

УДК 622.1:622.834

**ДИНАМИКА ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ
СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВКРЕСТ ПРОСТИРАНИЯ ЛАВ ПРИ
ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ И НАКЛОННЫХ ПЛАСТОВ КУЗБАССА**

**THE DYNAMICS OF THE VERTICAL AND HORIZONTAL COMPONENTS OF THE
EARTH'S SURFACE DISPLACEMENTS ACROSS THE LAVA STRIKE IN THE
DEVELOPMENT OF THE FLAT AND INCLINED COAL BEDS IN KUZBASS**

Быкадоров Алексей Иванович¹,

канд. техн. наук, генеральный директор, e-mail: aibykadurov@mail.ru

Bykadorov Aleksey I.¹, C. Sc. (Engineering), Director General

Ларичкин Петр Михайлович¹,

канд. техн. наук, зав. отделом, e-mail: larichkin.petr@yandex.ru

Larichkin Petr M.¹, C. Sc. (Engineering), Head of the Department

Свирко Сергей Владимирович²,

аспирант, e-mail: svirko@ngs.ru

Svirko Sergey V.², postgraduate student

Ренев Алексей Агафангелович²,

докт. техн. наук, профессор, e-mail: raa@kuzstu.ru

Renev Aleksey A.², Dr. Sc. (Engineering), Professor

¹Сибирский институт геотехнических исследований, 653000, Россия, Кемеровская область, г. Прокопьевск, ул. К.Либкнехта, 4

¹ Siberian Institute of Geotechnical Investigations, 4 street Karl Liebcknecht, Prokopyevsk, 653000, Russian Federation

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28 street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

Аннотация

Актуальность работы: Научные исследования последних лет в области подрабатываемых горных массивов охватывают динамические явления и закономерности формирования профиля динамической мульды сдвижений в зависимости от подвигания очистного забоя лавы. При этом закономерности сдвижения отдельных точек и взаимосвязь вертикальных оседаний и горизонтальных сдвижений в процессе формирования мульды сдвижения большинством исследователей не рассматривались.

Цель работы: Целью работы является выявление характерных особенностей смещения отдельных точек подрабатываемой поверхности и установление взаимосвязей между вертикальными и горизонтальными сдвижениями точек в направлении вкrest простираения в зависимости от подвигания очистных забоев в современных условиях.

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 горизонтальными сдвижениями и оседаниями отдельных точек в направлении вкrest простираения практически линейна. При этом коэффициент связи горизонтальных сдвижений и оседаний точки зависит от ее положения на профильной линии. Для точек краевой части мульды по падению установлена эмпирическая зависимость отношения горизонтальных сдвижений и оседаний в зависимости от положения очистного забоя.

Abstract

The urgency of the discussed issue: A recent scientific investigations in the undermining area include dynamic phenomena and regularities of dynamic mold formation which are depending on advance the face to the

strike. The regularities of individual point's displacements and the relationship between the vertical subsidence and horizontal displacements in the mold formation process have not been considered by most researchers.

The main aim of the study: The study aims are revelation of the characteristic features of individual undermined surface point's movements and establishment their relations between the vertical and horizontal point's displacements in the direction across the strike, which are depending on advance the face to the strike.

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 dynamic mold formation the regularity of individual point's subsidence through horizontal displacement across the strike is practically linear. The relation between the subsidence and horizontal displacement for undermined points depends on its position on the profile line. Empirical relations between subsidence and horizontal displacements for the points of the edge of the mold to the dip are given.

Ключевые слова: Земная поверхность, подработка, динамическая мульда, отношение вертикальных и горизонтальных сдвижений, подвигание забоя, закономерность, расчет.

Key words: Daylight surface, undermine, dynamic zone of displacement, relation between subsidence and horizontal displacements, advance the face to the strike, regularity, calculation.

Несмотря на многолетние инструментальные и теоретические исследования, физическое и математическое моделирование процессов подработки горного массива и земной поверхности многие вопросы динамики их сдвижений и деформаций остаются не до конца исследованными. Методики предрасчета и прогноза ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности, заложенные в нормативные документы по промышленной и экологической безопасности недропользования и в правила охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных работ, основаны на усредненных типовых распределениях деформаций, отражающих закончившийся процесс сдвижений при проведении горных выработок. Динамика сдвижений и деформаций при формировании мульды сдвижения не учитывается.

Из публикаций последних 10 лет в области геомеханики подрабатываемых горных массивов можно выделить работы по динамическим процессам, сопровождающим активную стадию сдвижений подрабатываемой земной поверхности в условиях Донбасса [1, 2] и Кузбасса [3, 4]. В указанных работах рассматриваются закономерности формирования профиля динамической мульды сдвижений в зависимости от подвигания очистного забоя лавы. Закономерности сдвижений отдельных точек земной поверхности в этом профиле не рассматриваются, что является, на наш взгляд, важным вопросом динамики сдвижений, поскольку характер и величина сдвижений этих точек зависит от их положения в мульде.

Динамические процессы формирования профиля мульды сдвижения подрабатываемой земной поверхности в горно-геологических условиях Кузбасса исследованы по результатам многолетних инструментальных наблюдений, проведенных на различных шахтах региона Сибирским филиалом ВНИМИ и опубликованных в работах [3, 4].

Примеры формирования профиля мульды сдвижений и характера изменений в ней горизон-

тальных сдвижений при подвигании очистных забоев приведены на рис. 1, 2. Вкрест простирания пласта горизонтальные сдвигания земной поверхности в полумульде по падению приняты положительными, а в полумульде по восстанию – отрицательными. По простиранию пласта горизонтальные сдвигания, направленные в сторону движения очистного забоя, приняты положительными, в противоположную сторону – отрицательными. Направление движения очистного забоя со скоростью (c) показано стрелкой. Закономерности формирования профиля динамической мульды сдвижений и изменение деформаций по этому профилю исследовались А.С. Ягуновым [3]. Нами ставится задача исследования закономерностей изменения оседаний и горизонтальных сдвижений отдельных точек земной поверхности в динамической мульде и соотношений между ними в зависимости от подвигания очистного забоя лавы. При этом сохраним терминологию, принятую в [3].

В работе [5] показано, что по характеру сдвижения точек земной поверхности в плоскости $\xi O \eta$ профиль динамической мульды по простиранию делится на 4 зоны **A**, **B**, **C** и **D** (рис. 3), размеры которых определяются по граничным углам δ_0, δ'_0 и углам $\delta_A, \delta_B, \delta_C, \delta_D$, установленным по инструментальным наблюдениям.

В дополнение к этим исследованиям рассмотрим оседания и горизонтальные сдвигания точек земной поверхности вкрест простирания лавы на примере результатов, полученных с наблюдательной станции на шахте «Грамотейнская» (рис. 4). Поперечная профильная линия II состоит из 25 реперов. Их сдвигание в плоскости $\xi O \eta$ на разрезе вкрест простирания лавы при прохождении очистного забоя под профильной линией приведено на рис. 5. Вертикальные и горизонтальные составляющие каждого репера выражены в относительных единицах ξ_i/η_{\max} и η_i/η_{\max} , где η_{\max} – максимальное оседание в сформировавшейся динамической мульде сдвижений. Оседания изменяются от 0 до 1, а горизонтальные сдвигания выражены в долях от

оседаний.

Анализ рис. 5 позволяет выявить характерные особенности сдвижения реперов в плоскости $\xi\eta$ на разрезе вкрест простирания лавы. Так при моно-

тонном оседании точки поверхности, расположенные в полумульде по падению, сдвигаются в сторону восстания, а в полумульде по восстанию – в сторону падения.

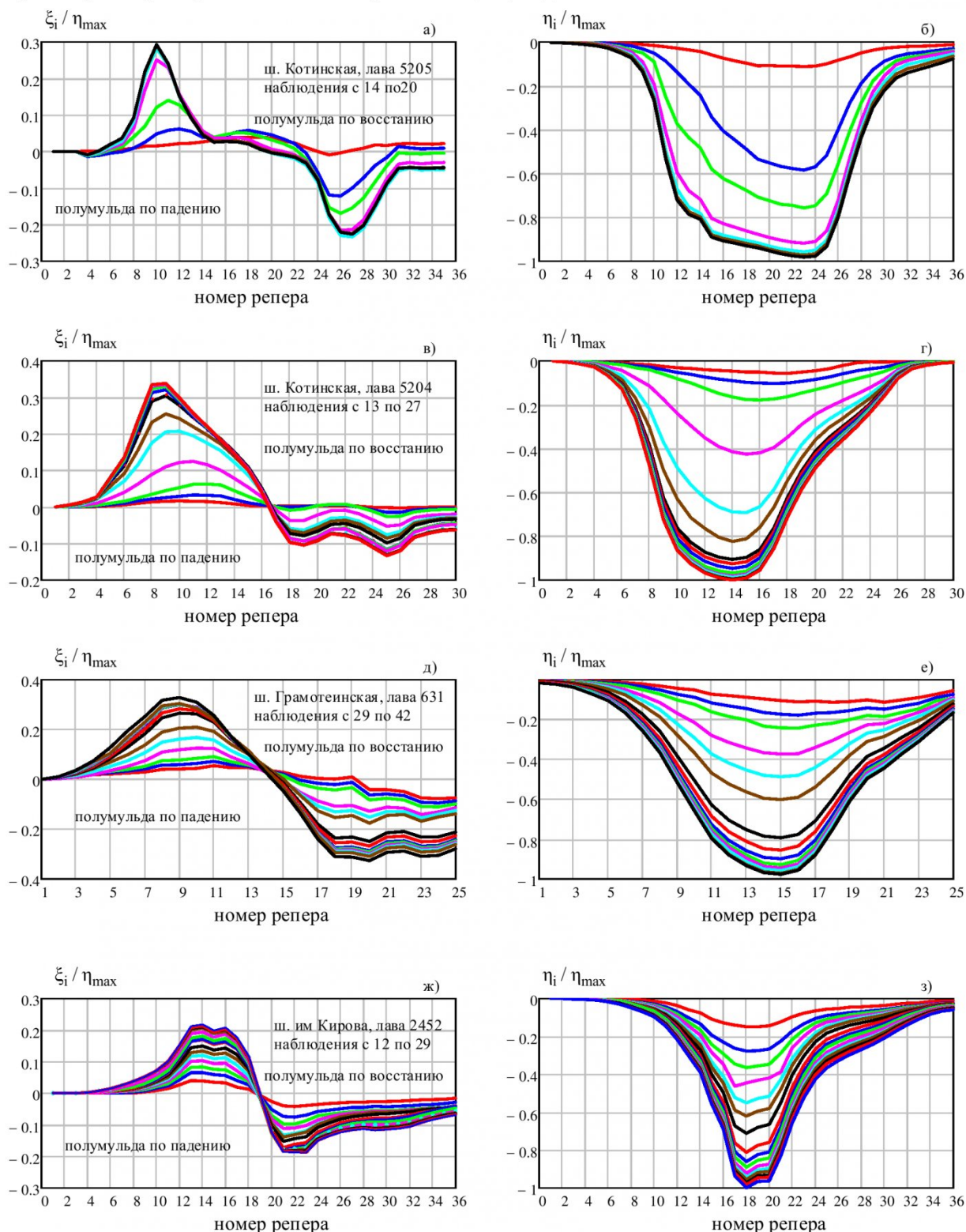


Рисунок 1 - Примеры развития относительных горизонтальных и вертикальных составляющих сдвижений земной поверхности вкрест простирания пласта по мере прохождения лавы под профильными линиями: а), б) – шахта «Котинская», лава № 5205; в), г) – шахта «Котинская», лава № 5204; д), е) – шахта «Грамотеинская», лава № 631; ж), з) – шахта им. Кирова, лава № 2452.

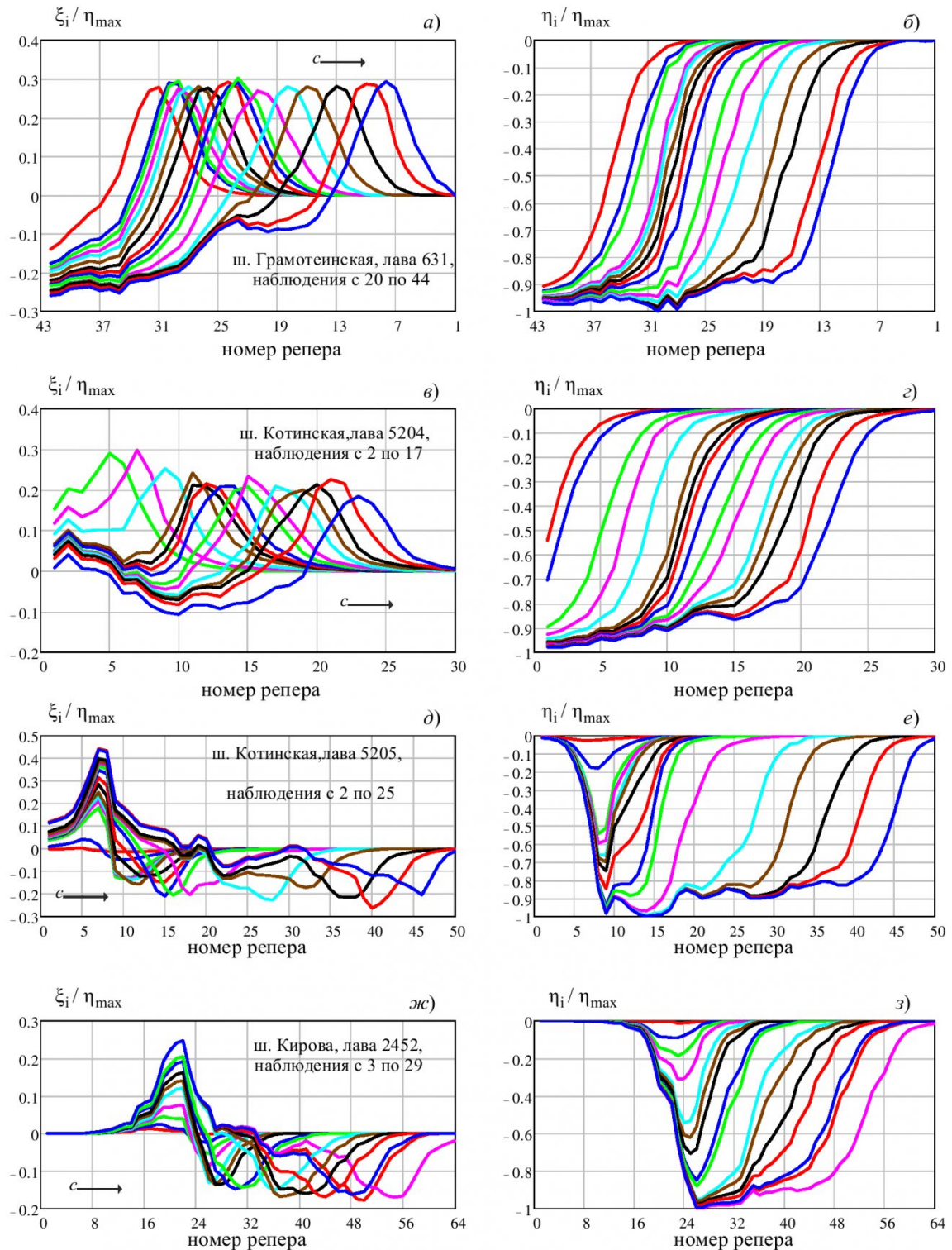


Рисунок 2 - Примеры развития относительных горизонтальных и вертикальных составляющих сдвижений земной поверхности по простиранию пласта по мере подвигания забоя лавы со скоростью (c): а), б) – шахта «Грамотеинская», лава № 631; в), г) – шахта «Котинская», лава № 5204; д), е) – шахта «Котинская», лава № 5205; ж), з) – шахта им. Кирова, лава № 2452.

Во время всего процесса формирования динамической мульды сдвигения зависимость между горизонтальными сдвигениями и оседаниями отдельной точки поверхности близка к линейной. В этом существенное отличие от движения точек

поверхности на разрезе по простиранию лавы, приведенной в работе [5]. Разный характер сдвижений по простиранию и вкрест простирания фиксируется наблюдениями за репером R21 (R13) (рис. 6), расположенном на пересечении профилей-

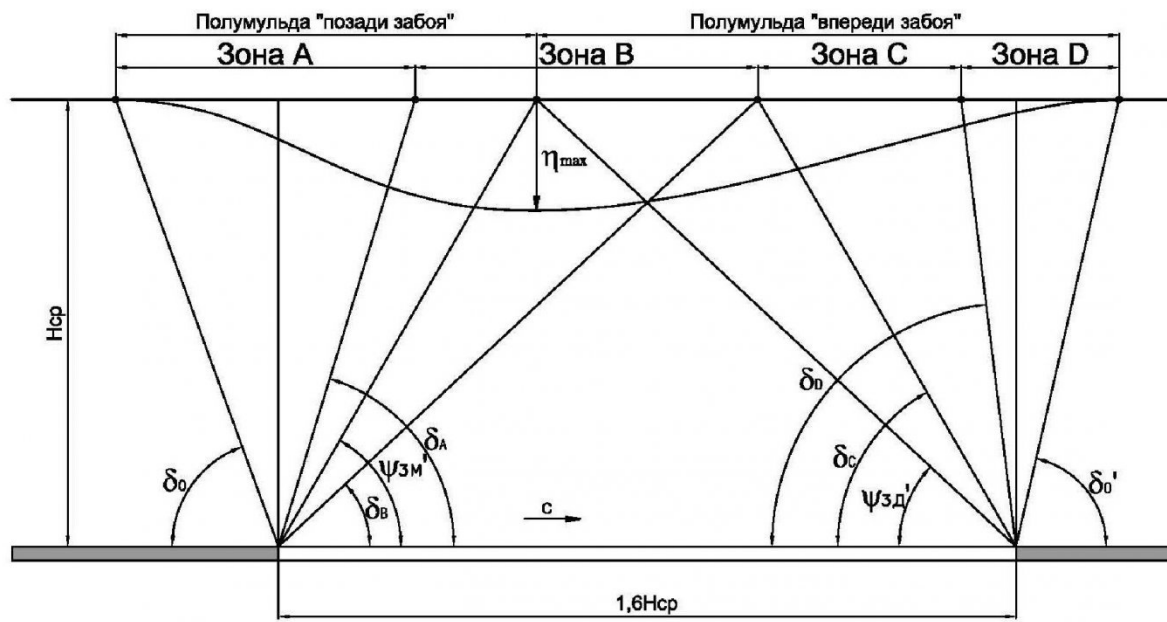


Рисунок 3 - Зоны сдвижения А, В, С и D в сформированной микромульде при положении очистного забоя $D_{2X} = 1,6H_{CP}$ на разрезе по простиранию лавы.

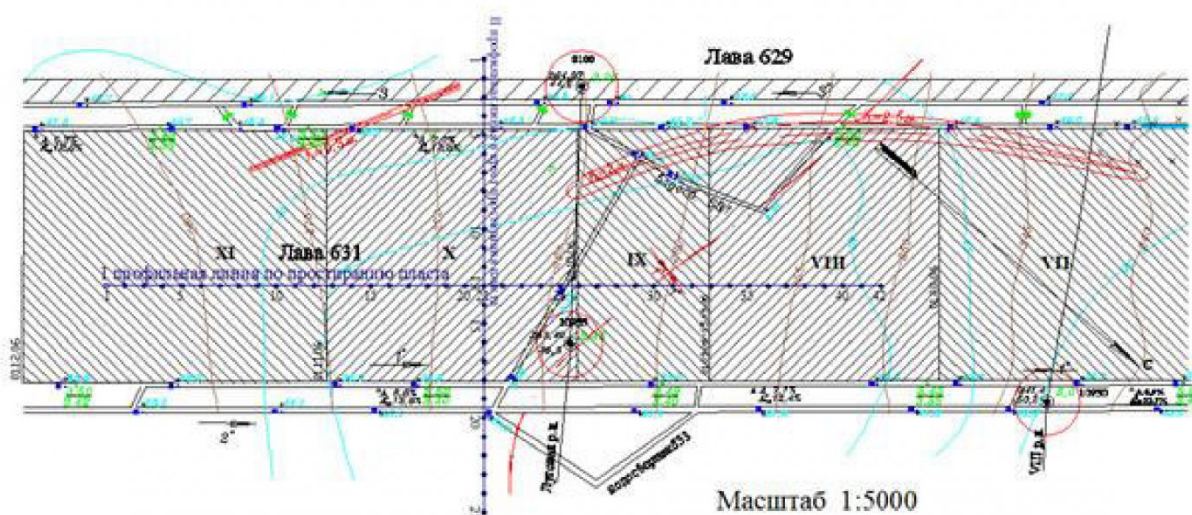


Рисунок 4 - Наблюдательная станция на шахте «Грамотеинская» при отработке лавы 631 пласта Сычёвского III (II).

ных линий, при формировании динамической мульды. Еще одной особенностью сдвижения точек земной поверхности в направлении вкрест простирания является процесс «чистого» горизонтального сдвижения (практически без оседания) в конечной фазе процесса сдвижения. Указанное горизонтальное сдвижение по величине незначительно, а его направление, по сравнению с первоначальным, не меняется, т.е. точки поверхности, расположенные в полумульде по падению, досдвигаются сторону восстания, а в полумульде по восстанию – в сторону падения.

Рассмотренные особенности сдвижения точек подрабатываемой земной поверхности на разрезе вкрест простирания при формировании динамической мульды сдвижения зафиксированы и на дру-

гих наблюдательных станциях, т.е. в условиях Кузбасса являются закономерными.

На рис. 1 – 2 видно, что отношения максимальных горизонтальных сдвижений в единичных наблюдениях к конечному максимальному оседанию по абсолютной величине составляют: в полумульде по падению 0,22 – 0,34; по восстанию 0,13 – 0,36; по простиранию 0,11 – 0,45. Это отношение в «Правилах охраны ...» [6] для расчета ожидаемых сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности принято постоянным по всему профилю мульды и для условий Кузбасса равным $a_0 = 0,25$. Однако в формирующейся мульде сдвижений такого постоянства нет. При отходе очистного забоя от монтажной камеры растут максимальные оседания поверхности в мик-

ромульдах (микромульда – зафиксированное в единичном наблюдении состояние формирующейся динамической мульды сдвижения при определенном положении очистного забоя отно-

сительно монтажной камеры) и растут отношения максимальных горизонтальных сдвижений к конечному максимальному оседанию, то есть растет a_0 . Закономерности этого роста приведены на рис.

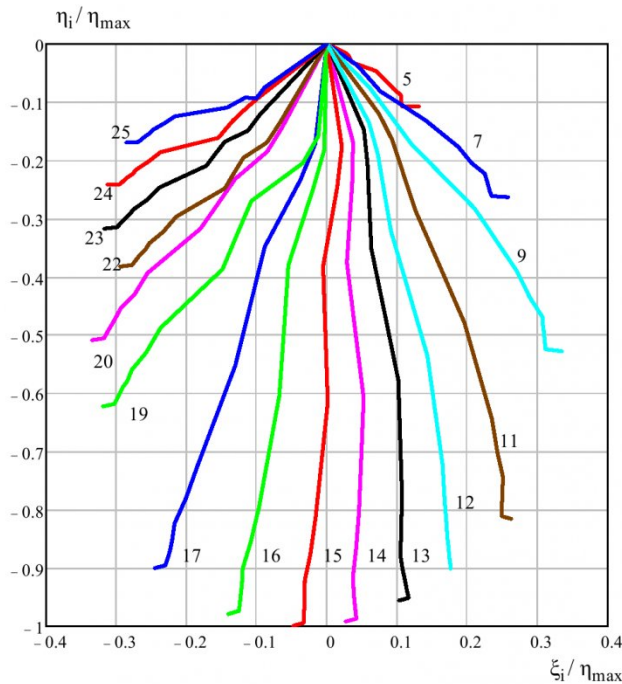


Рисунок 5 - Сдвижение реперов R5÷R25 на разрезе вкрест простирания лавы при прохождении очистного забоя под профильной линией

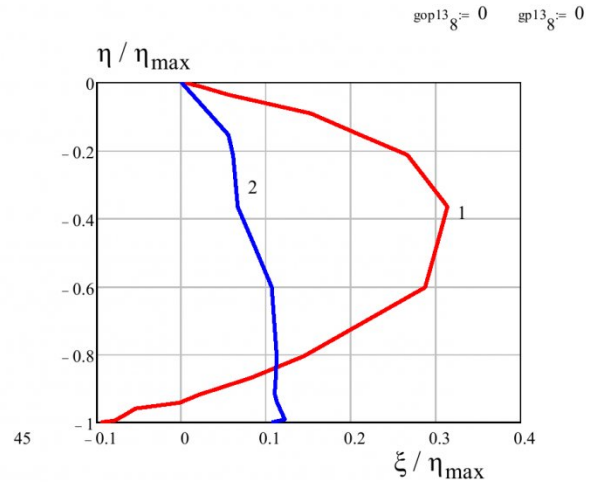


Рисунок 6 - Характер сдвижения репера R21 (R13), расположенного на пересечении профильных линий наблюдательной станции на шахте «Грамотейнская», лава 631: 1 – по простиранию, 2 – вкрест простирания.

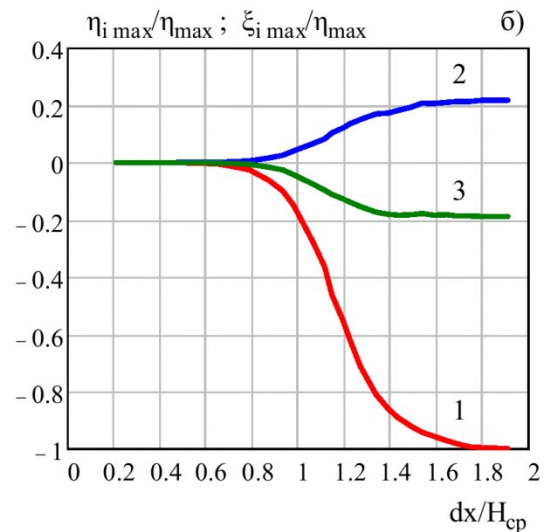
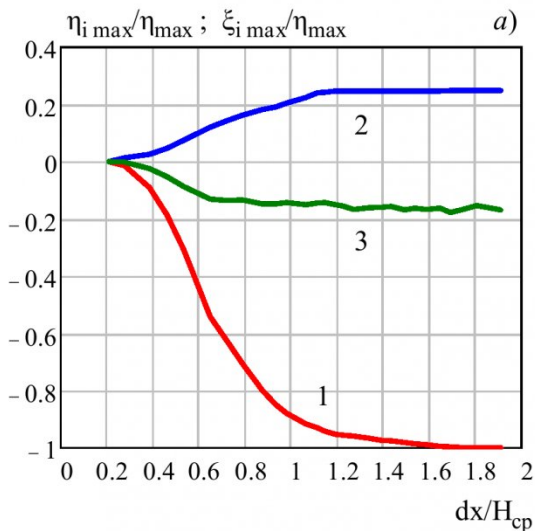


Рисунок 7 - Закономерности изменения максимальных оседаний и горизонтальных сдвижений земной поверхности в зависимости от положения очистного забоя относительно монтажной камеры dx/H_{cp} , где dx – расстояние очистного забоя от монтажной камеры, м; H_{cp} – средняя глубина горных работ в лаве, м: а) – по простиранию лавы: 1 – относительные максимальные оседания η_{imax}/η_{max} ; 2 – относительные максимальные горизонтальные сдвижения ξ_{imax}/η_{max} в сторону движения очистного забоя; 3 – относительные максимальные горизонтальные сдвижения в сторону монтажной камеры; б) – вкрест простирания при прохождении очистного забоя под поперечной профильной линией: 1 – относительные максимальные оседания η_{imax}/η_{max} ; 2 – относительные максимальные горизонтальные сдвижения ξ_{imax}/η_{max} в сторону восстания пласта; 3 – относительные максимальные горизонтальные сдвижения в сторону падения пласта.

7, установленные по результатам обработки данных с наблюдательной станции на шахте им. Кирова, лава 2452 по пласту Болдыревский-24.

Профиль микромульды (кривая 1) вкост простира лавы и распределение в ней относительных горизонтальных сдвижений реперов (кривая 2) при положении очистного забоя на расстоянии 450 м от монтажной камеры приведены на рис. 8.

Кривая 3 здесь характеризует отношения горизонтальных сдвижений к соответствующим оседаниям каждого i -го репера ξ_i / η_i .

Относительные максимальные горизонтальные сдвижения (кривая 2) при указанном положении забоя по абсолютной величине не превышают 0,2, а вот отношения горизонтальных сдвижений к соответствующим оседаниям каждого i -го репера ξ_i / η_i (кривая 3) изменяются от 0 до 0.95 в полумульде по падению и от 0 до 1,36 по модулю в полумульде по восстанию.

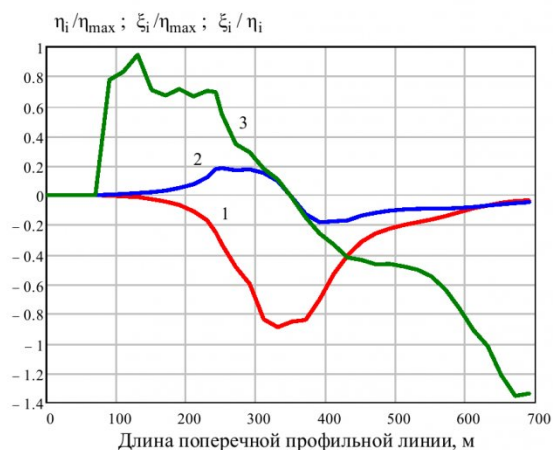


Рисунок 8 - Фрагмент состояния динамической мульды сдвижений вкост простира лавы при фиксированном положении очистного забоя.

Примечание.: реперы R1÷R4 находятся вне зоны влияния очистных работ

Закономерности этого отношения в разных точках поверхности, расположенных в профиле мульды вкост простира лавы, при различных подвиганиях забоя приведены на рис. 9. Отношение, связывающее горизонтальные сдвижения и оседания точки, зависит от ее положения на разрезе вкост простира лавы и для различных подвиганий варьируется от 0 до 1 (рис. 9а) в полумульде по падению и до 1,7 по модулю (рис. 9е) в полумульде по восстанию.

Как видно из рис. 9, в профиле мульды выделяются зоны с разным характером изменения ξ_i / η_i в зависимости от прохождения очистного забоя под данной зоной.

Рассматривая единичные наблюдения в каждой зоне как независимую выборку из генеральной совокупности, можно установить эмпирическую зависимость интересующей нас величины. Например, для точек поверхности в краевой части

по падению (рис. 9а) данная зависимость имеет вид, представленный на рис. 10.

Кривая (1) аппроксимирована выражением:

$$\frac{\xi_i}{\eta_i} = 0.85 - 66.3 \cdot \exp\left(-4.5 \cdot \frac{dx}{H_{cp}}\right) \quad (1)$$

Коэффициент корреляции равен 0.86, коэффициент детерминации составляет 0.74, что является достаточным основанием представить изменения соотношений между горизонтальными сдвижениями и оседаниями точек поверхности в краевых частях по падению выражением (1).

Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие основные выводы.

Существующие нормативные документы в области сдвижения горных пород устанавливают однозначную связь вертикальных оседаний и горизонтальных сдвижений через коэффициент связи максимальных оседаний и горизонтальных сдвижений a_0 , принятый для условий Кузбасса равным 0.25, и типовые распределения, полученные по результатам анализа инструментальных наблюдений для условий закончившегося процесса сдвижения.

Научные исследования последних лет в области подрабатываемых горных массивов охватывают динамические явления и закономерности формирования профиля динамической мульды сдвижений в зависимости от подвигания очистного забоя лавы. При этом закономерности сдвижения отдельных точек и взаимосвязь вертикальных оседаний и горизонтальных сдвижений в процессе формирования мульды сдвижения большинством исследователей не рассматривались.

Во время формирования динамической мульды зависимость между горизонтальными сдвижениями и оседаниями отдельных точек поверхности на разрезе вкост простира лавы близка к линейной.

Коэффициент связи горизонтальных сдвижений и оседаний отдельной точки зависит от ее положения на разрезе вкост простира лавы и положения линии забоя и изменяется от 0 до 1 в полумульде по падению и до 1,7 по модулю в полумульде по восстанию.

При монотонном характере оседаний точки поверхности, расположенные в полумульде по падению, сдвигаются в сторону восстания, а в полумульде по восстанию – в сторону падения. Конечная фаза процесса сдвижения в направлении вкост простира лавы характеризуется «чистым» горизонтальным сдвижением незначительным по относительной величине.

Рассмотрение результатов инструментальных наблюдений в направлении вкост простира лавы в относительных величинах позволяет объединить их в единую статистическую совокупность, и определить функциональные соотношения между

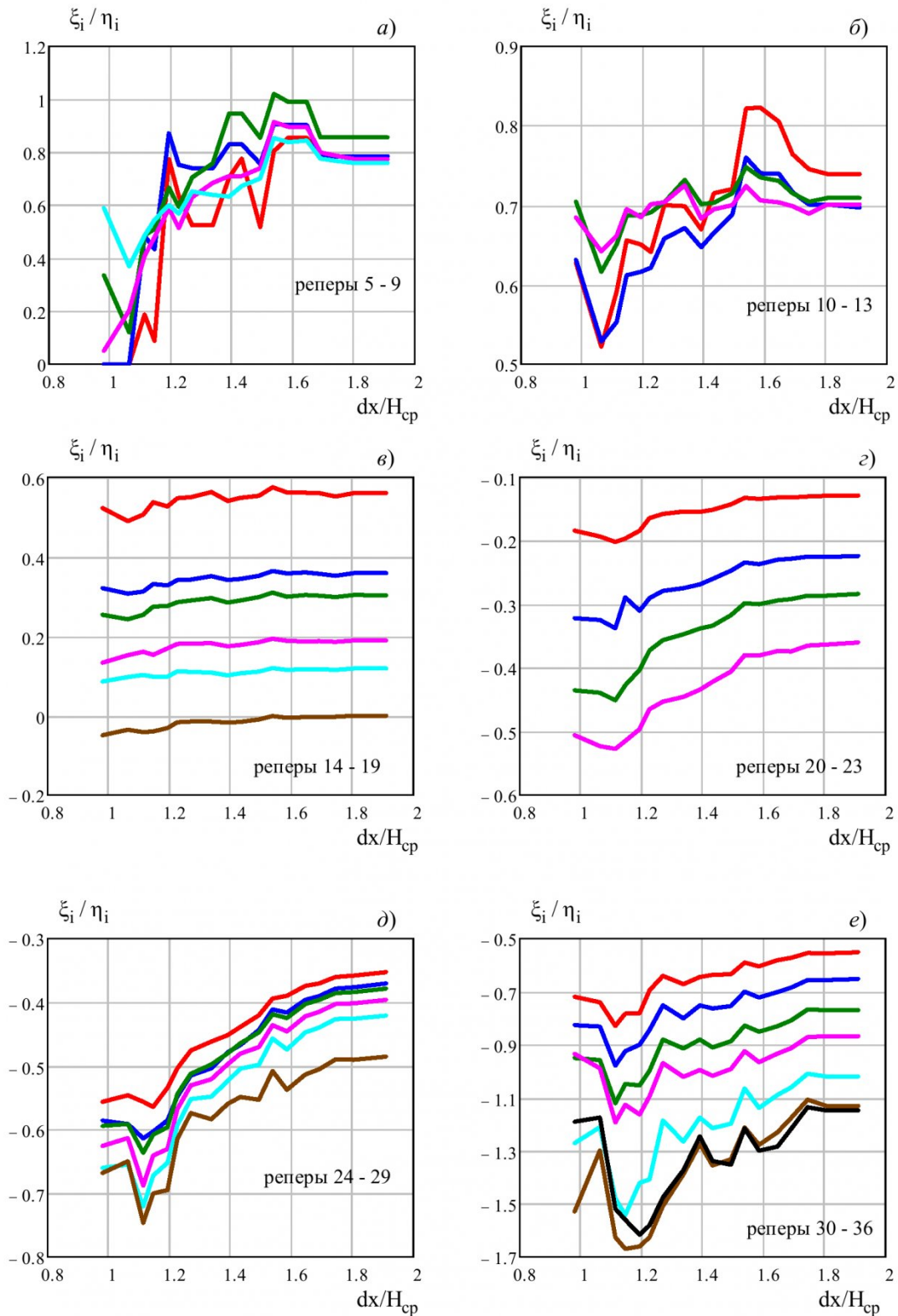


Рисунок 9 - Закономерности изменения отношения горизонтальных сдвижений к оседаниям отдельных точек земной поверхности в профильной линии вкрест простирания в зависимости от положения под ней очистного забоя лавы.

оседаниями и горизонтальными сдвигами в зависимости от подвигания забоя и, в дальней-

шем, обосновать их количественный прогноз.

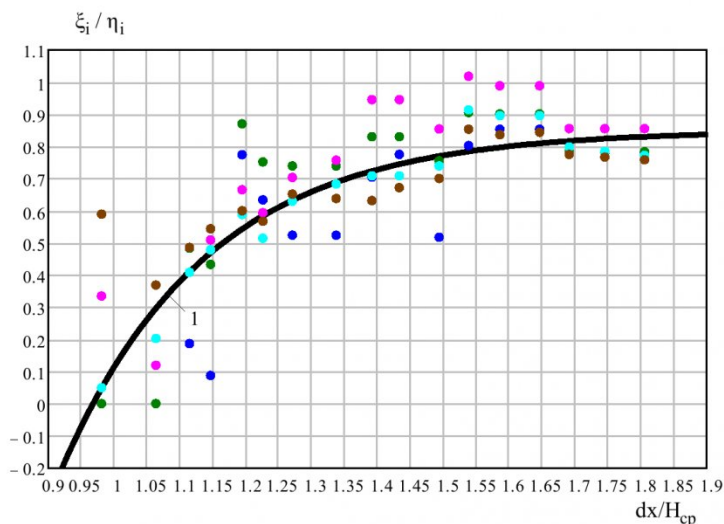


Рисунок 10 - Статистическое поле наблюдаемых отношений горизонтальных сдвижений точек подрабатываемой земной поверхности к их оседанию в краевой зоне по падению пласта в профиле мульды вкрест простирания

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назаренко В.А., Кучин А.С., Балафин И.Е. Закономерности изменения максимальных оседаний и наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України, № 5 (частина I), 2009.
2. Назаренко В.А., Сдвижкова Е.А., Кучин А.С. Модель развития наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения для условий Западного Донбасса. // Форум гірників - 2012. - Дніпропетровськ, НГУ, 2012. — С. 242—245.
3. Ягунов А.С. Динамика деформаций в подрабатываемом горном массиве / Минэнерго РФ, НИИ горн. геомех. и маркшейд. дела – Межотраслевой научный центр ВНИМИ, Сибирский филиал. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2010. – 239 с.
4. Ягунов А.С. Закономерности сдвижения горных пород в Кузбассе. – СПб., 2000. – 304 с.
5. 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.
6. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. - СПб, ВНИМИ, 1998, - 290 с.

REFERENCES

1. Nazarenko V.A., Kuchin A.S., Balafin I.E. Zakonomernosti izmeneniya maksimal'nykh osedaniy i naklonov zemnoy poverkhnosti na stadii formirovaniya muldy sdvizheniya. // NaukovipraciUkrNDMINANUKrai'ny, № 5 (chastynaI), 2009.
2. Nazarenko V.A., Sdvizhkova E.A., Kuchin A.S. Model' razvitiya naklonov zemnoy poverkhnosti na stadii formirovaniya muldy sdvizheniya dly ausloviy Zapadnogo Donbassa. // Forumgirnikip - 2012. - Dnipropetrovs'k, NGU, 2012. — S. 242—245.
3. Yagunov A.S. Dinamika deformatsiy v podrabatyvaemom gornom massive / MinenergoRF, NII-gorn.geomekh. imarksheyd. dela – MezhotraslevoynauchnytsentrVNIMI, Sibirskiyfilial. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2010. – 239 s.
4. Yagunov A.S. Zakonomernosti sdvizheniya gornyx porod v Kuzbasse. – SPb., 2000. – 304 s.
5. Svirko S.V., Renev A.A. Osobennosti smeshcheniya toчек podrabatyvaemoy zemnoy poverkhnosti vysokoskorostny mi ochistnyimi zaboyami pri otrabotke pologo-naklonnykh ugol'nykh plastov Kuzbassa. // VestnikKuzbasskogogosudarstvennogotekh-nicheskogouniversiteta, 2015, № 5.
6. Pravila okhrany sooruzheniy i prirodnykh ob"ektov ot vrednogo vliyaniya podzemnykh gornyx razrabotok na ugol'nykh mestorozhdeniyakh. - SPb, VNIMI, 1998, - 290 s.

Поступило в редакцию 21.12.2015
Received 21 December 2015