

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-1-39-48

**Результаты исследований волнового характера опорного давления целиков
и краевых частей угольных пластов**

Лис С. Н.

Институт проблем комплексного освоения недр, Караганда, Республика Казахстан

Аннотация: Разработка свит пластов приводит к образованию в толще пород большого количества зон повышенного горного давления, образованных влиянием опорного давления краевых частей массива и целиков, оставленных на соседних пластах. Наличие таких зон резко ухудшает состояние подготовительных и капитальных выработок при разработке свит пластов. В статье приводятся результаты проведенных наблюдений на участках подземных выработок угольных шахт Карагандинского угольного бассейна, находящихся под и над целиками и краевыми частями вышележащих угольных пластов. Если опорное давление под целиками и краевыми частями угольных пластов достаточно интенсивно исследовалось, то опорное давление над целиками и краевыми частями угольных пластов практически не изучалось. Результаты проведенных исследований показали, что во всех выработках, в которых проводились наблюдения, высота участка выработки, расположенного над целиком (краевой частью), изменяется волнообразно. Характер влияния опорного давления меняется в зависимости от удаленности выработки от источника этого давления и определяется коэффициентом подработки K_p . Длина полуволны опорного давления соответствует шагу вторичного обрушения основной кровли угольного пласта, на котором расположен целик (краевая часть). Результаты проведенных исследований показали, что во всех выработках, в которых проводились наблюдения, высота участка выработки, расположенного под целиком (краевой частью), изменяется волнообразно. В результате проведенных исследований выявлен волновой характер стационарного опорного давления, распространяющегося вдоль пласта, на котором расположена выработка, по закону затухающей синусоиды по мере удаления от источника опорного давления. При этом длина полуволны $\lambda/2$ соответствует мощности основной кровли над выработкой.

Ключевые слова: опорное давление, целик, краевая часть пласта, зона повышенного горного давления, свита пластов, затухающая синусоида, длина полуволны.

Для цитирования: Лис С. Н. Результаты исследований волнового характера опорного давления целиков и краевых частей угольных пластов. *Горные науки и технологии*. 2020;5(1):39-48. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-1-39-48.

**Findings of Studies on Wave Character of Pillar Support Pressure
and Edge Parts of Coal Seams**

S. N. Lis

Institute for Integrated Subsoil Use, Karaganda, Republic of Kazakhstan

Abstract: Extraction of coal measures leads to origination of a large number of increased rock pressure zones in rock mass, caused by the influence of abutment pressure of rock mass edge parts and pillars kept in adjacent seams. The presence of such zones sharply worsens the condition of development and permanent workings when developing coal measures. The paper presents the findings of the observations made in the areas of the underground workings in coal mines of Karaganda coal basin, located under and above pillars and edge parts of overlying coal seams. If abutment pressure under pillars and edge parts of coal seams has been studied quite actively, abutment pressure above the pillars and the edge parts of the coal seams has not been practically studied. The findings of the performed studies showed that in all the workings in which the observations were made, the height of the workings located underneath the pillar (the edge part) varies wavyly. The studies revealed wavyly behavior of the stationary abutment pressure propagating along the seam, in which the working is located, according to the law of damped sinusoid while increasing distance from the source of the abutment pressure. At the same time, the half-wave length $\lambda/2$ corresponds to the thickness of the main roof above the working. The height of the workings located above the pillar (edge part) also varies wavyly. At the same time, the nature of the abutment pressure influence varies depending on the distance of the working from the pressure source and is determined by undermining factor K_u . The abutment pressure half-wave length corresponds to the step of secondary collapse of the main roof of the coal seam on which the pillar (edge part) is located.



Keywords: abutment pressure, pillar, seam edge part, zone of increased rock pressure, coal measures, damped sinusoid, half-wave length.

For citation: Lis S. N. Findings of studies on wave character of pillar support pressure and edge parts of coal seams. *Gornye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(1):39-48. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-1-39-48.

Введение

Разработка свит пластов приводит появлению в толще пород большого количества зон повышенного горного давления (ПГД), образованных влиянием опорного давления краевых частей массива и целиков, оставленных на соседних пластах. Наличие зон ПГД резко ухудшает состояние подготовительных и капитальных выработок при разработке свит пластов. Общее генеральное требование к разработке свит угольных пластов сформулировано давно и сводится к полной выемке угля без оставления каких-либо целиков. К сожалению, при разработке угольных пластов в свитах до сих пор не удавалось во всех случаях осуществлять полную выемку угля: из-за сложных горно-геологических условий и для охраны различного рода объектов оставляют угольные целики. Вес пород, залегающих в кровле угольного пласта над выработанным пространством и не получивших опоры на почве выработки, перераспределяется на краевые части нетронутого пласта или целики, пригружая их. Эта пригрузка формирует зоны опорного давления [1], которые принято называть зонами повышенного горного давления (зона ПГД).

Производственный опыт указывает порождение зонами ПГД таких серьезных газодинамических явлений [2], как горные удары, внезапные выбросы угля и газа, разрушение механизированных крепей, завалы лав, повышенное газовыделение. При ведении горных работ в зонах ПГД значительно ухудшается состояние горных выработок. Это приводит к масштабным обвалам горного массива, поломкам проходческого оборудования, разрушению проектных сечений выработок. Тем самым нарушается

нормальный режим работы предприятия, повышается стоимость добычи полезного ископаемого и подвергаются опасности занятые в шахте люди [3–7].

Исследованиями, проведенными в нижележащем пласте при пересечении очистными работами зон ПГД, образованных от верхнего пласта, выявлены заметное влияние вышележащего пласта на нижний пласт в виде деформации пласта и нарушения сплошности его кровли, а также наличие в нижележащем очистном забое множества техногенных трещин и нарушений залегания угольного пласта и пород. Все это результат действия зоны ПГД от верхнего пласта. По исследованиям ВНИМИ и УкрНИМИ [6, 8] установлено, что целики с недостаточно большими размерами могут быть потенциально опасными по проявлению горных ударов [9].

На многих угольных месторождениях усложняются условия отработки в связи с возрастающей глубиной разработки месторождений и переходом на более сложные и часто изменяющиеся горно-геологические и горнотехнические условия. Рост глубины разработки, наличие больших площадей выработанных пространств в сочетании с влиянием многократной под- и надрабткой пластов приводит к появлению большого количества зон ПГД, увеличению их размера, усилению вредного влияния горного и газового давления на всю технологию горного производства. Изменение напряженного состояния массива в зонах ПГД отрицательно сказывается на безопасности ведения горных работ, сложнее становится управлять горным давлением в очистных и подготовительных выработках [5]. Это создает угрозу для жизни людей и нарушает нормальное ведение

горных работ. Затраты на ремонт подготовительных выработок, расположенных в зонах повышенного горного давления, в 2,0–2,5 раза и более превышают соответствующие показатели для подготовительных выработок, поддерживаемых в нетронutom массиве. При этом потери добычи достигают 20–25 % и более, повышается зольность угля [9, 10].

Известно, что вблизи краевой линии пласта горное давление изменяется волнообразно (волна Вебера). Эти процессы наиболее полно изучены в работе [11] для условий выработанного пространства, прилегающего к очистному забою. В другой работе [12] отмечается, что кинетика опорного давления впереди очистных работ формируется в виде волны. Эти исследования показали, что опорное давление имеет волнообразный характер с явно выраженной периодичностью чередований зон повышенного и пониженного давлений впереди фронта очистных работ.

Однако если опорное давление имеет волновой характер в плоскости разрабатываемого пласта, то аналогичный характер опорное давление должно иметь и под (над) этим пластом, т.е. под (над) краевыми частями и целиками угля. До сих пор этот вопрос не исследовался.

Цели, задачи и методы исследований

Целью исследований являлось определение характера распределения напряжений под (над) целиками и краевыми частями угольных пластов. В задачу входило определение изменения высоты участка выработки, пройденной под (над) целиком или краевой частью угольного пласта.

Автором были проведены исследования влияния стационарных зон опорного давления на подготовительные выработки, пересекающие зоны ПГД под (над) целиками и краевыми частями. Во время наблюдений производилось измерение высоты выработки h на участке, расположенном под (над) целиком или краевой частью. Для того чтобы опорное давление смогло проявиться в изменении высоты выработки в полной мере, наблюдения проводились в выработках, существующих не менее двух лет.

В данном случае высота выработки является косвенным свидетельством величины горного давления, поскольку чем выше горное давление, тем меньше сохранившаяся высота выработки в конкретной точке.

Результаты исследований

Исследования проведены на шахтах Карагандинского угольного бассейна. Результаты проведенных исследований показали, что во всех выработках, в которых проводились наблюдения, высота участка выработки, расположенного под (над) целиком (краевой частью) изменяется волнообразно. На рис. 1–6 приведены наиболее типичные примеры результатов проведенных наблюдений.

Далее описываются результаты исследований, проведенных в выработках, расположенных под (над) целиками и краевыми частями угольных пластов.

Вентиляционный штрек 42К₁₀–3 (рис. 1). Выработка расположена под краевой частью пласта К₁₂, вынимаемая мощность которого $m_b = 3,4$ м. Мощность междупластья $h_m = 82,5$ м. Коэффициент надработки $K_n = 24,3$. Угол влияния составил 86°. Высота выработки изменяется периодически и описывается затухающей синусоидой с длиной полуволны $\lambda/2 = 45$ м. Некоторое искажение и отклонение от синусоиды вносят участки штрека, находящиеся на сопряжении с выработками, проходящими перпендикулярно исследуемой.

Вентиляционный штрек 42К₁₀–3. Выработка расположена под целиком шириной 38 м, находящимся на надрабатываемом пласте К₁₂, вынимаемая мощность которого $m_b = 3,9$ м. Мощность междупластья $h_m = 81,1$ м. Коэффициент надработки $K_n = 21,9$. Угол влияния от правой кромки целика – 61°, от левой – 74°. Высота выработки с левой стороны от кромки целика изменяется по закону затухающей синусоиды с длиной полуволны $\lambda/2 = 45$ м. С правой стороны от кромки целика такая закономерность не наблюдается вследствие искажения, вносимого мелкоамплитудными нарушениями и сопряжением с выработкой, проходящей перпендикулярно исследуемой.

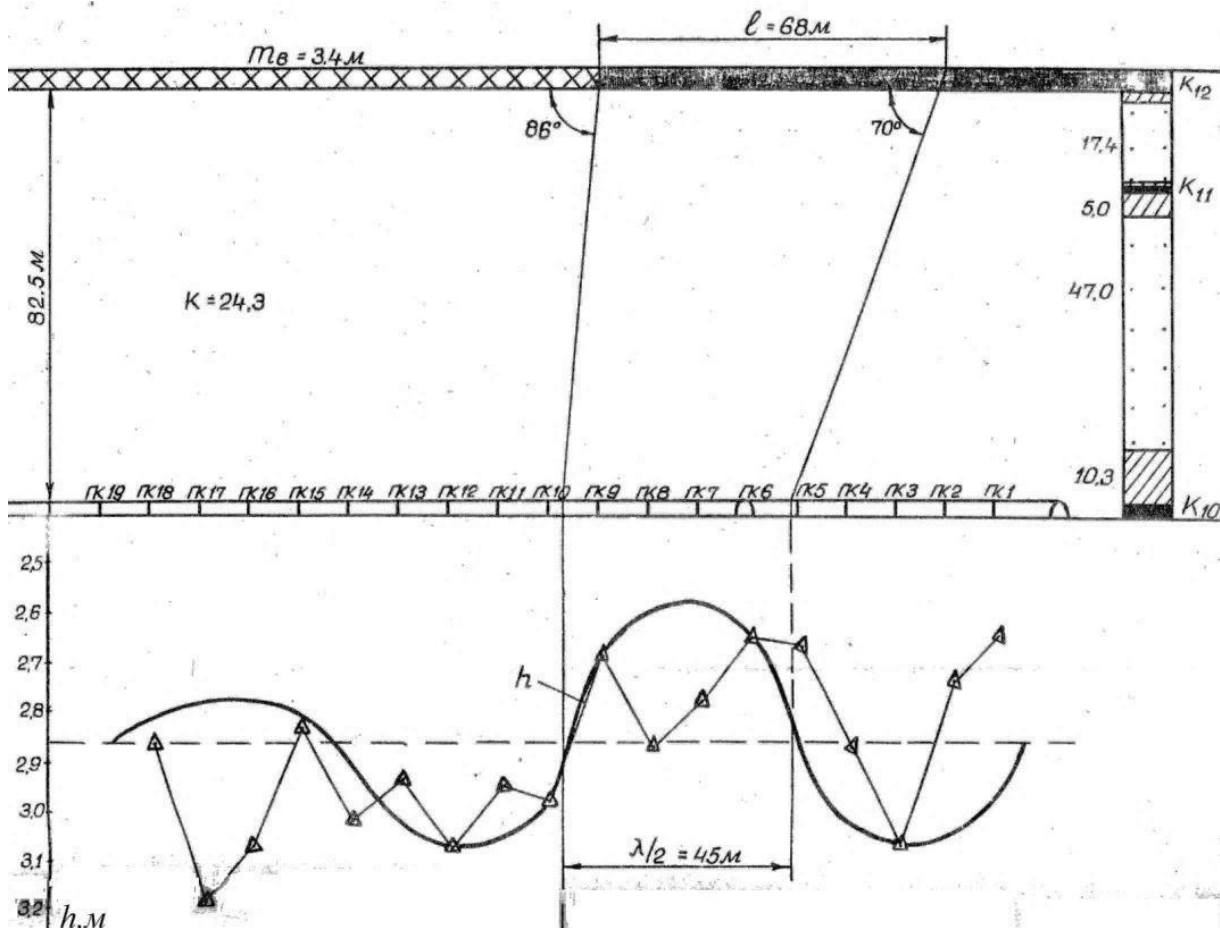


Рис. 1. Результаты наблюдений зоны ПГД от краевой части пласта в вентиляционном штреке 42K10 – 3

Fig. 1. Findings of observations of the increased rock pressure zone in ventilation drift 42K10 – W

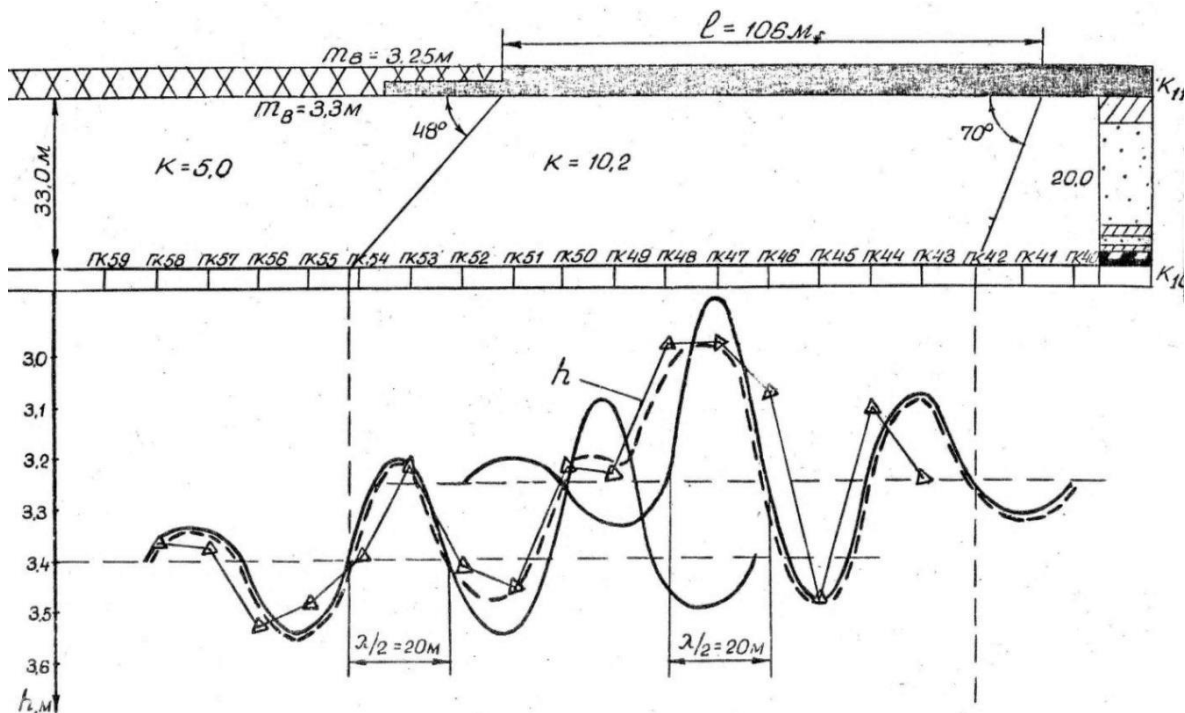


Рис. 2. Результаты наблюдений зоны ПГД в конвейерном промштреке 44K10 – 3

Fig. 2. Findings of observations of the increased rock pressure zone in conveyor drift 44K10 – W

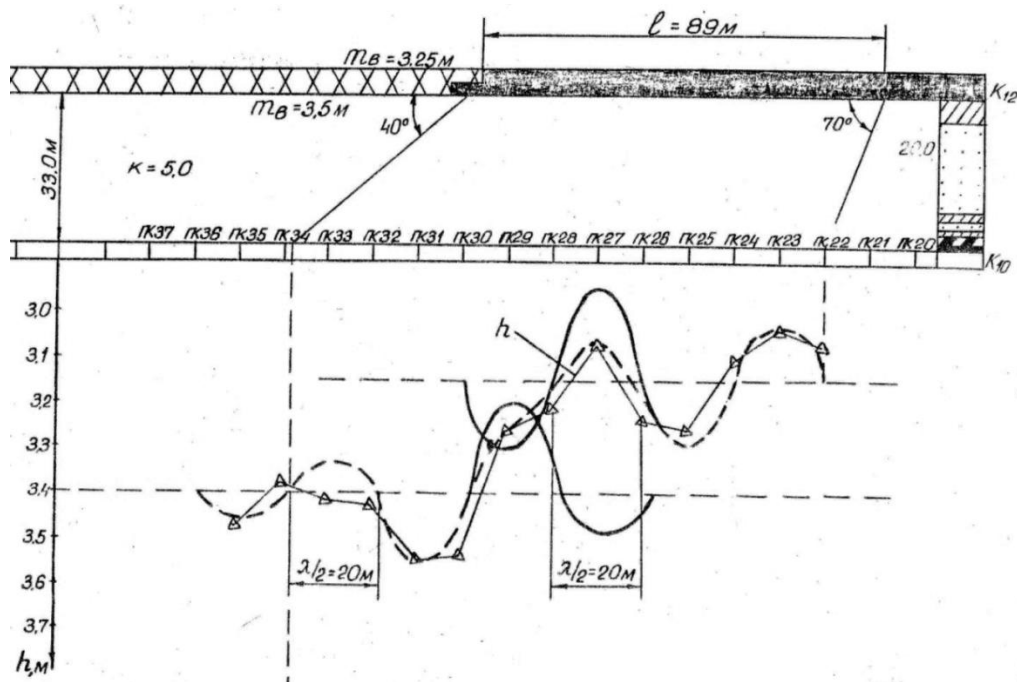


Рис. 3. Результаты наблюдений зоны ПГД в конвейерном промштреке 45K10 – 3

Fig. 3. Findings of observations of the increased rock pressure zone in conveyor drift 45K10 – W

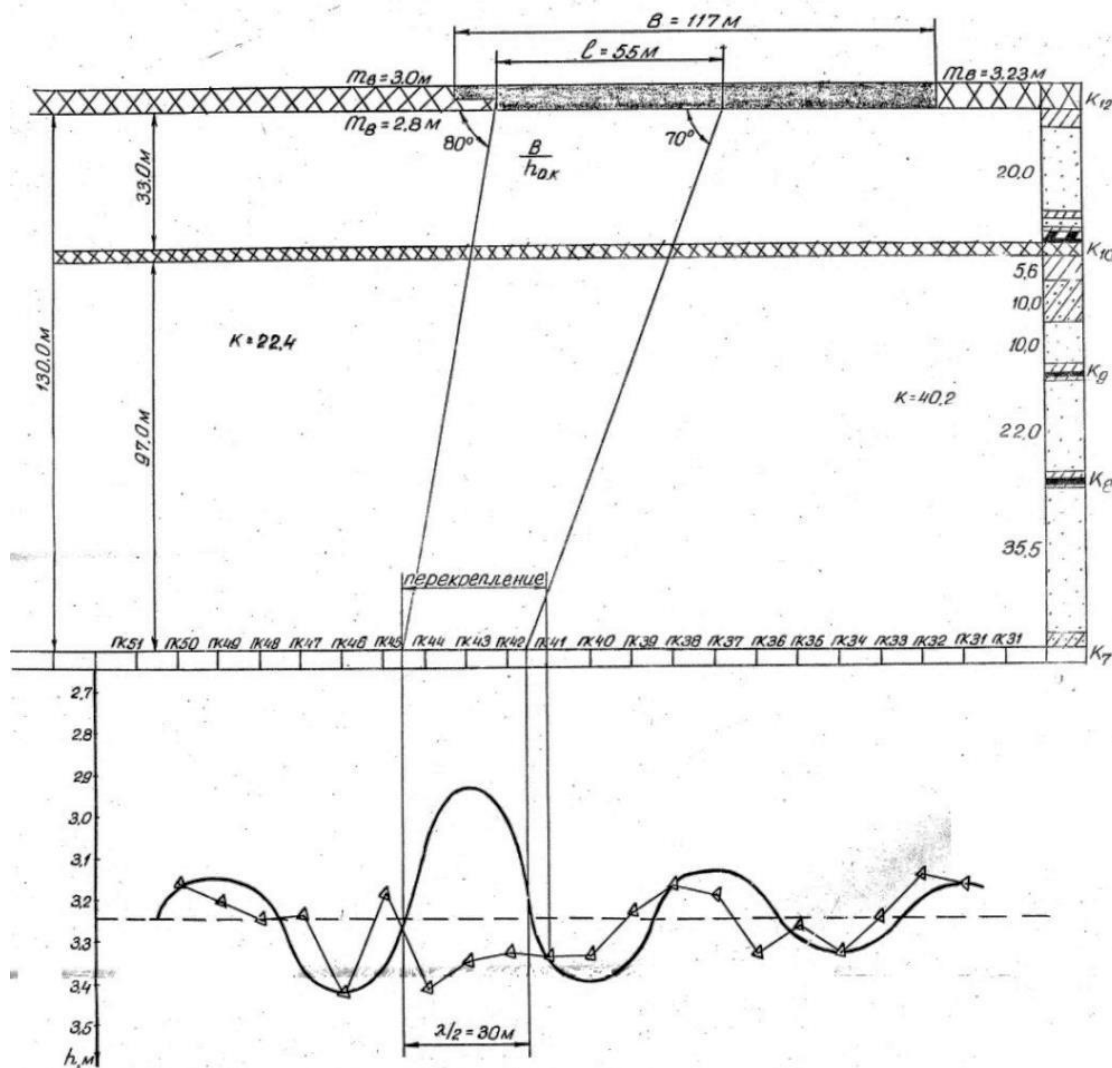


Рис. 4. Результаты наблюдений зоны ПГД в конвейерном бремсберге 43K7 – В

Fig. 4. Findings of observations of the increased rock pressure zone in conveyor incline 43K7 – E

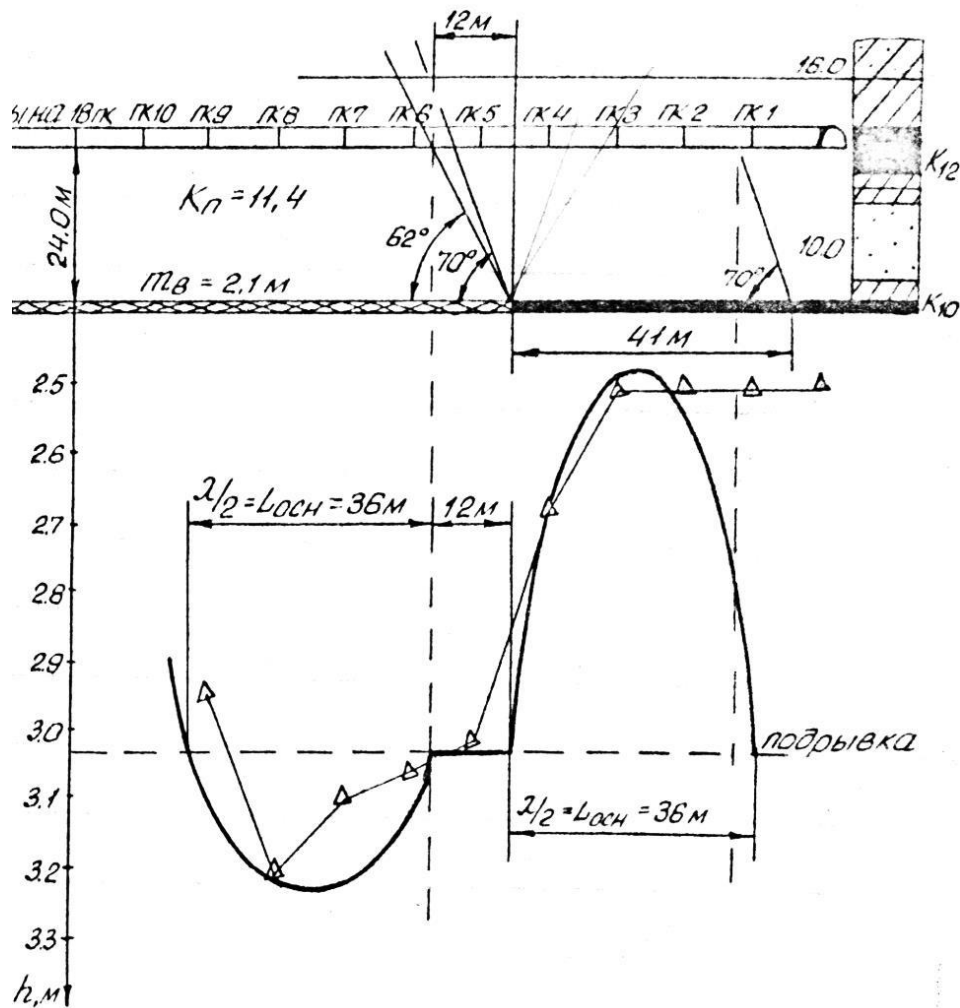


Рис. 5. Результаты наблюдений зоны ПГД в конвейерном штреке 22К12 – 1 – Ю

Fig. 5. Findings of observations of the increased rock pressure zone in conveyor drift 22K12 – 1 – S

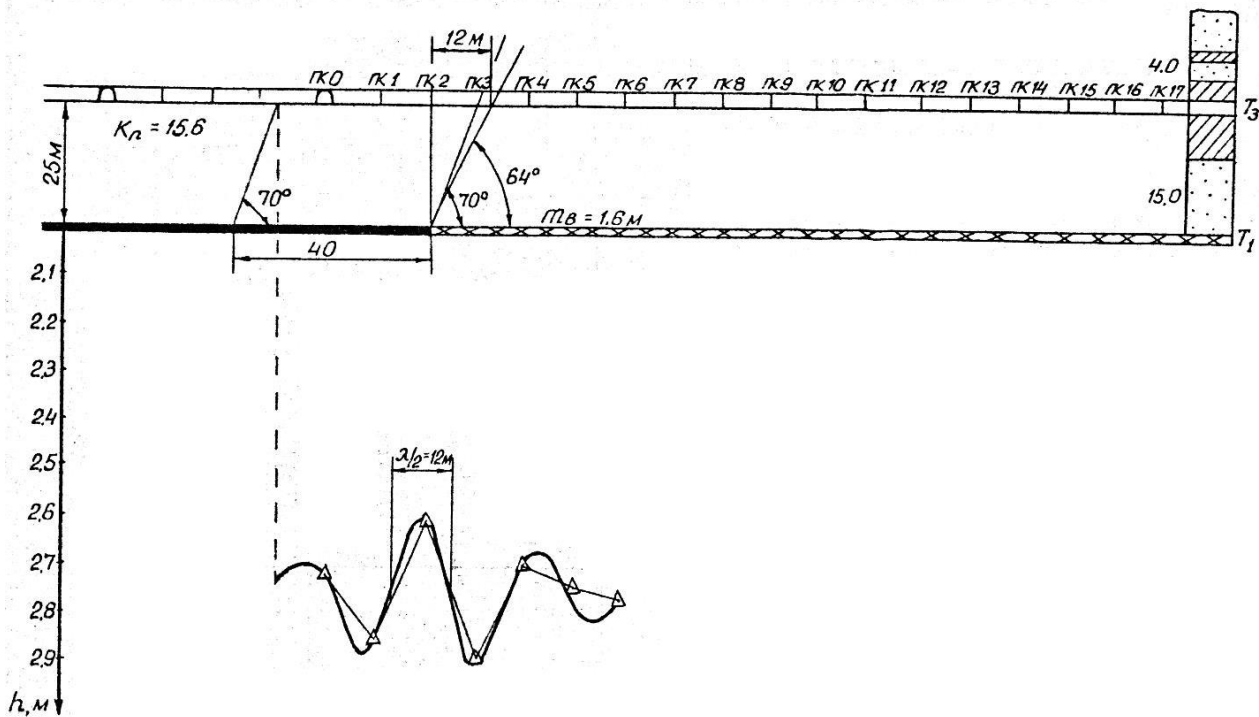


Рис. 6. Результаты наблюдений зоны ПГД в конвейерном штреке 133Т3 – Ю

Fig. 6. Findings of observations of the increased rock pressure zone in conveyor drift 133T3 – S

Конвейерный штрек 42K10 – 3. Выработка расположена под краевой частью пласта K_{12} , вынимаемая мощность которого $m_b = 5,1$ м. Мощность междупластья $h_m = 74,2$ м. Коэффициент надработки $K_n = 14,5$. Угол влияния составил 60° . Гармоническое изменение высоты выработки наблюдается только на участке выработки, находящемся по левую сторону от краевой части пласта K_{12} . Длина полуволны $\lambda/2 = 15$ м. Участок исследуемой выработки, находящейся под краевой частью угольного пласта, пересекает две близко расположенные выработки, которые вносят искажения в гармонический процесс.

Конвейерный промштрек 44K10–3 (рис. 2). Выработка расположена под уступом краевой части, образованным выемкой верхнего и нижнего слоев пласта K_{12} . Вынимаемая мощность верхнего слоя пласта $K_{12} - 3,25$ м, нижнего – $3,3$ м. Мощность междупластья $h_m = 33,0$ м. Коэффициент надработки $K_n = 5,0$. Угол влияния составил 48° . В изменении высоты выработки явно просматривается влияние двух гармонических процессов с длиной полуволны $\lambda/2 = 20$ м. Первый (нижняя синусоида) вызван выемкой верхнего слоя пласта K_{12} , второй возникает после выемки нижнего слоя этого пласта (верхняя синусоида), и поэтому формируется при более высоком уровне напряжений. Наложение двух гармонических процессов формирует более сложную картину деформирования выработки (общая кривая показана штриховой линией), чем при влиянии выемки одного слоя или одного пласта.

Конвейерный промштрек 45K10–3 (рис. 3). Выработка расположена под уступом краевой части, образованным выемкой верхнего и нижнего слоев пласта K_{12} . Вынимаемая мощность верхнего слоя пласта $K_{12} - 3,25$ м, нижнего – $3,5$ м. Мощность междупластья $h_m = 33,0$ м. Коэффициент надработки $K_n = 5,0$. Угол влияния составил 40° . Наложение двух гармонических процессов с длиной полуволны $\lambda/2 = 20$ м, как и в предыдущем случае, создает сложную картину деформирования

выработки. Тем не менее гармонический процесс хорошо просматривается.

Вентиляционный промштрек 41K1 – 3. Выработка расположена под уступом краевой части, образованным выемкой сближенных пластов K_3 и K_2 . Вынимаемая мощность пласта $K_3 - 3,07$ м, пласта $K_2 - 3,5$ м. Мощность междупластья $h_m = 47,0$ м. Коэффициент надработки $K_n = 7,1$. Угол влияния составил 46° . При выемке сближенных пластов, так же как и при выемке мощного пласта в два слоя, формируются два гармонических процесса, которые накладываются друг на друга. Длина полуволны гармонических процессов в данном случае составляет 14 м.

Конвейерный бремсберг 43K7–B (рис. 4). Выработка расположена под целиком шириной 117 м, находящимся на надрабатываемом пласте K_{12} , общая вынимаемая мощность которого $m_b = 5,8$ м. Мощность междупластья $h_m = 130,0$ м. Коэффициент надработки $K_n = 22,4$. Угол влияния от левой кромки целика – 80° , от правой измерения провести не удалось. В месте наибольшего влияния ПГД произведено перекрепление выработки. С учетом этого фактора изменение высоты выработки подчиняется гармоническому закону с длиной полуволны $\lambda/2 = 30$ м.

В этой же выработке проводились наблюдения влияния целика шириной 40 м, оставленного на пласте K_{12} . Мощность междупластья $h_m = 130,0$ м. Коэффициент надработки $K_n = 40,4$. Угол влияния составил 70° . Гармонический процесс не наблюдается. Повышенное давление отражается на изменении размеров выработки очень слабо.

Конвейерный штрек 5K7–B. Выработка расположена под краевыми частями, находящимися на пластах K_{12} и K_{10} . Просматривается влияние двух гармонических процессов. Угол влияния от пласта K_{12} составляет 66° , от пласта $K_{10} - 67^\circ$. Длина полуволн обоих гармонических процессов составляет 15 м.

Конвейерный штрек 22K12 – 1 – Ю (рис. 5). Выработка расположена над краевой частью пласта K_{10} , вынимаемая мощность которого

$m_b = 2,1$ м. Мощность междупластья $h_m = 24$ м. Коэффициент подработки $K_{\Pi} = 11,4$. Угол влияния составил 62° . Наблюдается волновой процесс с длиной полуволны, равной 36 м. Однако полуволны разделены площадкой длиной 12 м, которая находится под консолью основной кровли. В районе сопряжения с выработкой, проходящей перпендикулярно исследуемой, наблюдается искажение волнового процесса.

Газодренажный штрек № 1 пласта K_{12} . Выработка расположена над краевой частью пласта K_{10} , вынимаемая мощность которого $m_b = 2,1$ м. Мощность междупластья $h_m = 22$ м. Коэффициент подработки $K_{\Pi} = 10,5$. Наблюдается ярко выраженный волновой процесс. Длина полуволны составляет 36 м. Под консолью основной кровли имеется площадка длиной 11 м, которая разделяет полуволны. Угол влияния первой полуволны составляет 62° .

Конвейерный штрек 133 $T_3 - Ю$ (рис. 6). Выработка расположена над краевой частью пласта T_1 , вынимаемая мощность которого $m_b = 1,6$ м. Мощность междупластья $h_m = 25$ м. Коэффициент подработки $K_{\Pi} = 15,6$. Угол влияния составляет 64° . Наблюдается затухающий гармонический процесс. Длина полуволны равна 12 м.

Вентиляционный штрек 112 $K_{12} - С$. Выработка расположена над краевой частью пласта K_{10} , вынимаемая мощность которого $m_b = 3,59$ м. Мощность междупластья $h_m = 85$ м. Коэффициент подработки $K_{\Pi} = 23,7$. Угол влияния зафиксировать не удалось вследствие завала выработки над краевой частью пласта K_{10} . Длина полуволны гармонического процесса составляет 30 м.

Выводы

Результаты проведенных наблюдений показывают следующее.

1. Высота выработок, расположенных под целиками (краевыми частями) (см. рис. 1–4), изменяется по закону затухающей синусоиды. При этом длина полуволны $\lambda/2$ соответствует мощности основной кровли над выработкой.

2. Высота выработок, расположенных над целиками (краевыми частями) (см.рис. 5, 6), также изменяется волнообразно. Однако это изменение имеет более сложный характер, связанный со свойствами подработанного массива. В подработанном массиве среда изменяется по мере увеличения междупластья от сыпучей и трещиноватой до сплошной. Поэтому и характер влияния опорного давления меняется в соответствии с изменением среды. Здесь целесообразно использовать комплексный показатель удаленности горной выработки от источника опорного давления – кратность подработки K_{Π} :

$$K_{\Pi} = h_m / m_b,$$

где h_m – мощность междупластья, м; m_b – вынимаемая мощность подрабатываемого пласта, м.

При кратности подработки до 14,5 (зона обрушения согласно [13]) основным фактором, влияющим на характер опорного давления, является обрушаемость пород. В частности, длина полуволны опорного давления соответствует шагу вторичного обрушения пород основной кровли, который можно определить [14] по формуле

$$L = \sqrt{\frac{3h_{o.k} \sigma_{сж}}{\gamma_{o.k}}}, \text{ м}$$

где $h_{o.k}$ – мощность слоя пород основной кровли, м; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на одноосное сжатие пород основной кровли, МПа; $\gamma_{o.k}$ – плотность пород основной кровли, т/м³.

При этом под зависшей консолью основной кровли имеется участок, не подверженный влиянию опорного давления (см. рис. 5, 6).

При кратности подработки от 14,5 до 21,0 (зона интенсивного расслоения [13]) происходит сглаживание различий между характером влияния опорного давления при подработке и надработке угольных пластов.

При дальнейшем увеличении мощности междупластья характер влияния опорного давления как при подработке, так и при надработке одинаков. Однако амплитуда изменений

высоты выработки и дальность влияния опорного давления при подработке в 1,6 раза больше, чем при надработке.

Таким образом, выявленный волновой характер распространения опорного давления под (над) целиками и краевыми частями позволяет прогнозировать проявления горного давления в зонах ПГД. Выявление закономерностей перераспределения напряжений под (над) целиками и краевыми частями угольных пластов позволит разработать достоверные методики и рекомендации по построению зон

ПГД для подготовительных и вскрывающих выработок, что существенно сократит протяженность выработок в зонах влияния целиков и краевых частей, оставленных на соседних пластах, за счет научно обоснованного определения конфигурации и дальности влияния зон ПГД и вследствие этого значительно уменьшит затраты на управление горным давлением в подготовительных и вскрывающих выработках при разработке свит угольных пластов.

Библиографический список

1. Ходырев Е. Д. Определение предельных размеров охранных угольных целиков и действующих в них напряжений. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2010;(6):170–180.
2. Зборщик М. П., Грищенко Н. Н. Компьютерное моделирование геомеханических параметров отработки свит угольных пластов. *Сб. науч. тр. НГА Украины*. 1999;(7):3–7.
3. Грищенко Н. Н., Черняев В. И. Расчет и построение зон повышенного горного давления при многократной подработке и надработке угольных пластов. *Горно-металлургические проблемы Донбасса: Сб. науч. тр.* Донецк: ДонГТУ. 1995;(1):80–90.
4. Литвиновская Н. А. *Прогнозирование и предотвращение газодинамических явлений из почвы при проходке подготовительных горных выработок в подработанном массиве соляных пород*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Пермь; 2011. 17 с.
5. Петухов И. М., Беляков П. К., Зубков В. В. и др. *Оценка выбросоопасности угольных пластов в зонах повышенного горного давления*. М.; 1987. 35 с.
6. Петухов И. М. *Горные удары на угольных шахтах*. СПб., 2004. 238 с.
7. Калинин С. И., Лютенко А. Ф., Егоров В. П., Дьяконов С. Г. *Управление горным давлением при разработке пологих пластов с труднообрушаемой кровлей на шахтах Кузбасса*. Кемерово: Кемеровское кн. изд-во; 1991. 247 с.
8. *Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля: метод. указания*. Л.: ВНИМИ, 1973. 130 с.
9. Ходырев Е. Д. Построение зон ПГД на угольных пластах с учетом изменения горнотехнических и геологических факторов. *Наукові праці УкрНДМІ НАН України*. 2010;(7):64–75.
10. Рогачков А. В. *Обоснование способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зонах повышенного горного давления при разработке сближенных пластов*: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб.; 2010. 20 с.
11. Черняк И. Л., Бурчаков Ю. И. *Управление горным давлением в подготовительных выработках глубоких шахт*. М.: Недра; 1984. 300 с.
12. Кузяра В. И., Колесников В. Г., Комлев Е. С., Светличный В. Н. Закономерности формирования опорного давления впереди очистных забоев. *Уголь Украины*. 1990;(11):15–16.
13. Лис С. Н., Вареха Ж. П. Самоорганизация горного массива при техногенных воздействиях на него. *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2016;(7):237–250.
14. *Рекомендации по рациональному расположению и креплению подготовительных выработок при технологии бесцеликовой выемки угольных пластов на шахтах Карагандинского бассейна*. Караганда: КНИУИ; 1982. 40 с.

References

1. Khodyrev E. D. Determination of the limiting dimensions of protecting coal pillars and stresses in them. *Proceedings of UkrNIMI, National Academy of Sciences of Ukraine*. 2010;(6):170–180. (In Russ.).
2. Zborshchik M.P., Grischenkov N.N. Computer simulation of geotechnical parameters for mining coal measures. *Proceedings of National Mining Association of Ukraine*. 1999;(7):3–7. (In Russ.).
3. Grischenkov N. N., Chernyaev V. I. Calculation and simulation of increased rock pressure zones at multiple undermining and overworking of coal seams. *Mining and metallurgical issues of Donbass: Proceedings*. Donetsk, DonSTU. 1995;(1):80–90. (In Russ.).
4. Litvinovskaya N. A. *Prediction and prevention of gas-dynamic phenomena in the soil during drifting of development drifts in undermined salt rock mass*. Extended abstract of Cand. Sci. Dissertation in engineering science. Perm; 2011. 17 p. (In Russ.).
5. Petukhov I. M., Belyakov P. K., Zubkov V. V. et al. *Evaluation of outburst hazard of coal seams under conditions of increased rock pressure*. Moscow; 1987. 35 p. (In Russ.).
6. Petukhov I. M. *Rock bursts at coal mines*. St. Petersburg; 2004. 238 p. (In Russ.).
7. Kalinin S. I., Lutenko A. F., Egorov V. P., Dyakonov S. G. *Rock pressure control during extraction of flat-lying seams with hard-to-collapse roofs at Kuzbass mines*. Kemerovo: Kemerovo Publishing House; 1991. 247 p. (In Russ.).
8. *Calculation and experimental assessment of stresses in pillars and edge parts of coal seam: Guidelines*. Leningrad: VNIMI; 1973. 130 p. (In Russ.).
9. Khodyrev E. D. Construction of increased rock pressure zones at coal seams taking into account changes in mining and geological factors. *Proceedings of UkrNIMI, National Academy of Sciences of Ukraine*. 2010;(7):64–75. (In Russ.).
10. Rogachkov A. V. *Substantiation of the methods to ensure stability of development drifts in zones of increased rock pressure when extracting contiguous seams*. Extended abstract of Cand. Sci. Dissertation in engineering science. St. Petersburg; 2010. 20 p. (In Russ.).
11. Chernyak I. L., Burchakov Yu. I. *Rock pressure control in development drifts of deep mines*. Moscow: Nedra Publ.; 1984. 300 p. (In Russ.).
12. Kuzyara V. I., Kolesnikov V. G., Komlev E. S., Svetlichny V. N. Regularities of abutment pressure origination in front of stoping faces. *Coal of Ukraine*. 1990;(11):15–16. (In Russ.).
13. Lis S. N., Vareha J. P. Self-organization of a rock mass under anthropogenic impacts on it. *Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2016;(7):237–250. (In Russ.).
14. *Recommendations on rational arrangement and support of development drifts when using the method of pillar-free extraction of coal seams at the Karaganda basin mines*. Karaganda: KNIU Publ.; 1982. 40 p. (In Russ.).