

УДК 622.1:622.834

**О ВЛИЯНИИ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ
НА ПРОЦЕССЫ СДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ****ABOUT THE INFLUENCE OF RATE OF FACE ADVANCE
ON THE PROCESSES OF EARTH SURFACE'S SUBSIDENCE**

Свирко Сергей Владимирович,
аспирант, e-mail: svirko@ngs.ru
Sergey V. Svirko, Postgraduate

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация.

Актуальность работы: В научных исследованиях в области подрабатываемых горных массивов влияние скорости подвигания очистных забоев на процессы сдвижения земной поверхности оценивается неоднозначно, что свидетельствует о недостаточной проработанности этого направления.

Цель работы: Целью работы является установление взаимосвязи оседаний отдельных точек подрабатываемой поверхности на профильной линии по простиранию со скоростью подвигания забоя с учетом прочих влияющих факторов.

Методы исследования: Закономерности процесса сдвижения отдельных точек земной поверхности, подрабатываемой горными работами, выявляются частотными инструментальными наблюдениями на профильных линиях. Дальнейший анализ производится математическими методами, в том числе и с привлечением теории случайных чисел.

Результаты: При формировании динамической мульды сдвижения зависимость между скоростями подвигания и оседаниями отдельных точек в полумульде «позади забоя» не прослеживается. В полумульде «впереди забоя» увеличение скорости подвигания очистного забоя уменьшает динамические оседания. Установлены эмпирические зависимости оседаний отдельных точек поверхности от положения очистного забоя.

Abstract.

The urgency of the discussed issue: The influence of rate of face advance on the processes of earth surface's subsidence is estimated ambiguous by different scientific investigators. This phenomenon indicates insufficient level of knowledge in this area.

The main aim of the study: The study aim is establishment the relations between the vertical point's displacements on profile line in the direction across the strike and rate of face advance and other impact parameters.

The methods used in the study: Patterns of individual point's displacement of the undermined earth's surface are identified by frequency instrumental observations on the relevant lines. Further analysis is done by mathematical methods, including with the random numbers theory.

The results: In the rear half of the mold the influence of face advance speed has not been revealed. In the front half of the mold increase of face advance rate reduces dynamic subsidence. Empirical relationships between subsidence of individual points on the undermined surface and positions of the working face are established.

Ключевые слова: Земная поверхность, подработка, динамическая мульда, оседание, скорость подвигания забоя, закономерность, расчет.

Key words: Daylight surface, undermining, dynamic zone of displacement, subsidence, rate of face advance, regularity, calculation.

Объем публикаций, посвященных динамическим процессам, сопровождающим активную стадию сдвижений подрабатываемой земной поверхности, в отечественной литературе достаточно мал в общем числе исследований в области познания геомеханических процессов, протекающих в подземной угледобывающей геотехнической системе.

Это свидетельствует о недостаточной проработанности данного направления.

Сложность проблемы динамических проявлений сдвижения горных пород при подработке быстро движущимися очистными забоями иллюстрируется тем, что даже сегодня влияние изменения скорости подвигания очистного забоя на гео-

механические процессы, протекающие в массиве при больших скоростях подработки массива, оцениваются неоднозначно. Ряд исследователей [2-5], основываясь на наблюдениях за сдвижением горных пород и земной поверхности под влиянием горных разработок, указывают, что увеличение скорости подвигания очистных работ во многих случаях уменьшает деформации земной поверхности.

Целый ряд специалистов придерживаются другого взгляда на эффект скорости подвигания очистного забоя. Так Р.А. Муллер [6], А.Н. Медянцев [7], М.А. Иофис [8], В.Н. Земисев [9], В.С. Костенич [10], Е.Г. Петрук [11], В.И. Мякенький [12], А. Ковальски [13] и другие установили, что скорость подвигания очистного забоя не оказывает существенного влияния на величины деформаций земной поверхности, а увеличивает или уменьшает продолжительность и интенсивность процесса сдвижения. Учитывая, что скорость подвигания очистных забоев лав, над которыми наблюдались сдвижения земной поверхности, не превышала 100м/мес и варьировалась в незначительных пределах, можно допустить о её несущественном влиянии на процесс сдвижения земной поверхности. Однако если рассматривать существующие в настоящее время скорости подвигания, то сделанный вывод о несущественной роли скорости является преждевременным.

Автор работы [2] отмечает, что скорость подвигания очистного забоя существенно влияет на геомеханические процессы, протекающие в массиве. Механизм этого влияния действует через удлинение зависающих консольных слоев горных пород, в результате чего перемещаются точки перегиба кривой оседания, уменьшаются их наклоны и текущие величины самих оседаний, изменяется траектория точек земной поверхности в процессе оседаний. Прогноз динамики обрушений сделан при помощи математического моделирования (методом конечных разностей) для 13-й восточной лавы шахты им. А.Ф. Засядько по пласту l_1 для трех скоростей подвигания лавы: 160 м/мес., 120м/мес. и 80м/мес.

Исследованиями установлено, что скорость подвигания лавы существенно влияет на характер динамики сдвижений подрабатываемой толщи: на длину зависаний и их высоту. При больших скоростях подвигания длина зависаний примерно 150м, при малых – около 50м. Наблюдается общая неравномерность зависаний по всей длине лавы. При уменьшении скорости подвигания уменьшается шаг зависаний. При малых скоростях появляются локальные зависания в некоторых участках лавы.

На основе выполненного плоского моделирования методом МКЭ Мустафин М.Г. [3] делает заключение, что при высокой скорости призабойная область (породы кровли) может не претерпевать значительных разрушений, относительно

случаев, когда лава движется с малой скоростью. В этом случае в краевой части накапливается большая энергия упругих деформаций, способная реализоваться при разрушении пород с динамическим эффектом. Это может произойти и при остановке лавы, отработывавшейся с большой скоростью.

Автором работы [4] утверждается, что быстрое подвигание забоя приводит к более интенсивному опусканию кровли. С увеличением скорости подвигания трещиноватость в породах развивается медленнее, породы начинают меньше деформироваться, вследствие чего устойчивость обнаженных пролетов кровли увеличивается.

В работе [14] показано, что увеличение скорости подвигания очистного забоя в 2 раза приводит к уменьшению опускания кровли на максимальном расстоянии от забоя при разных крепях и способах выемки на 34 – 41% и увеличению скорости опускания на 34 – 46%. В то же время автором [15] доказывается, что увеличение скорости подвигания забоя от 3-4 до 10-12м/сут. практически не оказывает влияния на величину опускания кровли.

Исследованиями в лабораторных условиях [16] установлено, что при увеличении скорости подвигания очистного забоя смещение кровли уменьшается и впереди забоя, и в призабойном пространстве. Увеличение скорости подвигания с 1,3 до 20,7м/сут. привело к уменьшению смещения кровли и почвы на расстоянии 4м от забоя в 4 раза. Когда скорость меняется в интервале 22,5 – 180м/мес., наблюдается ряд изменений в поведении пород кровли. При скоростях подвигания до 40м/мес. породы непосредственной кровли интенсивно расслаиваются над выработанным пространством, характер их обрушения резкий. С увеличением скорости подвигания расслоение происходит менее интенсивно.

В работе [17] определяется зависимость времени разрушения пород от скорости подвигания лавы для условий шахты «Красноармейская-Западная №1». Автором сделан вывод, что устойчивости кровли можно достичь изменением скорости подвигания лавы до значения, при котором породный слой не будет успевать разрушиться в зоне опорного давления. Минимально допустимая скорость подвигания лавы, препятствующая разрушению кровли, должна быть обеспечена технологически в течение всего времени отработки всего выемочного столба. Остановка очистного забоя на время, большее времени разрушения пород, может привести к обрушению кровли, ухудшению условий работы крепи, завалу лавы.

Обобщая проведенный анализ работ, посвященных исследованию влияния скорости подвигания очистного забоя на кровлю выработки и призабойный массив, несмотря на неоднозначность сделанных в них выводов, можно утверждать, что наблюдаемая динамика процессов

сдвигения в массиве проявится в мульде земной поверхности. С ростом скорости подвигания очистного забоя увеличивается пролет ослабленных пород и уменьшается угол наклона подработанной толщи, в том числе пород основной и непосредственной кровель, вследствие чего смещение кровли на фиксированном расстоянии от линии забоя уменьшается. Это приводит к выполаживанию мульды сдвигения на дневной поверхности и увеличению пролета ослабленных пород в толще подработанного массива [18].

Как отмечалось выше, среди специалистов горного производства нет единого мнения о характере влияния скорости подвигания очистного забоя на состояние дневной поверхности. В работе [19] приводятся некоторые сведения о влиянии скорости подвигания очистного забоя на характер формирования динамической мульды сдвигения дневной поверхности. Автор утверждает, что для каждого конкретного горно-геологических условий должна существовать такая скорость подвигания очистного забоя a_{min} , при которой сдвигения и деформации динамической мульды сдвигения становятся равными сдвигениям и деформациям окончательно сформировавшейся мульды сдвигения. Степень уменьшения сдвижений и деформаций динамической мульды сдвигения по отношению к сдвигениям и деформациям окончательно сформировавшейся мульды равна отношению $\frac{a}{a_{min}}$, где a – фактическая скорость

подвигания очистного забоя ($a \geq a_{min}$). Всякое увеличение скорости подвигания забоя, при котором a остается меньше a_{min} , не влияет на деформации земной поверхности, а вызывает такое же увеличение средней скорости сдвигения горных пород.

Англичанин Бригс [20, 21] отмечал положительный эффект увеличения скорости подвигания очистного забоя на состояние дневной поверхности и уменьшения риска разрушения объектов над разрабатываемой площадью. В трудах И.М. Бахурина имеется упоминание о целом ряде случаев, когда увеличение скорости подвигания очистных работ также благоприятно сказывается на состоянии объектов, расположенных на подрабатываемой горными работами территории [22].

Г. Кратч [23] вводит временной коэффициент Z , характеризующий развитие процесса сдвигения во времени в виде отношения:

$$Z = \frac{v_{z \text{ дин}}}{v_{z \text{ кон}}} \quad (1)$$

где $v_{z \text{ дин}}$ – оседания в промежуточной стадии; $v_{z \text{ кон}}$ – оседания в конечной стадии. Он отмечает, что мнения исследователей по вопросу о развитии во времени сдвижений в подрабатываемом породном массиве расходятся. В то время, как некоторые специалисты считают, что оседание земной поверхности начинается сразу же после того, как непосредственная кровля опустится в результате выемки небольшой части площади

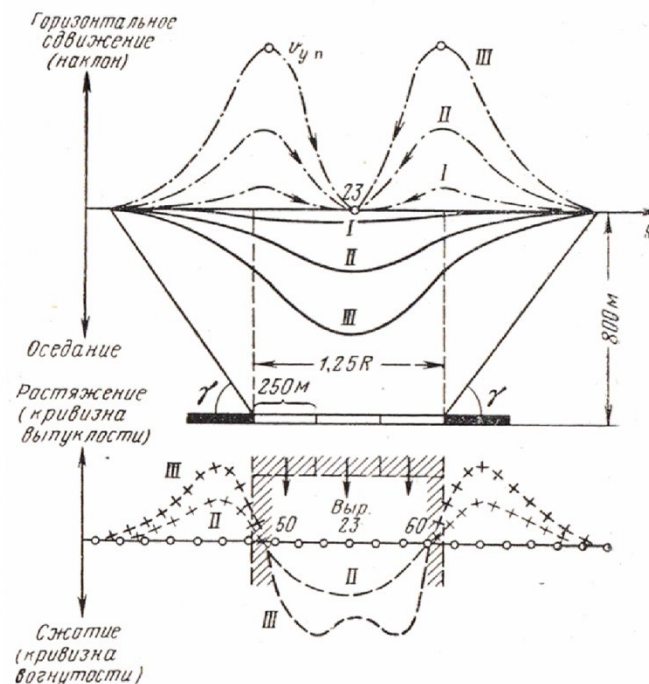


Рис. 2. Кривые сдвигения и деформации земной поверхности в мульде сдвигения для конечной стадии сдвигения в направлении вкрест простирания для трех этапов подработки наблюдательной линии тремя одновременно движущимися лавами (наблюдательная линия проходит через середину площади полной подработки).

очистной выработки, другие утверждают, что в направлении снизу вверх должно иметь место замедление оседания от слоя к слою, то есть скорость оседания породных слоев должна быть различной в зависимости от глубины их залегания. Неодинаковая скорость оседания породных слоев в различных зонах породного массива объясняется направленными по нормали к напластованию деформациями от разгрузки и расслоением пород над очистной выработкой, вследствие чего оседания точек и прогибов слоев по мере приближения к земной поверхности уменьшаются, причем уменьшаются также и деформации растяжения по нормали к напластованию. Если же отнестись величину оседания точек, когда влияние деформаций растяжения по нормали к напластованию исключается, то окажется, что относительная скорость оседания лежащих на одной вертикали точек породного массива от основной кровли до земной поверхности будет примерно одинаковой.

При анализе развития процесса сдвижения во времени необходимо различать наблюдения на отдельной точке и на наблюдательной линии, заложенной по простиранию или по падению пласта, а также сдвижения, происходящие над неподвижным (исходным) забоем, над движущимся фронтом очистных работ и над временно приостановленном добычным забоем. По результатам наблюдений на отдельной точке получаем зависи-

мость сдвижения этой точки от времени, а по результатам измерений на наблюдательной линии – картину развития деформаций мульды сдвижения на разрезе породного массива.

Рассматривая особенности развития мульды оседания по простиранию и вкрест простирания пласта (рис. 1 – 2), автор [23] отмечает, что экстремальные значения параметров процесса сдвижения смещаются вместе с движущимся забоем к правому краю мульды, причем следует отличать кривые динамических значений параметров (при движущемся забое), наблюдаемых на I, II и III этапах отработки, от кривых на конечную стадию развития процесса сдвижения, достигаемую только через один – три года после прекращения горных работ при неизменном положении очистного забоя (на рис. 6 кривая динамических значений оседания для III этапа отработки показана пунктиром, а кривая оседаний для конечной стадии процесса – сплошной линией).

Вертикальной штриховкой на рисунке выделены оседания после прекращения очистных работ. Над левой границей очистных работ (у разрезной печи) и зоной опорного давления сдвижения земной поверхности возрастают только до тех пор, пока обрабатывается первая половина площади полной подработки. Последующие очистные работы, проводимые вправо от положения, соответствующего II этапу отработки, уже не оказы-

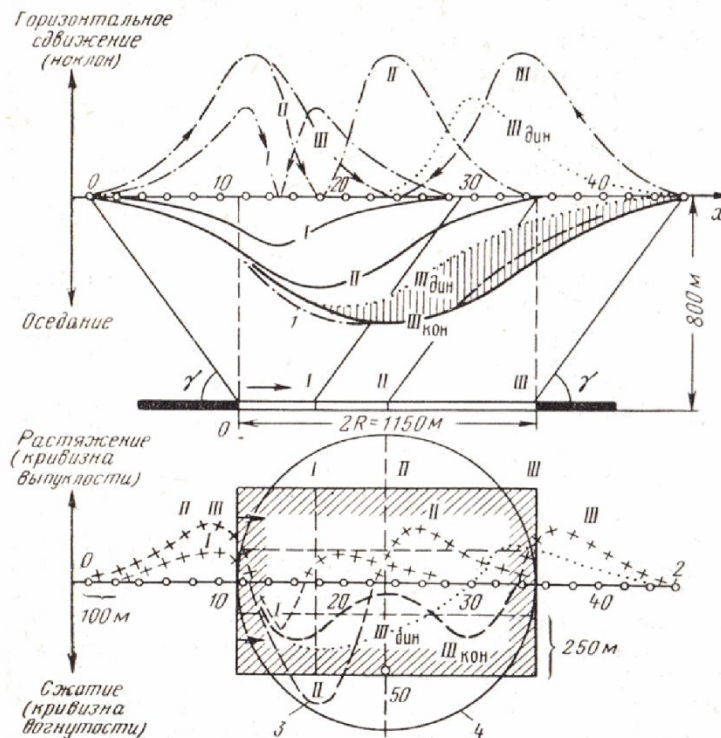


Рис. 1. Кривые сдвижения и деформации земной поверхности в мульде сдвижения для трех последовательных этапов подработки и разрез мульды сдвижения по наблюдательной линии, ориентированной по простиранию: I, II и III – конечная стадия сдвижения соответственно при неполной (I и II) и полной (III) подработке; 1 – асимметричный профиль, 2 – наблюдательная линия, 3 – критический максимум деформаций сжатия, 4 – окружность, ограничивающая площадь полной подработки.

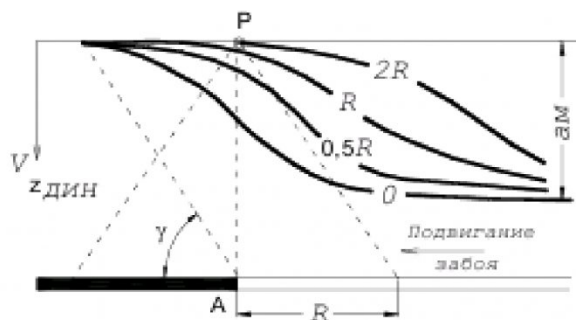


Рис. 3. Типовые кривые оседания при различной скорости подвигания очистных работ

вают на левую зону опорного давления.

По направлению вкрест простирания пласта с самого начала возникают стационарные зоны сдвижения впереди и позади фронта очистных работ, параллельного наблюдательной линии (рис. 2). На этой линии, проходящей через точку 23 первой наблюдательной линии, по мере подвигания очистных работ от начального положения 0 до конечного положения III мульда оседания всё время остается симметричной (заметим, что это справедливо только для горизонтального залегания пласта), но глубина ее непрерывно возрастает и соответственно непрерывно возрастают горизонтальные сдвижения, наклоны, кривизна и деформация растяжения над зоной опорного давления, а также сжатия над средней частью мульды.

Автор отмечает, что профили мульды получаются тем более пологими, чем быстрее ведутся горные работы. Как объясняет автор, это происходит потому, что в зависимости от скорости подвигания забоя данное положение профиля мульды достигается раньше или, наоборот, позднее, так что при большой скорости подвигания проявление влияния очистных работ будет менее длительным,

прогиб породных слоев небольшим и уплотнение обрушенных пород также незначительным. То есть происходит выполаживание следующего за забоем склона мульды при увеличении скорости очистных работ и, как следствие, малые величины наклонов и кривизны земной поверхности. При этом скорость подвигания очистного забоя изменялась от 0 до 4 м/мес, или выраженная в долях радиуса R окружности, ограничивающей площадь полной подработки, от 0 до $2R$ в год, как показано на рис. 3.

В последние годы разработка угольных пластов на шахтах России характеризуется применением интенсивных технологий с существенным увеличением нагрузки на отдельный очистной забой и, соответственно, скорости его подвигания. Если 15–20 лет назад скорости подвигания очистных забоев редко превышали 150м/мес., то в настоящее время они достигли 450м/мес. и более. При нынешних нагрузках на механизированные комплексы, которые в отдельные сутки доходят до 20000т, можно ожидать в ближайшей перспективе скоростей подвигания очистных забоев до 600м/мес.

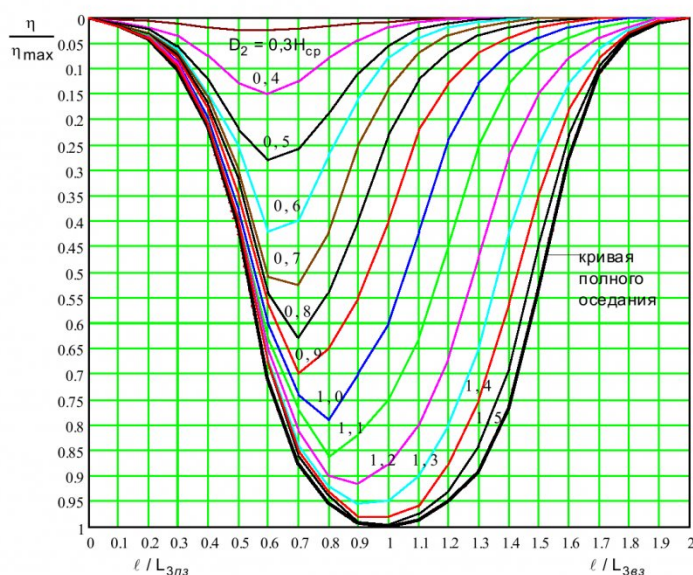


Рис. 4. Графики типовых кривых оседаний поверхности в главном сечении по простиранию пласта при отходе очистного забоя от монтажной камеры на расстояния $D_2 = (0,3 - 1,6)H_{CP}$.

Таблица 1 - Численные значения функций $Sv_{\eta\delta z}$ и $Sv_{\eta,\delta M}$ в точках $z_i = \ell_i / L_{3\delta M, \delta z}$

В динамической микромульде $L_{3\delta M}$ при $D_2 < 1,6 H_{cp}$													
$z_i = \ell_i / L_{3\delta M}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Sv_{\eta,\delta M}$	0	0,02	0,05	0,21	0,65	0,94	1,0	0,94	0,63	0,19	0,05	0,02	0
В полумульде впереди забоя $L_{3\delta z}$ при $D_2 \geq 1,6 H_{cp}$													
$z_i = \ell_i / L_{3\delta z}$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,53	1,57	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$Sv_{\eta\delta z}$	0	0,02	0,05	0,13	0,34	0,86	0,95	1,0	0,95	0,43	0,13	0,03	0

В этой связи особого внимания заслуживают исследования А.С. Ягунова [5] по вопросам сдвижений и деформаций земной поверхности в динамике при высоких скоростях подвигания забоев лав (до 15м/сут.) в Кузбассе. Развитие динамической мульды сдвижения представлено типовыми кривыми для различных положений очистного забоя относительно разрезной печи, выраженных в относительных единицах (рис. 4).

По мнению автора, динамическая мульда имеет по площади своё распределение скоростей оседаний, которое по форме совпадает с кривой Гаус-

са – распределения ошибок протекания какого-либо случайного процесса. Тем не менее, в этих распределениях даже в направлении движения забоя имеются различия, которые следует выделить следующими названиями: ветвь распределения скоростей впереди забоя и ветвь распределения скоростей позади забоя. Кроме этого имеются различные ветви распределения скоростей на разрезе вкост простирания в полумульдах по падению и восстанию. Всего в мульде должно быть 4 ветви скоростей при движущемся забое, а также 4 ветви при отходе лавы от разрезной печи.

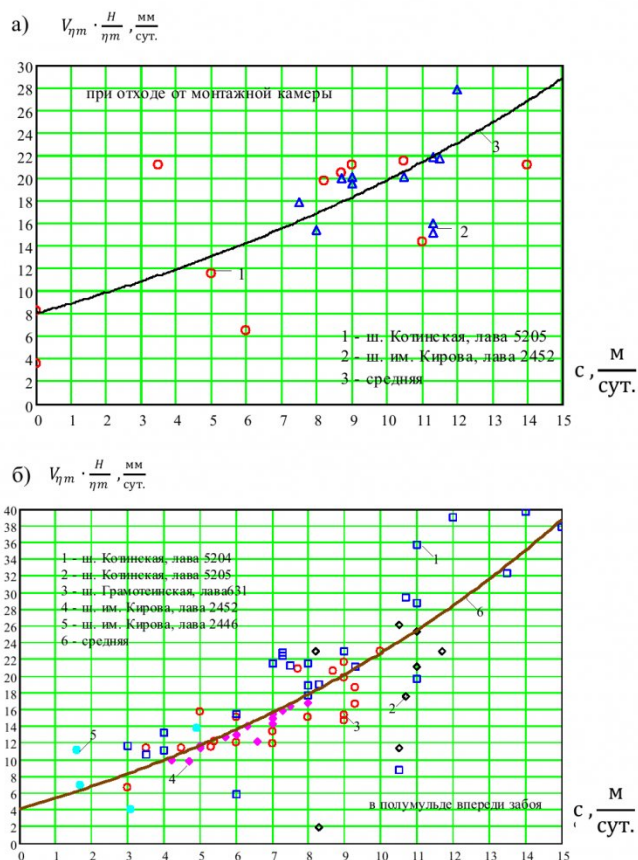


Рис. 5. Зависимости максимальной единичной скорости оседаний земной поверхности от скорости подвигания очистного забоя: а) при отходе от монтажной камеры; б) при развитом процессе сдвижения в полумульде впереди забоя.

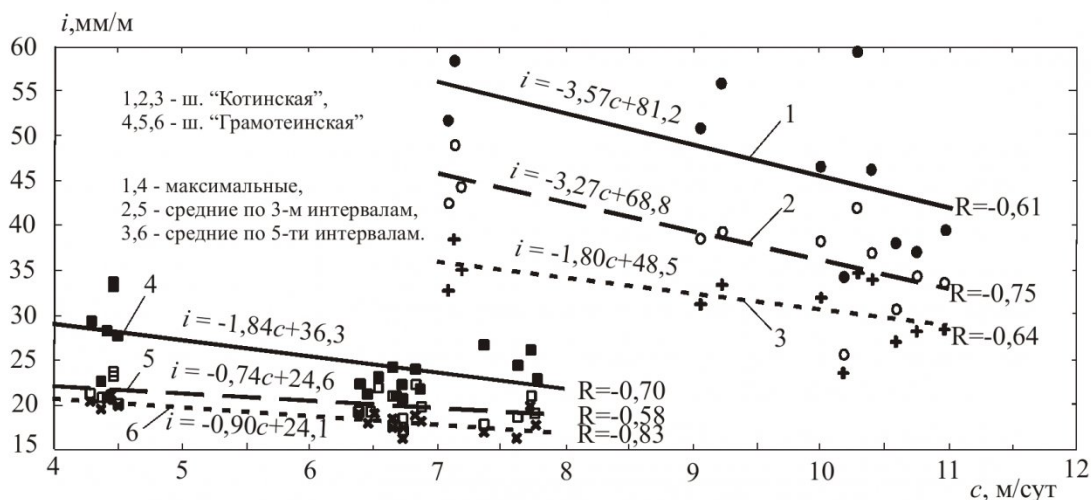


Рис. 6. Зависимость наклонов (i) от скорости продвижения забоя лавы (c).

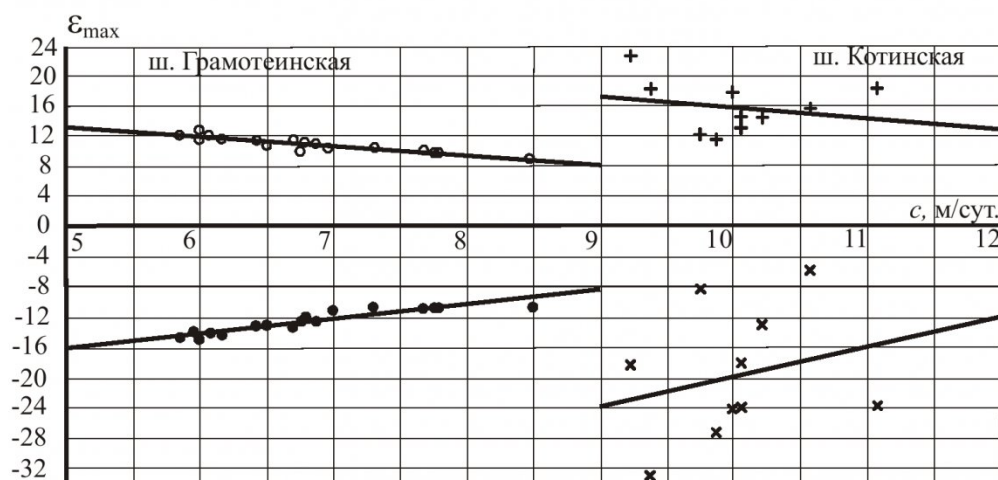


Рис. 7. Зависимость максимальных горизонтальных деформаций от скорости продвижения забоя лавы.

Для анализа распределения скоростей оседания в мульде использованы инструментальные измерения по 5-ти «скоростным» наблюдательным станциям, где единичные наблюдения проводились через 1-2 суток. По экспериментальным данным получены следующие зависимости максимальной скорости оседания $v_{\eta m}$ в мульде от скорости движения забоя лавы (c) на разрезе по простиранию при учёте скорости оседания при остановленном забое лавы (рис. 5):

$$v_{\eta m \text{ вв}} = \frac{1}{K_{\eta}} v_{\eta \text{ ост.}} (176 \cdot e^{0.074 \cdot c} - 135) \quad (2)$$

, мм/сут. при $D_2 \geq 1.6H_{CP}$;

$$v_{\eta m \text{ .дм}} = \frac{1}{K_{\eta}} v_{\eta \text{ ост.}} (160 \cdot e^{0.058 \cdot c} - 75) \quad (2)$$

, мм/сут. при $D_2 < 1.6H_{CP}$

По мнению автора эти зависимости учитывают кратность оседания, скорость продвижения забоя

лавы и инерционную способность массива деформироваться при остановленном забое, то есть при расчёте скоростей оседаний по данным зависимостям учитываются геометрические и механические свойства подрабатываемого массива пород.

Распределения скоростей оседаний в профиле динамической мульды в главном сечении по простиранию при развитом процессе сдвижений определяются по формулам:

- в полумульде впереди забоя при $D_2 \geq 1.6H_{CP}$ $v_{\eta \text{ в3}} = Sv_{\eta \text{ в3}} \cdot v_{\eta m \text{ в3}}$;
- в микромульде при $D_2 < 1.6H_{CP}$ $v_{\eta \text{ .дм}} = Sv_{\eta \text{ .дм}} \cdot v_{\eta m \text{ .дм}}$

(3)

где $Sv_{\eta \text{ в3}}$ и $Sv_{\eta \text{ в3}}$, также определенные по экспериментальным данным, выбираются из табл. 1.

Установлены зависимости максимальных величин наклонов земной поверхности и горизонтальных деформаций в главном сечении по простиранию от скорости продвижения очистного забоя (рис. 6 – 7).

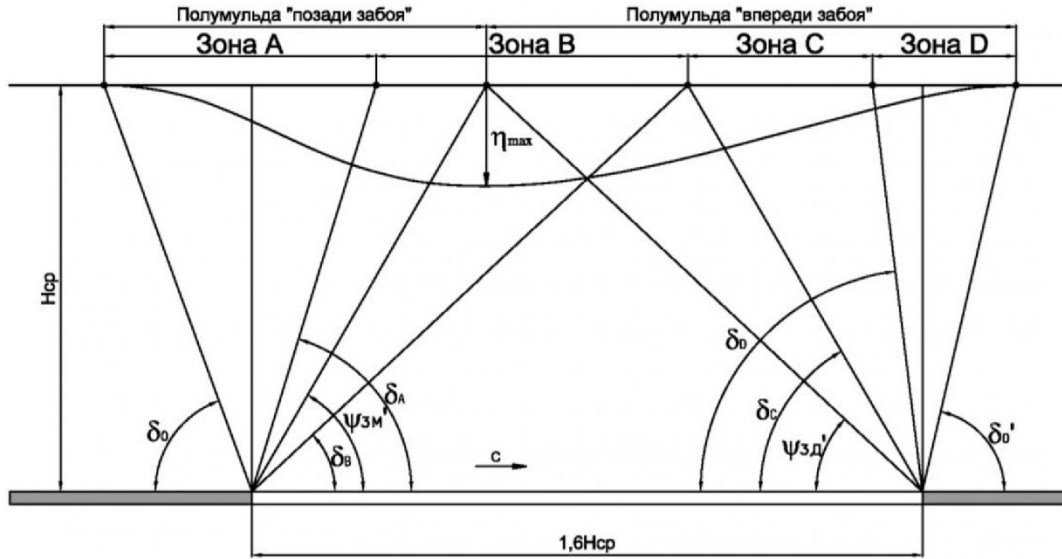


Рис. 8. Зоны сдвижения *A*, *B*, *C* и *D* в сформированной микромульде при положении очистного забоя $D_{2X} = 1,6H_{CP}$ на разрезе по простиранию лавы.

Несмотря на установленные зависимости параметров процесса сдвижения подрабатываемой земной поверхности от скорости подвигания очистных забоев автор их не использует в расчетах прогнозирования сдвижений и деформаций в динамической мульде.

В данной статье приводятся некоторые результаты исследований влияния скорости подвигания очистных забоев механизированных лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса на динамику оседаний отдельных точек подрабатываемой земной поверхности. В работе [24] показано, что по характеру сдвижения точек земной поверхности в плоскости $\xi\theta\eta$ профиль динамической мульды по простиранию делится на 4 зоны *A*, *B*, *C* и *D* (рис. 8), размеры которых определяются по граничным углам δ_0 , δ'_0 и углам δ_A , δ_B , δ_C , δ_D , установленным по инструментальным наблюдениям.

Рассмотрим закономерности изменения оседаний точек земной поверхности в характерных зонах (*xz*) *A*, *B*, *C* и *D* в зависимости от текущего положения очистного забоя (*lt*) на интервале $D_{2X} = 1,6H_{CP}$. Исходные данные инструментальных наблюдений представим в нормализованном виде. Переход от традиционных единиц измерения к нормализованным осуществлен с использованием линейной нормализации, выполненной в пределах изменения переменных [0, 1] по формуле (4):

$$x_{nik} = \frac{x_{ik} - x_{\min k}}{x_{\max k} - x_{\min k}}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$k = 1, 2, \dots, N$$

где x_{ik} , x_{nik} – значения переменной в традиционном измерении и в нормализованном виде в *k*-той вы-

борке; $x_{\min k}$, $x_{\max k}$ – минимальное и максимальное значения переменной в *k*-той выборке; *n* – число данных в *k*-той выборке; *N* – число выборок.

Функции распределения оседаний в характерных зонах $S_{\eta,xz}(lt)$ представлены отношениями (5):

$$S_{\eta,xz}(lt) = \frac{\eta_{xz,ri,lt,k}}{\eta_{xz,max,ri,lt,k}}$$

где $\eta_{xz,ri,lt,k}$ – текущие значения наблюдаемых оседаний в характерных зонах (*xz*) отдельных точек поверхности (реперов *ri*) в продольной профильной линии *k*-той наблюдательной станции в моменты положения очистного забоя (*lt*); $\eta_{xz,max,ri,lt,k}$ – максимальные оседания реперов (*ri*), достигаемые при положении очистного забоя $D_{2X} = 1,6H_{CP}$, которое в нормализованном виде имеет значение $lt = 1$. Корреляционные поля исследуемых величин представлены на рис. 9. Здесь начало сдвижения каждого репера в характерных зонах помещено в начало координат.

Функции распределения оседаний, представленные на рис. 9, аппроксимированы выражениями:

$$S_{\eta,A} = 1 - e^{-7lt}$$

$$S_{\eta,B} = 0.362 \cdot \text{arcctg}(-13.3 \cdot lt + 3.5) - 0.1$$

$$S_{\eta,C} = 0.37 \cdot \text{arcctg}(-10 \cdot lt + 4.1) - 0.09 \quad (6)$$

$$S_{\eta,D} = 0.03 \cdot e^{3.536 \cdot lt} - 0.03$$

Максимальные оседания точек поверхности в выражении (5) зависят от их положения в мульде сдвижения. Распределение максимальных оседаний $S_{\eta,max}$ на интервале $D_{2X} = 1,6H_{CP}$ (то есть в сформировавшейся динамической микромульде)

установим по данным инструментальных наблюдений, используя терминологию А.С. Ягунова [5]. Здесь «динамическая микромульда» - это динамическая мульда сдвижения в начале своего развития (от начала возникновения до образования плоского дна). Микромульда при этом разбивается по простиранию лавы на 2 полумикромульды, так как распределения оседаний в каждой из них и их длины отличаются друг от друга. Полумульда со стороны разрезной печи называется «полумульда позади забоя» $l_{ПЗ}$, полумульда со стороны демон- тажной камеры - «полумульда впереди забоя» $l_{ВЗ}$.

Функции $S_{\eta_i, \max}(l_{ПЗ})$, $S_{\eta_i, \max}(l_{ВЗ})$ выражены соотношениями (7):

$$S_{\eta_i, \max}(l_{ПЗ}) = \frac{\eta_{ПЗ, \max, ri, Lt, k}}{\eta_{\max, k}} \quad (7)$$

;

$$S_{\eta_i, \max}(l_{ВЗ}) = \frac{\eta_{ВЗ, \max, ri, Lt, k}}{\eta_{\max, k}} ;$$

$$l_{ПЗ} \in [0;1]; l_{ВЗ} \in [1;2]$$

где: $l_{ПЗ} = \frac{l_{ПЗ}}{L_{ПЗ}}$, $l_{ВЗ} = \frac{l_{ВЗ}}{L_{ВЗ}}$ - текущие относитель- ные (нормализованные) величины полумульд позади забоя и впереди забоя. Величины $L_{ПЗ}$ и $L_{ВЗ}$ определяются через средние динамические углы полных сдвижений $\Psi_{ЗМ}'$ и $\Psi_{ЗД}'$ (рис. 8). Начало

отсчета $l_{ПЗ}$ принято со стороны монтажной каме- ры, а $l_{ВЗ}$ - от максимального оседания динамиче- ской микромульды; $\eta_{\max, k}$ - наблюдаемое макси- мальное оседание динамической мульды сдвиже- ния в k-той наблюдательной станции, прогнозная оценка которого производится по формуле «Прав- ил охраны...» [1]:

$$\eta_{\max} = m \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot q_0 \cdot \cos \alpha$$

где: m - вынимаемая мощность пласта, м;

α - угол падения пласта, град.;

N_1 и N_2 - коэффициенты подработанности;

q_0 - относительное максимальное оседание, вычисляемое для условий Кузбасса по формуле:

$$q_0 = 0.7 + 0.25 \frac{H_{П}}{H}$$

$H_{П}$ - мощность повторно подрабатываемых пород по линии θ , соединяющей точку макси- мального оседания земной поверхности с середи- ной очистной выработки, от которой производит- ся расчет деформаций, м;

H - мощность всей толщи по указанной линии θ , для условий Кузбасса определяемая по форму- ле:

$$H = \frac{H_{СР}}{\sin(90^\circ - 0.5\alpha)}$$

Вид найденных функций максимальных осе- даний точек поверхности в сформировавшейся микромульде приведен на рис. 10.

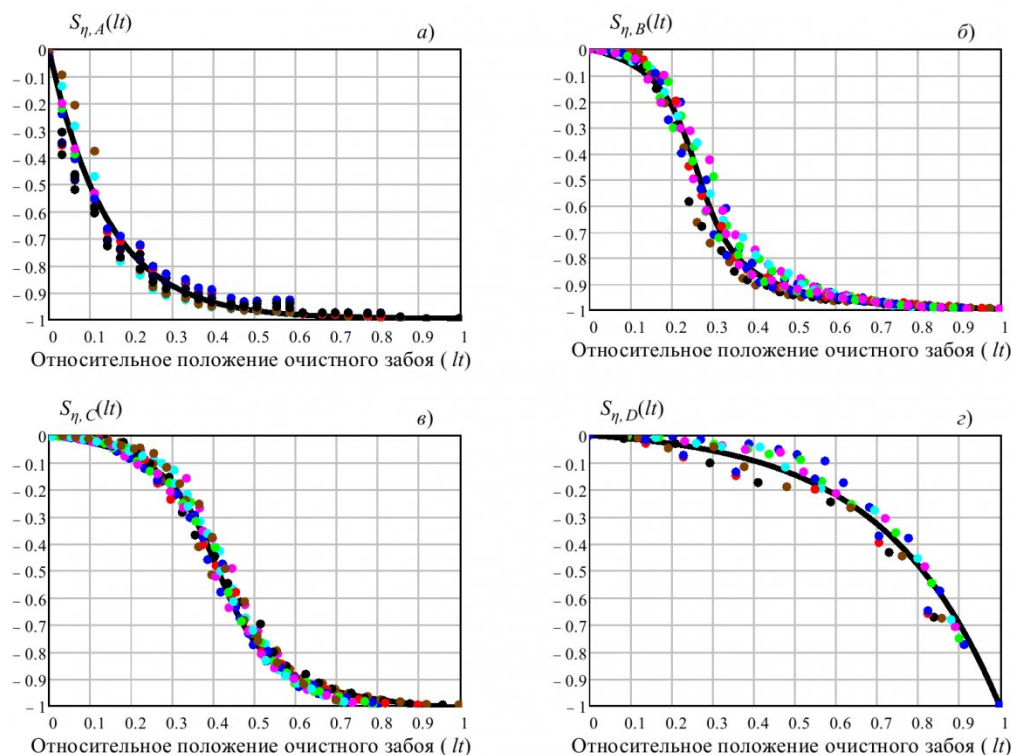


Рис. 9. Функции распределения оседаний (типовые кривые) отдельных точек подрабатываемой зем- ной поверхности в продольном сечении лавы в характерных зонах сдвижений А, В, С, D в зависимости от положения очистного забоя относительно монтажной камеры.

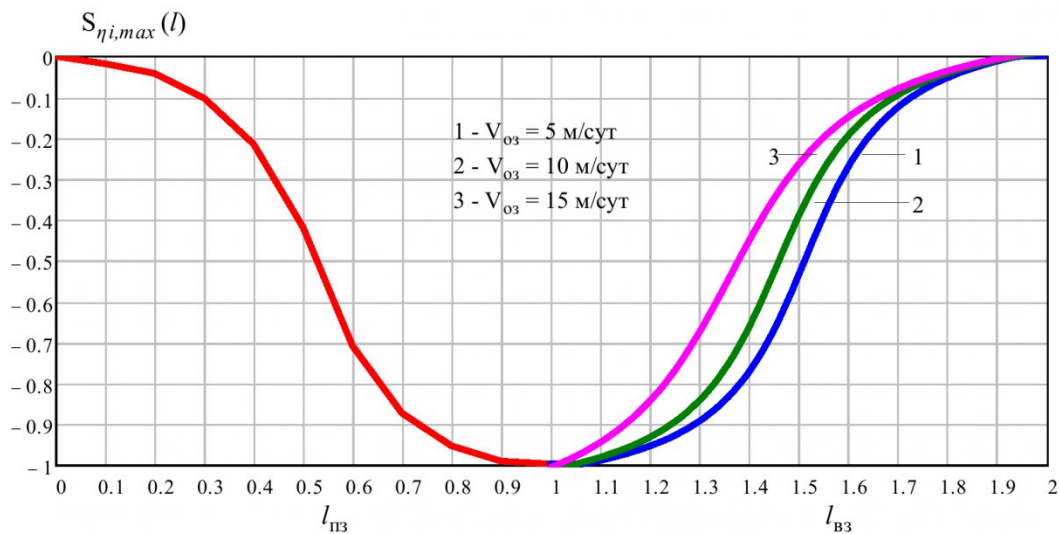


Рис. 10. Функции распределения максимальных оседаний точек поверхности в главном сечении по простиранию лавы в сформировавшейся микромудле при разных скоростях подвигания очистного забоя

Исследованиями установлено, что функция распределения $S_{\eta_i, max}(l_{ПЗ})$ полумудле позади забоя практически не изменяется с увеличением скорости подвигания очистного забоя и выражена эмпирической зависимостью (9):

$$S_{\eta_i, max}(l_{ПЗ}) = 0.382 \cdot \text{arcctg}(-8.045 \cdot l_{ПЗ} + 4.25) - 0.089 \quad (9)$$

Функция $S_{\eta_i, max}(l_{B3})$ изменяется при возрастании скорости подвигания очистного забоя лавы. Установлены эмпирические зависимости (10):

$$S_{\eta_i, max}(l_{B3}) = 0.392 \cdot \text{arcctg}(7.487 \cdot l_{B3} - 11.35) - 0.118 \quad (10)$$

при $V_{oz} = 5 \text{ м/сутки}$

$$S_{\eta_i, max}(l_{B3}) = 0.395 \cdot$$

$$\text{arcctg}(7.17 \cdot l_{B3} - 10.468) - 0.111$$

$V_{oz} = 10 \text{ м/сутки}$

$$S_{\eta_i, max}(l_{B3}) = 0.43 \cdot$$

$$\text{arcctg}(5.333 \cdot l_{B3} - 7.279) - 0.138$$

$V_{oz} = 15 \text{ м/сутки}$

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- максимальное оседание земной поверхности в динамической мудле сдвижения при полной отработке лавы определяется выражением (8), установленным «Правилами охраны...» [1].

- максимальные оседания отдельных точек (реперов) на разрезе по простиранию, соответствующие окончанию периода формирования динамической мудлы, зависят от их положения на профильной линии и могут быть определены в

полумудлах со стороны монтажной и демонтажной камер зависимостями (9, 10). Оседания точек полумудлы со стороны монтажной камеры не зависят от скорости подвигания очистного забоя. Для точек, расположенных в полумудле со стороны демонтажной камеры, увеличение скорости подвигания забоя уменьшает динамические оседания подрабатываемой поверхности (рис. 10, 9).

- оседания произвольной точки поверхности на профильной линии вдоль простирания в зависимости от положения очистного забоя для выделенных ранее характерных зон могут быть определены по формулам (6).

- конечные величины оседаний, соответствующие окончанию общей продолжительности процесса сдвижения, от скорости подвигания практически не зависят и определяются геометрией (размеры в плане, вынимаемая мощность) и расположением подземной выемки (глубина, угол падения).

Таким образом, рост скорости подвигания очистного забоя существенного влияния на конечные величины деформаций земной поверхности не оказывает, а лишь уменьшает их промежуточные динамические значения в полумудле со стороны демонтажной камеры, т.е. увеличение скорости меняет интенсивность протекания процесса сдвижения в полумудле «впереди забоя».

По установленным зависимостям (6 – 10) институтом СИГИ разработана методика прогноза ожидаемых оседаний отдельных точек подрабатываемой земной поверхности в главном сечении по простиранию лавы в динамике (в зависимости от положения очистного забоя лавы относительно монтажной камеры) с учетом скорости подвигания фронта очистных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. СПб, ВНИМИ, 1998, 290 с.
2. Назимко Е.В., Канин В.А., Демченко А.И., Ефремов И.А. Прогноз динамики обрушений при отработке примыкающей к ранее выработанному пространству лавы. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 1, 2007. – С. 173 – 189.
3. Мустафин М.Г. Влияние скорости подвигания очистного забоя на динамику разрушения пород кровли угольного пласта. // Сб. горного информ. – аналит. бюл. – М.: Изд-во МГТУ, 2008, №1. - С. 17-22.
4. Кравченко, В.И. Безопасность при управлении горным давлением в лавах пологих пластов. – М.: Недра, 1975. - 221с.
5. Ягунов А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / СФ ВНИМИ. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2010. – 239 с.
6. Муллер Р.А. Определение мульды сдвижения и скорости деформаций земной поверхности при движущемся забое // Сдвижение горных пород. – Л.: Изд. ВНИМИ, 1975. – Сб. 96. – С. 13-27.
7. Медянцева А.Н., Черняев В.И. Сдвижение и деформации горных пород в подрабатываемой толще // Уголь Украины. – 1961. – № 11. – С. 25–27.
8. Иофис М.А., Фастов Г.А. Характер развития деформаций в полумульде над движущимся забоем // Горное давление, сдвижение горных пород и методика маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1965. – Сб. 55. – С. 143-149.
9. Земисев В.Н. Современные проблемы сдвижения горных пород. // Уголь. - 1999.– № 10.– С. 23.
10. Костенич В.С., Зелепукин А.М. Результаты наблюдений за сдвижением и деформацией поверхности при большой скорости подвигания забоя и прерывной рабочей неделе // Сдвижения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1966. – Сб. 58. – С. 137-146.
11. Гавриленко Ю.Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В. Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя. / Проблеми гірського тиску. – Донецк: ДонГТУ – 2000. - Вып. 4. – С. 108-119.
12. Мякенький В.И. Сдвижение и дегазация пород и угольных пластов при очистных работах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 100 с.
13. Ковальски А. Деформация поверхности над быстродвигающимся фронтом горных работ // Proceedings IX Congress ISM, Praha 18.4-22.4. 1994. – С. 320-329.
14. Давидянц В.Т., Кравченко Г.Л. Измерения проявлений горного давления на шахтах Донецкого бассейна. – М.: Углетехиздат, 1960. - 208с.
15. Дубов Е.Д. Исследования в шахтных условиях взаимодействия механизированных крепей с боковыми породами на пологих пластах Донецкого бассейна. Автореф. дисс. канд. тех. наук. - Донецк, 1967. - 20с.
16. Медведчук, Н.Д. Влияние скорости подвигания очистного на проявление горного давления при выемке угольных пластов. Автореф. дисс. канд. тех. наук. - Донецк, 1968.- 27с.
17. Лобков Н.И. Исследование влияния скорости подвигания на работу очистного забоя. // Материалы научно-практической конференции «Наука – жизнь – производство», Красноармейск, 2001.- С . 28-30.
18. Дмитриев В.А. О влиянии скорости подвигания очистного забоя на смещение кровли. // Уголь Украины, 1980, №5. – С. 10 –11.
19. Батугин С.А. Влияние скорости подвигания очистного забоя на сдвижения и деформации земной поверхности. //Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методики маркшейдерских работ. - Л., Изд. ВНИМИ, 1963, том 50.
20. Бригс Г. Оседания и обрушения поверхности под влиянием горных разработок. Перевод с английского. - Л., Мир,1948.
21. Briggs. Mining subsidence at Barbauchlow Mine. «Trans. Inst. Min. Eng.», 1933,Vol. 85.
22. Бахурин И.М. Сдвижение горных пород под влиянием горных разработок Л., Гостоптехиздат,1946.
23. Кратч Г. Сдвижение горных пород и защита подрабатываемых сооружений; Пер. с нем. под ред. Р.А. Муллера и И.А. Петухова. – М.: Недра, 1978. – 494 с.
24. Свирко С.В., Ренев А.А. Особенности смещения точек подрабатываемой земной поверхности высокоскоростными очистными забоями при отработке полого-наклонных угольных пластов Кузбасса. // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2015, № 5, С.32-43

REFERENCES

1. Pravila ohrany sooruzhenij i prirodnyh ob#ektov ot vrednogo vlijanija podzemnyh gornyh razrabotok na ugol'nyh mestorozhdenijah. SPb, VNIMI, 1998, 290 s.
2. Nazimko E.V., Kanin V.A., Demchenko A.I., Efremov I.A. Prognoz dinamiki obrushenij pri otrabotke primykajushhej k ranee vyrabotannomu prostranstvu lavy. // Naukovi praci UkrNDMI NAN Ukraïni, № 1, 2007. – S. 173 – 189.
3. Mustafin M.G. Vlijanie skorosti podviganija ochistnogo zaboja na dinamiku razrushenija porod krovli ugol'nogo plasta. // Sb. gornogo inform. – analit. bjul. – M.: Izd-vo MGGU, 2008, №1. - S. 17-22.
4. Kravchenko, V.I. Bezopasnost' pri upravlenii gornym davleniem v lavah pologih plastov. – M.: Nedra, 1975. - 221s.
5. Jagunov A.S. Dinamika deformacij v podrabatyvaemom gornom massive / SF VNIMI. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2010. – 239 s.
6. Muller R.A. Opredelenie mul'dy sdvizenija i skorosti deformacij zemnoj poverhno-sti pri dvizhushhimsja zaboem // Sdvizhenie gornyh porod. – L.: Izd. VNIMI, 1975. – Sb. 96. – S. 13-27.
7. Medjancev A.N., Chernjaev V.I. Sdvizhenie i deformacii gornyh porod v podrabatyvaemoj tolshe // Ugol' Ukrainy. – 1961. – № 11. – S. 25–27.
8. Iofis M.A., Fastov G.A. Harakter razvitija deformacij v polumul'de nad dvizhushhimsja zaboem // Gornoe davlenie, sdvizhenie gornyh porod i metodika markshejderskih rabot / VNIMI. – 1965. – Sb. 55. – S. 143-149.
9. Zemisev V.N. Sovremennye problemy sdvizenija gornyh porod. // Ugol'. - 1999.– № 10.– S. 23.
10. Kostenich V.S., Zelepukin A.M. Rezul'taty nabljudenij za sdvizeniem i deformaciej poverhnosti pri bol'shoj skorosti podviganija zaboja i preryvnoj rabochej nedele // Sdvizhenija i deformacii massiva pri razrabotke mestorozhdenij s uchedom struktury i mehanicheskikh svojstv gornyh porod / VNIMI. – 1966. – Sb. 58. – S. 137-146.
11. Gavrilenko Ju.N., Papazov N.M., Morozova T.V. Dinamika osedanij zemnoj poverhnosti pri bol'shoj glubine razrabotki i vysokoj skorosti podviganija zaboja. / Problemi girs'kogo tisku. – Doneck: DonGTU – 2000. - Vyp. 4. – S. 108-119.
12. Mjaken'kij V.I. Sdvizhenie i degazacija porod i ugol'nyh plastov pri ochistnyh rabotah. – Kiev: Naukova dumka, 1975. – 100 s.
13. Koval'ski A. Deformacija poverhnosti nad bystro dvigajushhimsja frontom gornyh rabot // Proceedings IX Congress ISM, Praha 18.4-22.4. 1994. – S. 320-329.
14. Davidjanc V.T., Kravchenko G.L. Izmerenija projavlenij gornogo davlenija na shahtah Doneckogo bassejna. – M.: Ugletehzdat, 1960. - 208s.
15. Dubov E.D. Issledovanija v shahtnyh uslovijah vzaimodejstvija mehanizirovannyh krepej s bokovymi porodami na pologih plastah Doneckogo bassejna. Avtoref. diss. kand. teh. nauk. - Doneck, 1967. - 20s.
16. Medvedchuk, N.D. Vlijanie skorosti podviganija ochistnogo na projavlenie gornogo davlenija pri vyemke ugol'nyh plastov. Avtoref. diss. kand. teh. nauk. - Doneck, 1968.- 27s.
17. Lobkov N.I. Issledovanie vlijanija skorosti podviganija na rabotu ochistnogo zaboja. // Materialy nauchno-prakticheskoi konferencii «Nauka – zhizn' – proizvodstvo», Krasnoarmejsk, 2001.- S. 28-30.
18. Dmitriev V.A. O vlijanii skorosti podviganija ochistnogo zaboja na smeshhenie krovli. // Ugol' Ukrainy, 1980, №5. – S. 10 –11.
19. Batugin S.A. Vlijanie skorosti podviganija ochistnogo zaboja na sdvizenija i deformacii zemnoj poverhnosti. //Trudy po voprosam gornogo davlenija, sdvizenija gornyh porod i metodiki markshejderskih rabot. - L., Izd. VNIMI, 1963, tom 50.
20. Brigs G. Osedanija i obrushenija poverhnosti pod vlijaniem gornyh razrabotok. Perevod s anglijskogo. - L., Mir,1948.
21. Briggs. Mining subsidence at Barbauchlow Mine. «Trans. Inst. Vin. Eng.», 1933,Vol. 85.
22. Bahurin I.M. Sdvizhenie gornyh porod pod vlijaniem gornyh razrabotok L., Gostoptehiz-dat,1946.
23. Kratch G. Sdvizhenie gornyh porod i zashhita podrabatyvaemyh sooruzhenij; Per. s nem. pod red. R.A. Mullera i I.A. Petuhova. – M.: Nedra, 1978. – 494 s.
24. Svirko S.V., Renev A.A. Osobennosti smeshhenija tocek podrabatyvaemoj zemnoj poverhnosti vysokoskorostnymi ochistnymi zabojami pri otrabotke pologo-naklonnyh ugol'nyh plastov Kuz-bassa. // Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta, 2015, № 5, S.32-43

Поступило в редакцию 15 июня 2016

Received 15June 2016