signals. In: *Issues of Prevention of Sudden Outbursts*. Scientific reports of the A. A. Skochinsky Institute of Mining, 1987. P. 52–61. [In Russ.].
5. Glikman A. G. *Fields of Elastic Oscillations in Rocks*. Leningrad, 1984. Deposited in OCNTI VIEMS on April 10, 1985. No. 188 mg. 63 p. [In Russ.].
6. Andreev V. P., Glikman A. G. Geoacoustic method for detecting weakened mechanical contact surfaces // *Coal*. 1985. No. 9. [In Russ.].
7. Glikman A. G. *Physics and Practice of Spectral Seismic Exploration* // Available at: www.newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml (accessed year of publication). St. Petersburg, 2002, 104 p. [In Russ.].
8. Gorbachev A. S., Shilov V. I., Shilov D. A. Parameters of artificial acoustic signals in a layered rock mass // *Vestnik of the Scientific Center for Safety of Mining Operations in the Coal Industry*. 2025. No. 2. P. 13–26. DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.34.10.002. [In Russ.].
9. Lunev S. G., Kolchin G. I. Assessment of rock mass state based on impulse excitation results // In: *Methods and Means for Creating Safe and Healthy Working Conditions in Coal Mines*. Collection of scientific papers. Makeevka, MakNII, 2001. Part 1. P. 101–108. [In Russ.].
10. Gorbachev A. S., Shilov V. I. Hardware and software for acoustic sounding // *Occupational Safety in Industry*. 2022. No. 3. P. 20–25. [In Russ.].
11. Kopylov K. N., Smirnov O. V., Kulik A. I., Paltsev A. I. Automated system for monitoring the state of the rock mass and forecasting dynamic phenomena // *Occupational Safety in Industry*. 2015. No. 8. [In Russ.].
12. Smirnov O. V., Kulik A. I., Shilov V. I., Gorbachev A. S. Automated forecasting of dynamic phenomena // *Mining Industry*. 2016. Iss. 2. P. 56–63. [In Russ.].