

На правах рукописи



СВИРКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОГНОЗА ОСЕДАНИЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ
СДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ДВИЖУЩИМСЯ
ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ЗАБОЕМ**

Специальность 25.00.16 – «Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология,
геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2018

Работа выполнена на кафедре «Разработка месторождений полезных ископаемых» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева».

Научный руководитель Ренев Алексей Агафангелович
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой РМПИ Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева»

Официальные оппоненты: Серяков Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией механики горных пород Федерального Государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук;

Лобанова Татьяна Валентиновна, доктор технических наук, научный руководитель Научно-исследовательского центра «Геомеханика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный индустриальный университет»

Ведущая организация Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

Защита состоится «26» июня 2018г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.02 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, факс (384-2) 58-33-80, e-mail: rector@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева» и на сайте организации по адресу: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2018/svi/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан «18» мая 2018г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Иванов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Существующие нормативно-методические документы в области расчетов сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности базируются на типовых распределениях (кривых), полученных по обобщениям инструментальных наблюдений 60 – 70-х годов XX века при скоростях подвигания очистных забоев до 150м/месяц (до 5м/сутки) и размерах выемки вкрест простирания до 80-120м. Расчеты выполняются для условий закончившегося процесса, динамика сдвижений и деформаций при формировании мульды сдвижения не учитывается.

Современные технологии отработки пластов предполагают увеличение скоростей подвигания забоев до 200-600м/месяц (до 20м/сутки) и размеров лав до 200-250м и более. Несмотря на продолжительную историю изучения геомеханических процессов, связанных с нарушением равновесия в массиве горных пород под влиянием горных разработок, влияние роста скорости подвигания забоя на изменение состояния массива и подрабатываемой поверхности в достаточной мере не исследовано и оценивается исследователями неоднозначно. Количественных характеристик этого влияния не установлено.

С переходом шахт на интенсивные способы добычи угля возрастает роль учета в геомеханических процессах фактора времени, внимание ученых и практиков фокусируется на вопросах изменения напряженно-деформированного состояния горного массива и развития процесса сдвижения в динамике. Этот интерес обуславливается тем, что промежуточные значения сдвижений и деформаций при формировании мульды сдвижений могут превышать их окончательные значения. То есть, при решении задач по защите сооружений и природных объектов с использованием окончательных величин параметров сдвижения без учета развития деформационных процессов во времени возникают противоречия между реальными деформациями земной поверхности и рассчитанными по нормативным документам.

Научные работы последних лет в области динамических процессов, сопровождающих активную стадию сдвижений дневной поверхности, затрагивают некоторые закономерности развития профиля динамической мульды в зависимости от положения линии очистного забоя. Закономерности сдвижения отдельных точек земной поверхности при этом не рассмотрены. В частности это касается количественного соотношения между оседаниями и горизонтальными сдвигами и характера пространственных смещений точек земной поверхности при подработке.

Исследования в данном направлении дадут возможность разработки способов прогноза ожидаемых динамических сдвижений и деформаций любой точки подрабатываемой поверхности в зоне влияния горных работ отдельной лавы в динамике в зависимости от положения очистного забоя и приведут к созданию пространственных моделей процесса сдвижения.

Целью работы является разработка методики прогноза динамических сдвижений произвольной точки поверхности, расположенной в зоне влияния

отдельной очистной выемки, для повышения качества геомеханических расчетов и эффективности геомеханического обеспечения освоения угольных месторождений.

Основная идея работы состоит в установлении параметров процесса сдвижения при формировании мульды на основе инструментальных наблюдений и разработке способа расчета сдвижений отдельных точек подрабатываемой поверхности при отработке угольных пластов пологого и наклонного залегания под инженерными и природными объектами, в том числе при выемке с высокими скоростями подвигания забоев.

Задачи исследования:

- установить взаимосвязь параметров сдвижения единичной точки при подвигании очистного забоя;
- установить влияние скорости подвигания очистного забоя на сдвижение поверхности;
- разработать методику прогноза динамических вертикальных и горизонтальных сдвижений отдельной точки подрабатываемой поверхности.

Объект исследования:

- область подрабатываемой земной поверхности в зоне влияния очистной выемки с повышенными скоростями подвигания забоев.

Методы исследования. Используется комплекс методов, включающий в себя:

- анализ и обобщение литературных данных по рассматриваемой проблеме;
- проведение инструментальных наблюдений на реперных наблюдательных станциях;
- статистическую обработку экспериментальных данных, корреляционный и регрессионный анализ;

Научные положения, защищаемые автором:

- Смещения точек поверхности, находящихся в границах влияния очистной выемки, при подработке происходят разноамплитудно, с разнонаправленными горизонтальными сдвигами и разными соотношениями между сдвигами в вертикальном и горизонтальном направлениях. В связи с особенностями сдвижений отдельных точек выделяются характерные зоны: 4 - в направлении движения забоя, 4 - в поперечном направлении.

– Для каждой из характерных зон динамическое оседание произвольной точки поверхности в мульде сдвижения может быть определено через величину подвигания забоя и максимальное оседание этой точки, соответствующие окончанию периода формирования динамической мульды, а динамическое горизонтальное сдвижение, в свою очередь - через величину динамического оседания.

– Максимальное оседание произвольной точки подрабатываемой поверхности зависит от ее расположения в мульде сдвижения. Влияние роста скорости подвигания очистного забоя на оседания точек полумульды со стороны монтажной камеры не установлено, для точек, расположенных в полумульде со стороны демонтажной камеры, увеличение скорости подвигания забоя уменьшает динамические оседания подрабатываемой поверхности – при росте скорости

подвигания от 5 до 15м/сутки величина динамического оседания точки в зависимости от ее положения в полумульде «впереди забоя» снижается до 2,4 раз.

Научная новизна работы заключается:

- в установлении характерных зон сдвижения на разрезах вкрест и по простиранию лавы с различным характером смещения отдельных точек подрабатываемой поверхности;
- в установлении закономерностей развития динамических оседаний точек в выявленных характерных зонах в зависимости от положения забоя;
- в установлении аналитической взаимосвязи вертикальных и горизонтальных сдвижений точек на профильных линиях вкрест и по простиранию лавы;
- в количественной оценке влияния скорости подвигания забоев на динамические оседания и горизонтальные сдвижения поверхности;

Научное значение работы состоит в выделении в динамической мульде характерных зон сдвижения, выявлении закономерностей движения в них точек подрабатываемой земной поверхности и установлении аналитических выражений взаимосвязей между параметрами мульды.

Отличие от ранее выполненных работ заключается в решении задач прогноза сдвижений отдельной точки подрабатываемой поверхности при современных скоростях разработки в динамической постановке. Впервые дана количественная оценка влияния скорости подвигания очистного забоя на динамические оседания и горизонтальные сдвижения поверхности, а также впервые установлены аналитические зависимости между оседаниями и горизонтальными сдвижениями.

Практическая ценность работы заключается в разработке методики прогноза динамических вертикальных и горизонтальных сдвижений заданных точек подрабатываемой земной поверхности в зависимости от положения очистного забоя относительно монтажной камеры и скорости его подвигания при разработке пологих и наклонных пластов Кузбасса высокомеханизированными лавами.

Достоверность научных результатов обеспечивается сходимостью расчетных и экспериментальных данных, проверенной статистическими гипотезами и критериями с уровнем значимости не более 0,05.

Личный вклад автора заключается в:

- обобщении и анализе отечественных и зарубежных методик расчета сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности;
- проведении и последующей обработке частотных маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности в процессе движения очистных забоев с повышенными скоростями от монтажной до демонтажной камеры в условиях Кузбасса;
- установлении характерных зон сдвижения точек земной поверхности в динамической мульде, выявлении в этих зонах закономерностей и аналитических зависимостей вертикальных и горизонтальных сдвижений от текущего положения очистного забоя и скорости его подвигания;

- разработке методики прогноза ожидаемых динамических сдвижений отдельных точек земной поверхности при отработке пологих угольных пластов Кузбасса высокомеханизированными лавами.

Реализация работы. Положения, разработанные в диссертации, реализованы в «Методике прогноза ожидаемых динамических сдвижений отдельных точек земной поверхности при отработке пологих угольных пластов Кузбасса высокомеханизированными одиночными лавами», 2018 г.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на XXIII Международном научном симпозиуме «Неделя горняка – 2015», Москва, 2015г.; IV Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», Междуреченск, 2015г.; на VI Уральском Горнопромышленном Форуме в рамках Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Геомеханика в горном деле – 2015», Екатеринбург, 2015г.; Всероссийской научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле», Междуреченск, 2016г.; Международной научно-практической конференции «Перспективы инновационного развития угольных регионов России», Прокопьевск, 2016г.; VII Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий», Санкт-Петербург, 2016г.; Международном симпозиуме «Инновационные технологии в горном деле и образовании (памяти профессора В.Г. Пронозы). International Innovative Mining Symposium (in memory of Prof. Vladimir Pronoza)», Кемерово, 2017г.; VIII Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий», Санкт-Петербург, 2017г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 печатных работ, в том числе 7 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, изложена на 145 страницах машинописного текста и содержит 47 рисунков, 16 таблиц, а также список литературы из 115 наименований.

Автор выражает благодарность и глубокую признательность к.т.н. Петру Михайловичу Ларичкину и к.т.н. Алексею Ивановичу Быкадорову за неоценимую помощь и внимание к работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе диссертационной работы приведен анализ исследований и методов расчета сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности, история которых начинается с бурного развития горнодобывающей промышленности и интенсивного роста горнопромышленных районов в первой половине 19 века. Перед горными предприятиями возникла проблема оценки возможного ущерба от горных работ зданиям, сооружениям, путям сообщения, сельскохозяйственным угодьям, что вызвало необходимость организовывать

регулярные наблюдения за развитием процессов сдвижения земной поверхности и разрабатывать методы расчёта ожидаемых величин этих сдвижений.

Анализ и обобщение материалов проводимых наблюдений позволили создать понятийный аппарат, выдвинуть ряд гипотез деформирования массива горных пород и предложить большое количество методик расчетов – от первых эмпирических формул оседаний до метода типовых кривых и теоретических методов механики сплошной среды с созданием математических моделей.

Основоположниками отечественной школы исследований процесса сдвижения, обеспечившими ей ведущее место в мировой практике, явились П.М. Леонтовский, И.М. Бахурин, С.Г. Авершин. Большой вклад в науку о сдвижении горных пород и деформаций земной поверхности внесли ученые: А.Г. Акимов, С.А. Батугин, Е.В. Бошнятов, В.И. Борщ-Компониец, В.М. Гудков, Н.М. Ершов, В.Н. Земисев, М.А. Иофис, Д.А. Казаковский, С.П. Колбенков, М.А. Кузнецов, Р.А. Муллер, В.Н. Попов, А.Г. Шадрин, А.С. Ягунов и многие другие.

Несмотря на длительную историю развития отечественных и зарубежных научных исследований в сдвижении горных пород, пока нет единой научно обоснованной теории, раскрывающей внутреннюю сущность происходящих явлений и вытекающих из нее методов расчета деформаций вмещающих пород и земной поверхности. Даже при современном состоянии наших знаний о процессе сдвижения подрабатываемых горных пород и мощной вычислительной технике трудно представить ход развития этого процесса во всем его объеме - от очистной выработки до земной поверхности. Поэтому пришлось отказаться от попыток создания общей механико-математической модели и пойти по пути разработки абстрактных или аналитических методов расчета на эмпирической основе, которые можно было бы применять для прогноза деформаций земной поверхности.

Выполненный анализ ранее проведенных исследований и предложенных методов показал, что текущее состояние науки о сдвижении земной поверхности в области влияния очистной выемки характеризуется следующими положениями:

- базовым методом прогнозирования сдвижений и деформаций подрабатываемой земной поверхности в нашей стране является метод типовых кривых, по которым строятся кривые сдвижений и деформаций. Этот метод основан на обобщениях инструментальных наблюдений, полученных в 60-х годах прошлого столетия при скоростях подвигания забоя до 5м/сутки, и не учитывает динамические явления процесса сдвижения подрабатываемой земной поверхности;

- решение задач по защите объектов и сооружений, основанных только на величинах параметров процесса сдвижения после его окончания без учета развития деформационных процессов во времени, приводит к противоречиям между реальным и расчетным состоянием сдвижений и деформаций подработанной поверхности – промежуточные значения сдвижений и деформаций могут превышать их окончательные величины. Динамика процесса сдвижений точек поверхности, расположенных в зоне влияния очистной выемки, для разработки научно обоснованных методик предрасчета на сегодняшний день изучена недостаточно;

- основные параметры процесса сдвижений земной поверхности над длинными очистными забоями со скоростями их подвигания до 150м/мес. при

разработке угольных месторождений достаточно хорошо изучены в статике, когда процесс сдвижений в основном завершился, а подработанная толща пришла в новое равновесное состояние. Для решения задачи прогноза сдвижений в динамической постановке необходимы исследования, позволяющие установить взаимосвязь параметров сдвижения от подвигания очистного забоя;

- современные условия предполагают увеличение скорости подвигания очистных забоев до 20м/сутки и более. Несмотря на продолжительную историю изучения геомеханических процессов отмечается неоднозначное толкование относительно влияния скорости подвигания очистного забоя на профиль мульды сдвижения при ее формировании. Количественных характеристик этого влияния для выполнения соответствующих оценок ранее не устанавливалось;

- исследования последних лет в области динамических процессов, сопровождающих активную стадию сдвижений подрабатываемой земной поверхности в условиях Донбасса и Кузбасса, охватывают лишь некоторые закономерности формирования профиля динамической мульды сдвижений в зависимости от подвигания очистного забоя лавы. Закономерности сдвижений отдельных точек земной поверхности, установление которых приведет к созданию пространственных моделей процесса сдвижения, в этом профиле не рассматриваются.

- создание методики прогноза динамических сдвижений расширит инструментарий специалистов-геомехаников и повысит качество геомеханических обоснований при решении научно-практических задач обеспечения безопасности объектов поверхности при подземной разработке угольных месторождений Кузбасса, в том числе при выемке с высокими скоростями подвигания забоев.

Во второй главе изложены сведения по выполненным инструментальным наблюдениям за сдвижением земной поверхности в процессе движения очистных забоев, в том числе и с повышенными скоростями подвигания, от разрезной печи до демонтажной камеры на шахтах Кузбасса.

Закладка сети наблюдательных станций и проведение на них частотных наблюдений, в которых автор принимал непосредственное участие, осуществлялись Сибирским Филиалом «ВНИМИ» в рамках накопления экспериментального материала по сдвижению подрабатываемой поверхности. Условия закладки наблюдательных станций приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Условия закладки наблюдательных станций

№	Шахта	Станция, лава, пласт	H_{CP} - средняя глубина разработки, м	D_1 – ширина лавы, м	D_2 – длина лавы, м	N_1 – коэффициент подрабатанности в поперечном сечении лавы	m – вынимаемая мощность пласта, м	α – угол падения пласта, град	c – скорость подвигания очистного забоя, м/сут
1	Грамотеинская	лава 631, пл. Сычевский	227	210	1785	0,75	3,5	5	4,5 – 7,6
2	Котинская	лава 5204, пл. 52	230	230	2410	0,78	4,5	8,5	7,5 – 12,0
3	Котинская	лава 5205, пл. 52	166	236	2400	0,93	4,6	9	6,8 – 15,2
4	им. Кирова	лава 2446, пл. Болдыревский	250	233	> 1000	0,75	2,42	7	5,7
5	им. Кирова	лава 2452, пл. Болдыревский	314	250	> 600	0,69	2,35	6	6,9 – 15,0
6	Пионерка	пл.10	190	190	1320	0,74	1,4	18	2,6
7	Распадская	пл.6-6а	205	120	1150	0,55	4,4	17	3,1
8	Полысаевская	178, пл. Надбайкаимский	120	120	1550	0,73	2,7	10	3
9	Березовская	127, пл. XXI	125	200	1330	1,00	1,8	13	2
10	Западная	пл. 4	150	155	1100	0,75	1,4	9	1,2
11	Карагайлинская	лава 3112, пл. Сергеевский	172	120	1040	0,60	3,2	20	2
12	Им. Ярославского	143, пл. Наджуринский-2	105	80	1460	0,63	1,5	18	4,3
13	Комсомолец	142, пл. Толмачевский	240	260	1340	0,78	1,8	16	1,3
14	Комсомолец	141, пл. Бреевский	150	180	1375	0,83	1,75	16	1
15	Чертинская-Южная	95, пл.2	60	100	735	1,00	1,35	16	6,5
16	Чертинская-1	147, пл.3	235	180	880	0,63	1,4	6	2,5
17	Чертинская-1	163, пл.3	120	160	1100	0,89	1,6	5	4

Каждая из наблюдательных станций состояла из двух профильных линий грунтовых реперов, заложенных до появления влияния очистных выработок в направлениях простирания и вкрест простирания лав. Частотные наблюдения, позволяющие проследить и оценить формирование динамической мульды сдвижения по мере подвигания забоя лавы, производились с периодичностью через

1-3 дня. Результаты полевых наблюдений записывались в специальные журналы и после окончания каждого единичного наблюдения аналитически и графически обрабатывались, в том числе с использованием широкого спектра инструментов математических программ Mathcad и Excel.

Решение поставленных задач по выявлению динамики движения произвольной точки и установлению аналитических зависимостей осуществлялось методами корреляции и регрессии. Для выявления формы связи между параметрами строились корреляционные поля, по виду которых подбирались аналитическое выражение.

Оценка тесноты связи между исследуемыми параметрами выполнялась при линейной зависимости - по коэффициенту корреляции, при нелинейной - по корреляционному отношению. Для оценки значимости этих коэффициентов использовался t-критерий Стьюдента.

Достоверность аппроксимации оценивалась коэффициентами детерминации, которые характеризуют насколько точно найденные аналитические зависимости описывают реальный процесс динамических сдвижений точек поверхности в мульде. Оценка значимости аналитической модели производилась с использованием F-критерия Фишера сравнением его табличных и фактических значений.

Произведенная оценка существенности линейных коэффициентов корреляции, корреляционных отношений и коэффициентов детерминации дает основание использовать результаты проведенных исследований для прогноза ожидаемых динамических сдвижений точек подрабатываемой земной поверхности высокоскоростными механизированными очистными комплексами при разработке пологих и наклонных пластов Кузбасса.

В третьей главе представлены закономерности развития горизонтальных и вертикальных сдвижений отдельных точек подрабатываемой земной поверхности на профильных линиях в направлении подвигания забоя (по простирацию лав).

Установлено, что сдвижения земной поверхности проявляются не сразу после начала отработки лавы, а возникают после отхода очистного забоя от монтажной камеры в среднем на расстояние $D_{2x} = 0,3H_{CP}$, где D_{2x} – расстояние от монтажной камеры до линии очистного забоя, м; H_{CP} – средняя глубина разработки угольного пласта, м.

Далее по мере подвигания очистного забоя размеры мульды в плане увеличиваются, оседания точек земной поверхности возрастают и достигают своего максимума при отходе очистного забоя от монтажной камеры на расстояние $D_{2x} = 1,6H_{CP}$. При дальнейшем движении забоя $D_{2x} > 1,6H_{CP}$ полумульда со стороны монтажной камеры практически не изменяется, а полумульда со стороны демонтажной камеры движется вместе с очистным забоем, образуя «плоское дно».

Особенности смещений точек в сформированной динамической микромульде (при $D_{2x} = 1,6H_{CP}$) в направлении подвигания забоя позволяют выделить четыре обособленные зоны с разным характером сдвижений расположенных в них точек (рис. 1). Для точек поверхности, расположенных в зонах **А** и **Д**, свойственен

монотонный характер изменения оседаний и горизонтальных сдвижений при движении очистного забоя; а зоны сдвижений **В** и **С** при монотонном оседании характеризуются 2-х этапным возвратно-поступательным движением точек в горизонтальном направлении. Отличие между зонами **В** и **С** состоит в том, что конечные горизонтальные сдвижения точек указанных зон, соответствующие положению забоя $D_{2x} = 1,6H_{CP}$, имеют разное направление.

Размеры выделенных зон определяются эмпирическими углами: $\delta_A, \delta_B, \delta_C, \delta_D$ и граничными углами: $\delta_0, \delta'_0, \varphi_0$ и с учетом результатов исследования и принятых допущений составляют: $L_A \approx 0,67 \cdot H_{CP}$; $L_B \approx 0,77 \cdot H_{CP}$; $L_C \approx 0,45 \cdot H_{CP}$; $L_D \approx 0,35 \cdot H_{CP}$.

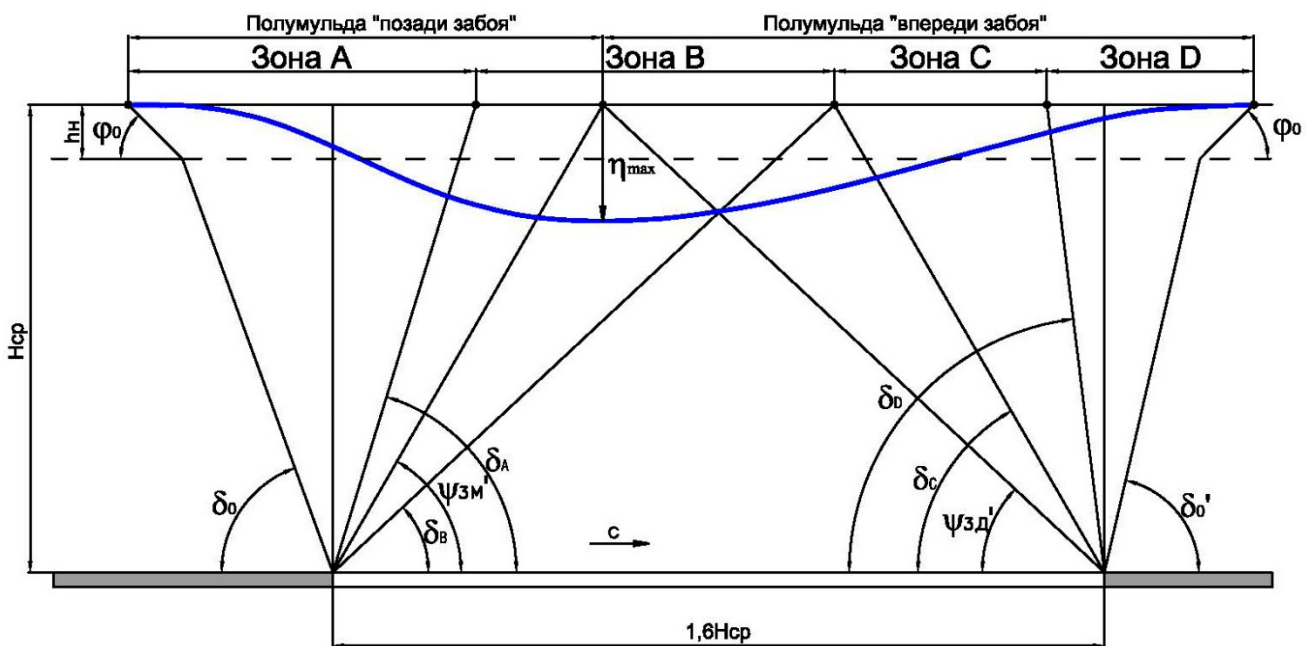


Рисунок 1 – Зоны сдвижения **А**, **В**, **С** и **Д** в сформированной микромульде при положении очистного забоя $D_{2x} = 1,6H_{CP}$

При дальнейшем подвигании забоя $D_{2x} > 1,6H_{CP}$ и образовании «плоского дна» зона **В** увеличивается в размерах, а зоны **С** и **Д** движутся вместе с подвиганием очистного забоя вплоть до образования полной мульды сдвижений.

По результатам выполненных исследований установлено, что конечные максимальные оседания η_{max} по профильным линиям на наблюдательных станциях отличаются не более чем на 20% от максимальных оседаний, рассчитанных по методике «Правил охраны...».

Для выявления динамики оседаний при подвигании забоя для каждой из характерных зон по простирацию лавы данные инструментальных наблюдений с разных наблюдательных станций приводились в нормализованный интервал $[0;1]$ и рассматривались как единая статистическая совокупность (рис. 2).

За начало нормализованного интервала принимался отход очистного забоя на расстояние $D_{2X} = 0,3H_{CP}$ от положения монтажной камеры (появление оседаний в главном сечении по простиранию лавы), за конец – отход на расстояние $D_{2X} = 1,6H_{CP}$ (достижение максимальных значений оседаний). Нормализованное динамическое оседание при соответствующем положении забоя (lt) определялось отношением текущего оседания точки к ее максимальному оседанию.

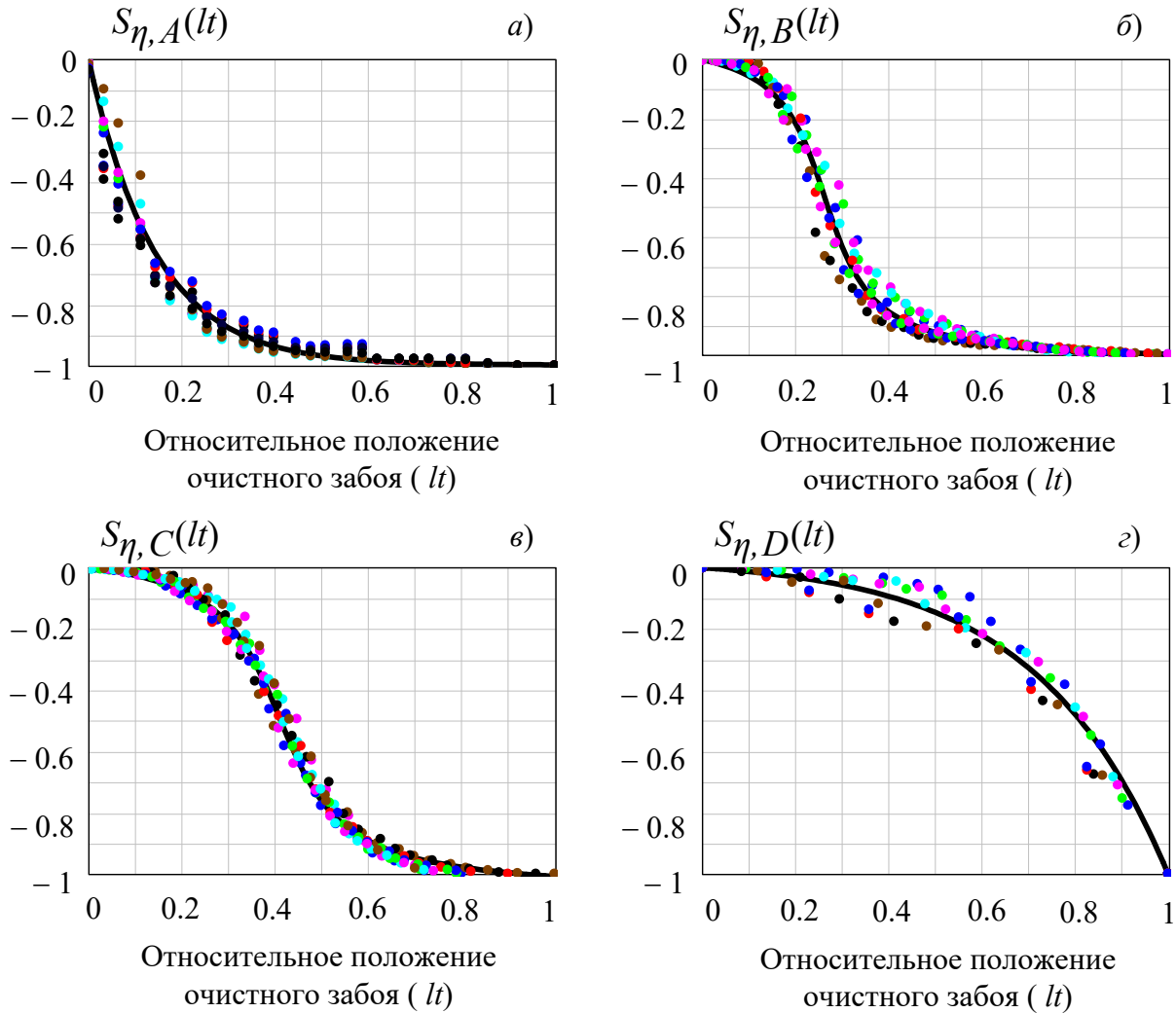


Рисунок 2 - Функции распределения оседаний отдельных точек подрабатываемой земной поверхности в продольном сечении лавы в характерных зонах сдвижений А, В, С, Д в зависимости от положения очистного забоя относительно монтажной камеры.

Функции распределения оседаний, представленные на рисунке 2, аппроксимированы выражениями:

$$\begin{aligned}
 S_{\eta, A} &= 1 - e^{-7 \cdot lt} \\
 S_{\eta, B} &= 0,362 \cdot \text{arcctg}(-13,3 \cdot lt + 3,5) - 0,1 \\
 S_{\eta, C} &= 0,37 \cdot \text{arcctg}(-10 \cdot lt + 4,1) - 0,09
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

$$S_{\eta,D} = 0,03 \cdot e^{3,536 \cdot lt} - 0,03$$

где lt – положение очистного забоя в нормализованных единицах.

Формулы (1) могут быть использованы для определения величин динамических оседаний точек в главном сечении по простиранию лавы в зависимости от положения забоя.

Распределение максимальных оседаний $S_{\eta i, \max}$ на интервале $D_{2X} = 1,6H_{CP}$ (то есть, в сформировавшейся динамической микромульде) установлено по данным инструментальных наблюдений для обеих ветвей микромульды: «*позади забоя*» $l_{ПЗ}$ и «*впереди забоя*» $l_{ВЗ}$.

Вид найденных функций максимальных оседаний точек поверхности в сформировавшейся микромульде приведен на рисунке 3.

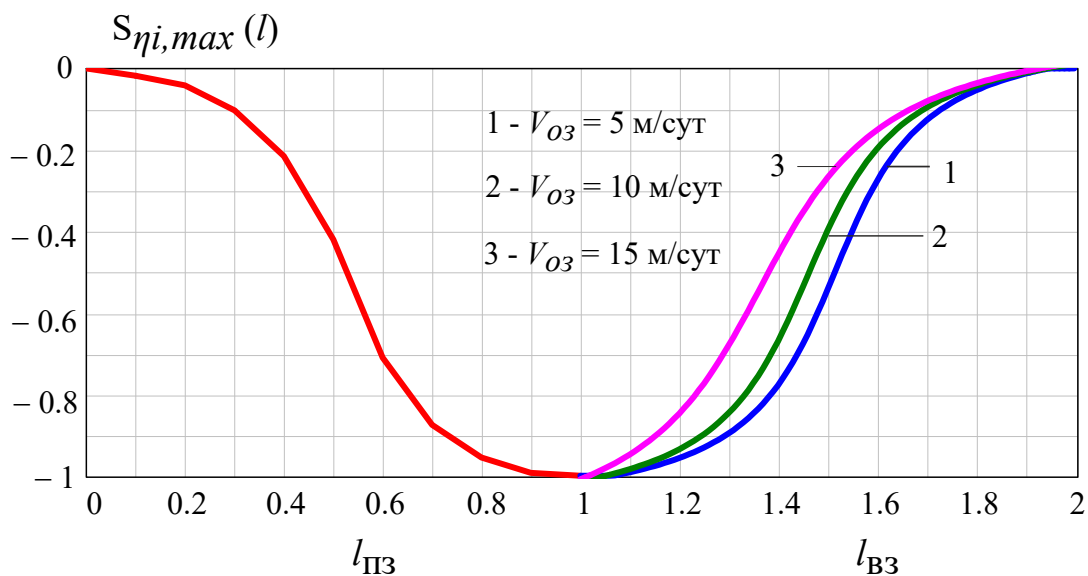


Рисунок 3 - Функции распределения максимальных оседаний точек поверхности в главном сечении по простиранию лавы в сформировавшейся микромульде при разных скоростях продвижения очистного забоя.

Исследованиями установлено, что функция распределения $S_{\eta i, \max}(l_{ПЗ})$ в полумульде «*позади забоя*» практически не изменяется с увеличением скорости продвижения очистного забоя и выражена эмпирической зависимостью:

$$S_{\eta i, \max}(l_{ПЗ}) = 0,382 \cdot \text{arcctg}(-8,045 \cdot l_{ПЗ} + 4,25) - 0,089 \quad (2)$$

Функция $S_{\eta i, \max}(l_{ВЗ})$ изменяется при возрастании скорости продвижения очистного забоя лавы. Для точек, расположенных в полумульде со стороны монтажной камеры, увеличение скорости продвижения забоя уменьшает динамические оседания этих точек (рис. 3). Установлены эмпирические зависимости:

$$\begin{aligned} S_{\eta i, \max}(l_{ВЗ}) &= 0,392 \cdot \text{arcctg}(7,487 \cdot l_{ВЗ} - 11,35) - 0,118 \quad \text{при } V_{O3} = 5 \text{ м/сутки} \\ S_{\eta i, \max}(l_{ВЗ}) &= 0,395 \cdot \text{arcctg}(7,17 \cdot l_{ВЗ} - 10,468) - 0,111 \quad \text{при } V_{O3} = 10 \text{ м/сутки} \\ S_{\eta i, \max}(l_{ВЗ}) &= 0,42 \cdot \text{arcctg}(5,566 \cdot l_{ВЗ} - 7,370) - 0,107 \quad \text{при } V_{O3} = 15 \text{ м/сутки} \end{aligned} \quad (3)$$

Из анализа рисунка 3 и расчетов, выполненных по формулам (3), следует, что при росте скорости подвигания от 5 до 15м/сутки максимальное снижение величины динамического оседания точки (до 2,4 раз) наблюдается в средней части полумульды «впереди забоя».

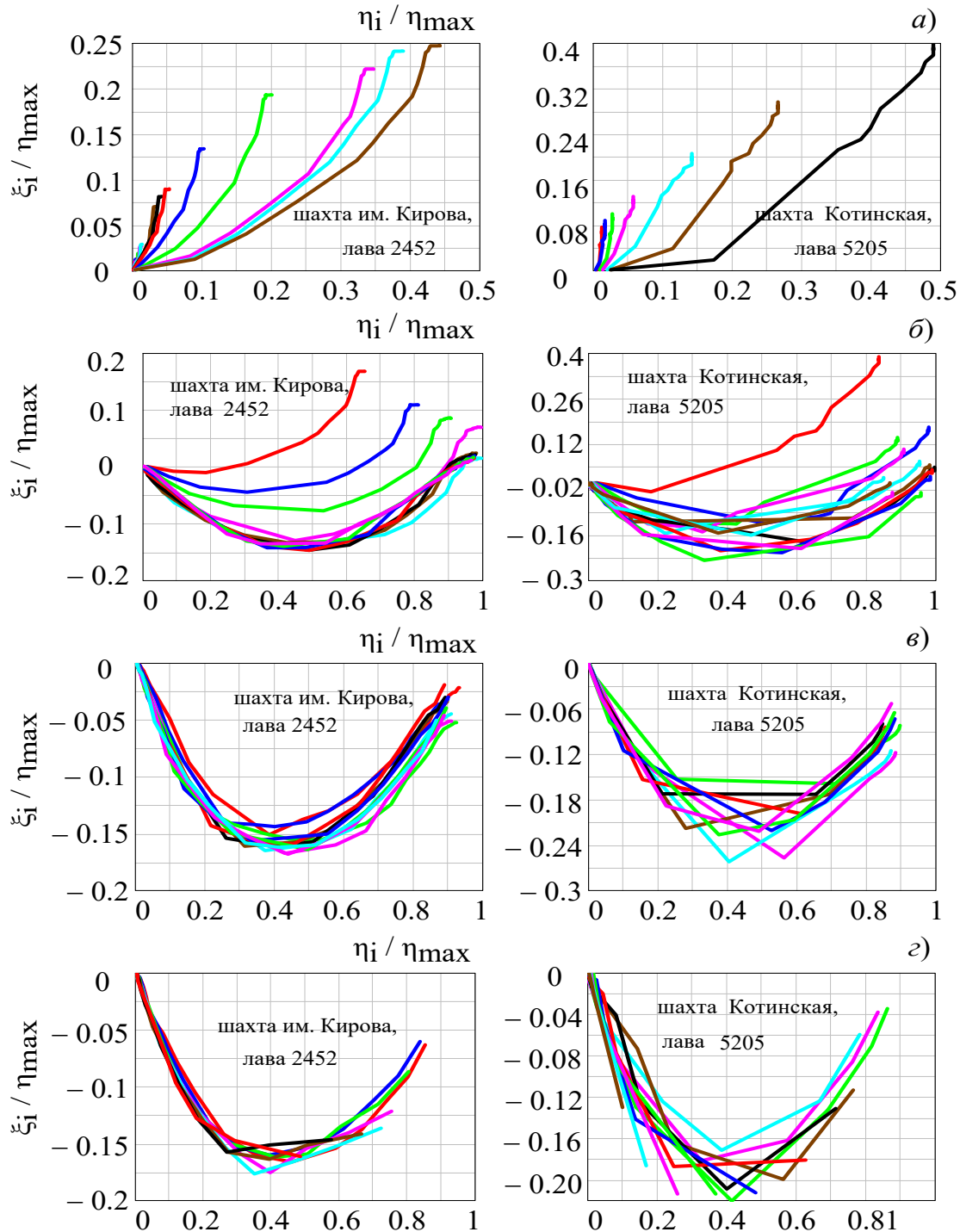


Рисунок 4 - Примеры характера взаимосвязи горизонтальных сдвижений и оседаний отдельных точек земной поверхности на наблюдательных станциях шахт им. Кирова и Котинская в характерных зонах динамической мульды сдвижений: а) в зоне А; б) в зоне В; в) в зоне С; г) в зоне D

Функции взаимосвязи оседаний и горизонтальных сдвижений отдельных точек по простирацию лав могут быть установлены путем подбора аппроксимирующих функций по графическому представлению корреляционных полей пар оседаний и горизонтальных сдвижений отдельных точек в нормализованных величинах и дальнейшим нахождением эмпирических коэффициентов этих функций (рис. 4).

В зоне **A** эти зависимости имеют экспоненциальный вид (рис. 4 *a*) и могут быть описаны выражением:

$$\xi_A(\eta_A) = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot \eta_A} - a_0 \quad (4)$$

где ξ_A – определяемая относительная (ξ_i/η_{\max}) переменная горизонтальных сдвижений в зоне **A**; η_A – независимая относительная (η_i/η_{\max}) переменная оседаний в зоне **A**; a_0, a_1 – эмпирические коэффициенты.

Зона **B** характеризуется тем, что при развитии процесса оседаний по закономерности, приведенной на рисунке 2 *б*, точки поверхности сначала сдвигаются в сторону монтажной камеры до некоторой максимальной величины, а затем начинают сдвигаться в сторону демонтажной камеры (рис. 4 *б*). Аналитически этот процесс сдвижений можно представить зависимостью горизонтальных сдвижений точек от их оседаний до максимального значения экспонентой вида (5), а после максимального горизонтального сдвижения экспонентой вида (6):

$$\xi_B(\eta_B) = a_0 \cdot e^{-a_1 \cdot \eta_B} - a_0 \quad (5)$$

$$\xi_B(\eta_B) = a_0 \cdot e^{a_1 \cdot \eta_B} - a_2 \quad (6)$$

Взаимосвязь оседаний и горизонтальных сдвижений в зонах **C** и **D** также хорошо аппроксимируется формулами вида (5) и (6). Эмпирические коэффициенты a_0, a_1, a_2 для каждой из характерных зон в диссертационной работе определены.

Принимая во внимание вышеизложенное, динамические горизонтальные сдвигения произвольной точки поверхности на профильной линии по простирацию лавы в зависимости от положений очистного забоя могут быть определены через динамические оседания этой точки.

В четвертой главе изложены закономерности развития оседаний и горизонтальных сдвижений отдельных точек подрабатываемой земной поверхности на профильных линиях в направлении поперечном к подвиганию забоя (вкрест простираания лавы).

Выявлено, что при ведении очистных работ траектории движения точек поверхности на профильных линиях по направлению подвигания забоя и вкрест к нему значительно отличаются друг от друга. Во время всей продолжительности формирования динамической мульды сдвижения на профильной линии вкрест простираания лавы наблюдается монотонный рост оседаний и горизонтальных сдвижений, а зависимость между ними является практически линейной. Коэффициент соотношения горизонтальных и вертикальных сдвижений динамической мульды вкрест простираания лавы для отдельной точки поверхности

зависит от положения точки на профильной линии, при этом в крайних зонах – он сохраняет постоянную величину.

Помимо отличий в характере развития оседаний и горизонтальных сдвижений и соотношений между ними в процессе исследований выявлено, что в крайних и средних зонах динамической мульды сдвижения вкрест простирания лавы несколько различаются процессы развития оседаний – при линейном характере развития оседаний в краевой части мульды сдвижения (рис. 5) средним зонам свойственна его нелинейная динамика (рис. 6), хорошо аппроксимируемая обратными тригонометрическими функциями.

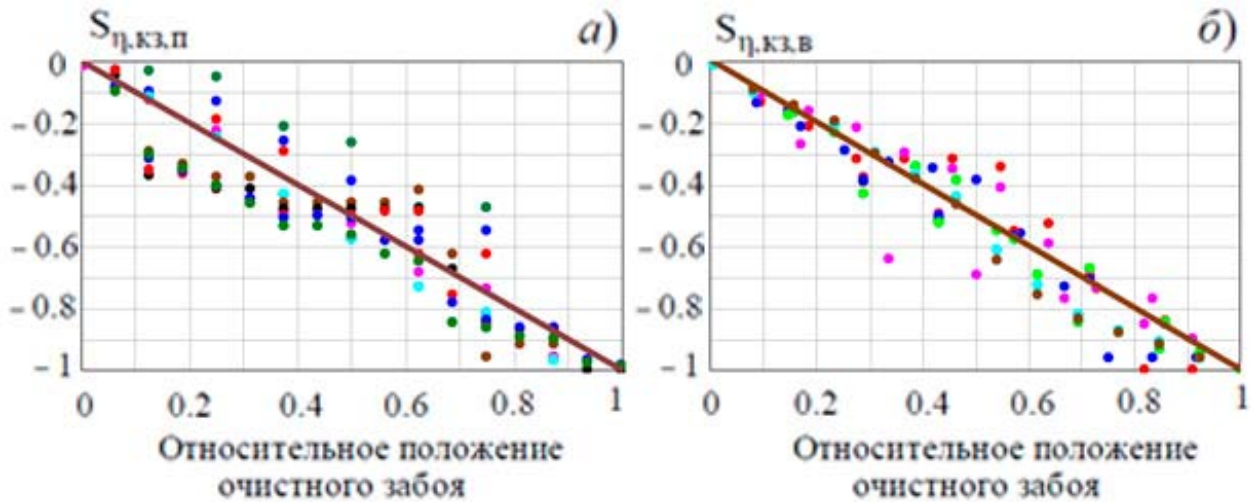


Рисунок 5 - К установлению функций распределения оседаний точек подрабатываемой земной поверхности в крайних зонах главного поперечного сечения динамической мульды сдвижений: а) в полумульде по падению; б) в полумульде по восстанию.

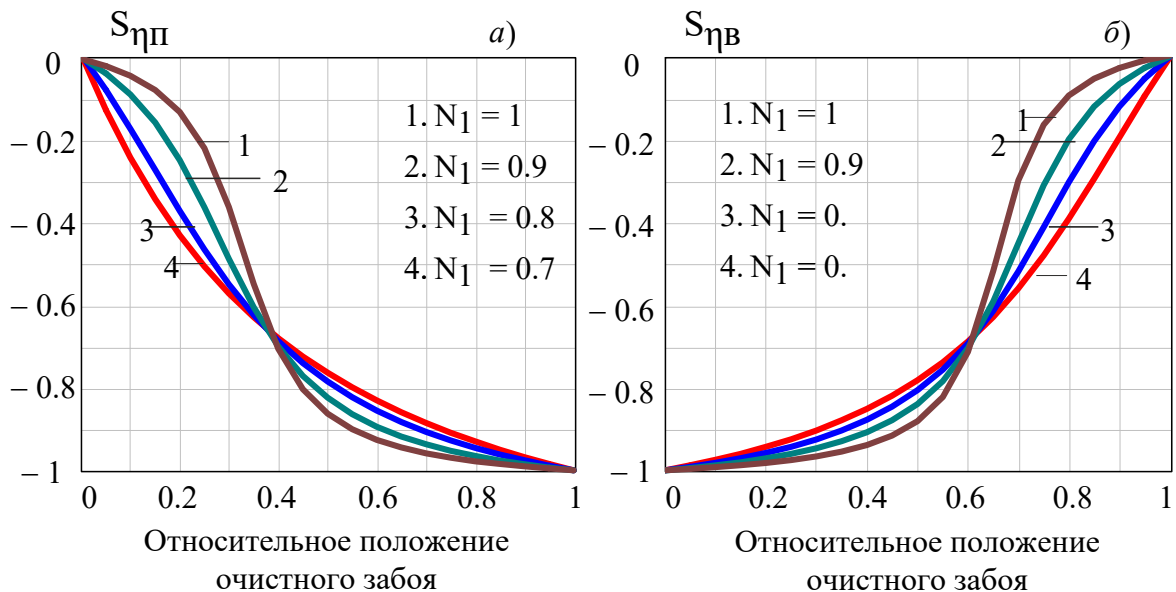


Рисунок 6 - Функции распределения оседаний в средней зоне главного поперечного сечения динамической мульды сдвижений при разных степенях подработанности земной поверхности N_1 : а) в полумульде по падению; б) в полумульде по восстанию

Нашими исследованиями установлено, что разграничение краевых и средней зон динамической мульды вкрест простирания можно произвести по углам сдвижений: $\varphi = 55^\circ$ в сухих наносах и нормальной влажности ($\varphi = 45^\circ$ - в пльвунах и в обводненных галечниках); $\beta = 82^\circ - \alpha$; $\gamma = 80^\circ$ (при ориентации лавы по простиранию пласта) и $\delta = 80^\circ$ (при ориентации лавы вкрест простирания пласта), то есть, краевые зоны находятся в промежутке между зоной общего влияния и зоной опасного влияния горных работ. При этом у более чем 90% краевых точек земной поверхности оседания не превышают 15% от максимальных окончательно сформировавшейся мульды. Таким образом, на поперечной к подвиганию забоя профильной линии можно выделить 2 средних и 2 крайних характерных зоны.

По характеру корреляционных полей функции распределения оседаний в краевых и средних частях аппроксимируются выражениями:

$$\text{для краевых зон: } S_{\eta, \kappa 3}(lt) = lt ; lt \in [0; 1] \quad (7)$$

$$\text{для средних зон: } S_{\eta, \eta 6}(lt) = a_0 \cdot \text{arcctg}(a_1 \cdot lt + a_2) + a_3 \quad (8)$$

где lt – положение очистного забоя в нормализованных единицах;

a_0, a_1, a_2, a_3 – эмпирические коэффициенты, определяемые для каждого коэффициента подработанности методом наименьших квадратов (см. табл.2).

Относительно положения очистного забоя в нормализованных единицах lt следует добавить, что в сечениях вкрест простирания лав сдвижения расположенных в нем точек поверхности в некоторый момент t_1 начинаются при положении очистного забоя $D_{2X} \approx 0,3H_{CP}$ от проекции профильной линии и практически достигают максимального значения в момент t_2 в районе $D_{2X} \approx H_{CP}$ за проекцией профильной линии. Для главного сечения вкрест простирания эти положения совпадают с отходами очистного забоя от монтажной камеры на расстояние $D_{2X} = 0,3H_{CP}$ и $D_{2X} = 1,6H_{CP}$, что соответствует нормализованному интервалу изменения $[0; 1]$, принятому в главе 3.

Таблица 2 – Коэффициенты функций распределений $S_{\eta, \eta 6}(lt)$ в полумульдах по падению и восстанию

N_1	$a_{0п}$	$a_{1п}$	$a_{2п}$	$a_{3п}$	$a_{0в}$	$a_{1в}$	$a_{2в}$	$a_{3в}$
1	0,367	-10,428	3,449	-0,101	0,358	-13,227	4,523	-0,084
0,9	0,421	-6,01	1,675	-0,227	0,397	-7,41	2,231	-0,171
0,8	0,591	-3,398	0,504	-0,66	0,466	-4,727	1,148	-0,337
0,7	1,38	-2,91	-0,635	-2,956	0,64	-3,158	0,348	-0,792

Значения максимальных оседаний по поперечному профилю получены с использованием преобразования данных инструментальных наблюдений. Вид найденных функций максимальных оседаний точек поверхности в сформировавшейся микромульде приведен на рисунке 7.

Приведенные на рисунке 7 функции распределения хорошо аппроксимируются обратными тригонометрическими функциями:

$$\begin{aligned}
 S_{\eta, \max, \Pi}(l_{\text{НП}}) &= -0,378 \cdot \text{arcctg}(8,04 \cdot l_{\text{НП}} - 4,63) + 1,108 \\
 S_{\eta, \max, \text{В}}(l_{\text{НВ}}) &= 0,443 \cdot \text{arcctg}(4,58 \cdot l_{\text{НВ}} - 1,6) - 0,144
 \end{aligned}
 \tag{9}$$

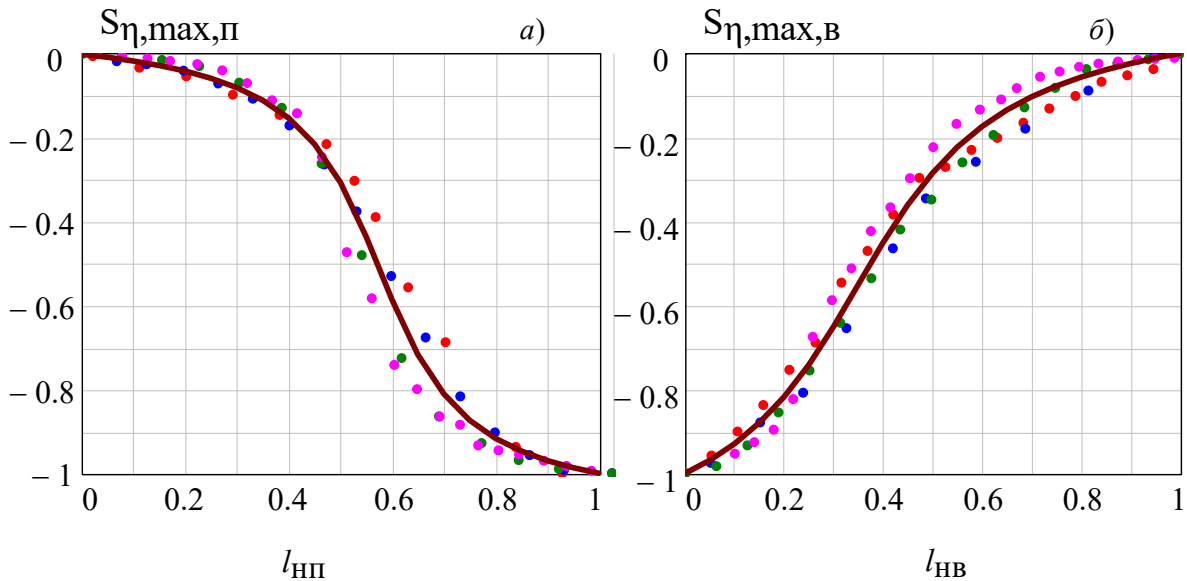


Рисунок 7 - К установлению функций распределения максимальных оседаний точек подрабатываемой земной поверхности в поперечном сечении динамической мульды сдвижений при отходе очистного забоя на расстояние $D_{2X} \approx H_{CP}$ за проекцию профильной линии: а) в полумульде по падению; б) в полумульде по восстанию

Коэффициенты соотношения горизонтальных и вертикальных сдвижений в краевых зонах динамической мульды определены по статистическим совокупностям методом наименьших квадратов и имеют следующие численные значения: $K_{K3, \Pi} = 0,70$; $K_{K3, \text{В}} = -0,93$. Найденные значения коэффициентов пропорциональности являются одинаковыми для всех точек подрабатываемой земной поверхности, находящихся в краевых зонах по падению и восстанию, и постоянны во времени прохождения под ними очистного забоя.

Корреляционные поля, по которым устанавливались коэффициенты соотношений между горизонтальными и вертикальными сдвигами точек поверхности в средних зонах, приведены на рисунке 8. Приведенные зависимости имеют вид сигмоиды и аппроксимированы эмпирическими функциями:

$$\begin{aligned}
 K_{C3, \Pi}(l_{H, C3, \Pi}) &= 0,285 \cdot \text{arcctg}(5,606 \cdot l_{H, C3, \Pi} - 3,324) - 0,112 ; \\
 K_{C3, \text{В}}(l_{H, C3, \text{В}}) &= -0,415 \cdot \text{arcctg}(4,136 \cdot l_{H, C3, \text{В}} - 2,252) + 1,131
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Найденные коэффициенты позволяют определить динамическое горизонтальное сдвижение произвольной точки земной поверхности на линии вкрест простирания лавы через ее динамическое оседание, соответствующее текущему положению очистного забоя.

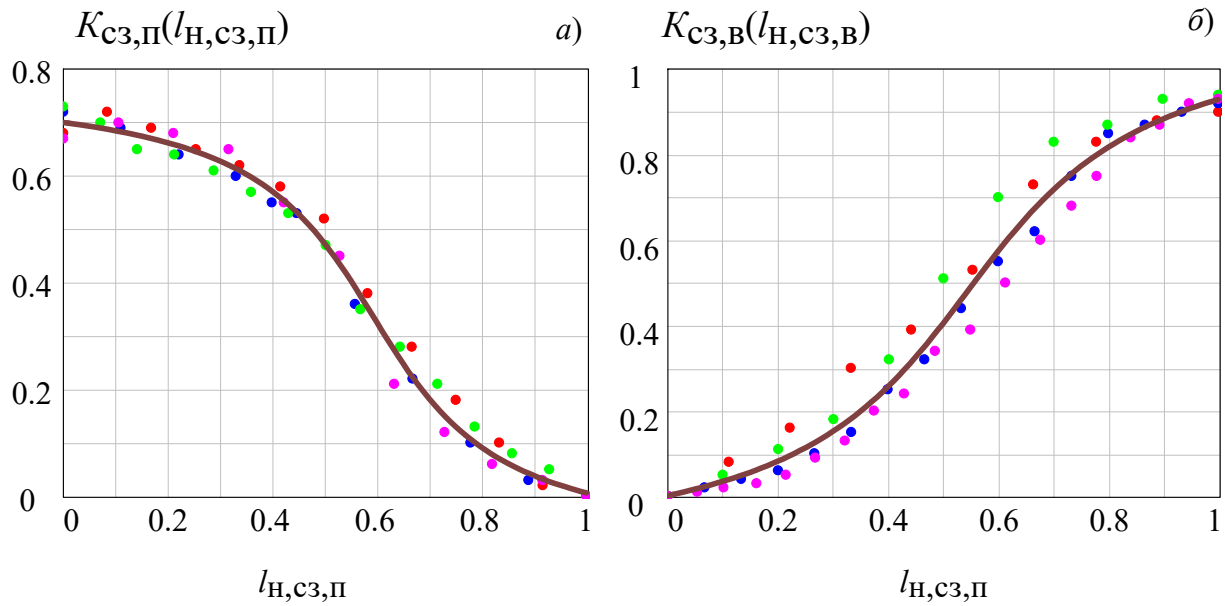


Рисунок 8 - К установлению зависимостей коэффициентов $K_{cз,п}$; $K_{cз,в}$ от положения точек средних зон подрабатываемой земной поверхности в поперечном сечении динамической мульды сдвижений при прохождении очистного забоя под профильной линией: а) в полумульде по падению, б) в полумульде по восстанию.

В пятой главе приведена методика прогноза ожидаемых динамических сдвижений отдельных точек земной поверхности при отработке полого-наклонных угольных пластов Кузбасса с учетом повышенных скоростей подвигания забоев. Методика разработана на основе выявленной динамики и установленных закономерностей и является системой многовариантных расчетов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой решается научная задача прогноза сдвижений отдельных точек поверхности, расположенных в зоне влияния очистной выемки. Указанная задача имеет значение при решении научно-практических вопросов обеспечения безопасности объектов поверхности при подземной разработке угольных месторождений, в том числе при выемке с высокими скоростями подвигания забоев.

Основные научные результаты и выводы:

1. Характер изменения горизонтальной составляющей сдвижений отдельных точек на профильной линии по простиранию лавы позволяет выделить и охарактеризовать четыре обособленные зоны в направлении простирания, а особенности развития оседаний точек на профильной линии вкрест простирания при подвигании очистного забоя, а также характер соотношения между вертикальными

и горизонтальными сдвигениями этих точек - четыре зоны в поперечном направлении. Приведены формулы, необходимые параметры и эмпирические коэффициенты для расчета геометрических размеров характерных зон.

2. По результатам выполненных исследований установлено, что максимальное оседание земной поверхности при высоких скоростях подвигания забоя с достаточной точностью определяется соответствующей формулой «Правил охраны...», при этом расхождение между фактическими максимальными оседаниями по профильным линиям на наблюдательных станциях не превышало 20% от максимальных оседаний, рассчитанных по методике «Правил...».

3. Максимальные оседания отдельных точек в сформированной динамической мульде на профильной линии по простиранию лавы зависят от положения точек и могут быть определены в полумульдах со стороны монтажной и демонтажной камер с помощью величины максимального оседания мульды сдвигения, определяемого методикой «Правил охраны...», и предложенных эмпирических зависимостей на основе обратных тригонометрических функций.

4. Установлены эмпирические формулы для расчета максимальных оседаний отдельных точек поперечных профильных линий в полумульдах по падению и восстанию, определяемых в случае расположения профильной линии в главном сечении - с помощью величины максимального оседания мульды, а в случае расположения профильной линии в сечениях, параллельных главному - с помощью максимальных оседаний точек, расположенных на пересечении профильных линий.

5. Для каждой из выделенных характерных зон определены эмпирические формулы линейного, экспоненциального и тригонометрического вида для расчета динамического оседания произвольной точки подрабатываемой поверхности в зависимости от подвигания очистного забоя.

6. Установлено, что оседания точек полумульды со стороны монтажной камеры не зависят от скорости подвигания очистного забоя. Для точек, расположенных в полумульде со стороны демонтажной камеры, увеличение скорости подвигания забоя уменьшает динамические оседания подрабатываемой поверхности. Выявленные зависимости впервые позволяют выполнить количественную оценку влияния скорости подвигания забоя на сдвигение подрабатываемой поверхности.

7. Выявлен характер соотношения вертикальных и горизонтальных сдвижений точек подрабатываемой земной поверхности в направлениях вкрест и по простиранию лавы. Для аналитического представления взаимосвязи оседаний и горизонтальных сдвижений впервые установлены эмпирические зависимости.

8. Динамическое горизонтальное сдвижение произвольной точки поверхности на профильной линии по простиранию в зависимости от положения очистного забоя может быть определено через динамическое оседание этой точки и функции взаимосвязи вертикальных и горизонтальных сдвижений.

9. Разработана «Методика прогноза ожидаемых динамических сдвижений отдельных точек земной поверхности при отработке пологих угольных пластов Кузбасса высокомеханизированными одиночными лавами».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО
В ИЗДАНИЯХ, РЕКОМЕНДУЕМЫХ ВАК РОССИИ:

1. Быкадоров А.И., Ларичкин П.М., **Свирко С.В.** Скорость изменения горизонтальных сдвижений подрабатываемой земной поверхности высококомеханизированными забоями шахт Кузбасса. // Вестник КузГТУ, - 2014, № 6. – С. 28-33.

2. **Свирко С.В.**, Ренев А.А. Закономерности развития оседаний земной поверхности вкrest простирания лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса с высокими скоростями подвигания забоев. // Вестник КузГТУ, - 2014, № 6. – С. 23-27.

3. **Свирко С.В.**, Ренев А.А. Особенности смещения точек подрабатываемой земной поверхности высокоскоростными очистными забоями при отработке полого-наклонных угольных пластов Кузбасса. // Вестник КузГТУ, - 2015, № 5. – С.32-43

4. Быкадоров А.И., Ларичкин П.М., **Свирко С.В.**, Ренев А.А. Динамика вертикальных и горизонтальных составляющих сдвижений земной поверхности вкrest простирания лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса. // Вестник КузГТУ, - 2016, № 1. – С.25-33.

5. **Свирко С.В.** О влиянии скорости подвигания очистного забоя на процессы сдвижения земной поверхности // Вестник КузГТУ, - 2016, № 3. – С.51-62.

6. Быкадоров А.И., Ларичкин П.М., **Свирко С.В.** Скорости изменения оседаний и горизонтальных сдвижений подрабатываемой земной поверхности при повышенных скоростях подвигания очистных забоев в Кузбассе // ГИАБ, - 2016, № 6. – С. 122-136.

7. **Свирко С.В.**, Ренев А.А. Аналитические представления взаимосвязи вертикальных и горизонтальных сдвижений точек подрабатываемой земной поверхности по простиранию // Вестник КузГТУ, - 2016, №5. – С.7-15.

ПРОЧИЕ ПУБЛИКАЦИИ:

8. **Свирко С.В.**, Ренев А.А., Быкадоров А.И., Ларичкин П.М. Динамическая мульда сдвижений земной поверхности при разработке пологих и наклонных угольных пластов Кузбасса с повышенными скоростями подвигания очистных забоев. // Современные тенденции и инновации в науке и производстве: Материалы IV Международной науч.- практ. конф. Междуреченск, 8-10 апреля 2015г.- Кемерово, 2015. – С.91-92.

9. **Свирко С.В.**, Ренев А.А., Быкадоров А.И., Ларичкин П.М. Несколько результатов исследований динамики сдвижения точек земной поверхности вкrest простирания лав при отработке пологих и наклонных пластов Кузбасса // Фундаментальные и прикладные проблемы в горном деле: Материалы

всероссийской научно-практической конференции. 25 февраля 2016г., Междуреченск, 2016. – С. 162-167.

10. **Свирко С.В.**, Быкадоров А.И., Ренев А.А. Закономерности сдвижения отдельных точек подрабатываемой поверхности в условиях Кузбасса // Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 2-4 декабря 2015г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2015.

11. **Свирко С.В.**, Ренев А.А., Быкадоров А.И., Ларичкин П.М. Аналитическое представление взаимосвязи вертикальных и горизонтальных сдвижений точек подрабатываемой земной поверхности // Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: материалы VII Международной научно-практической конференции 12-13 мая 2016г. – Санкт-Петербург, 2016.

12. Alexey Renev, **Sergey Svirko**, Alexey Bykadorov, Valery Fedorin «The influence of advancing speed of powered mining stope with single face on earth's surface displacing in Kuzbass» // «Environment, Energy and Earth Sciences (E3S) Web of Conferences», 2017, Volume 15, 01002.

13. **Свирко С.В.**, Ренев А.А., Быкадоров А.И., Ларичкин П.М. Динамические сдвигения земной поверхности подрабатываемой высокоскоростными забоями шахт Кузбасса // Инновационные направления в проектировании горнодобывающих предприятий: материалы VIII Международной научно-практической конференции 15-17 мая 2017г. – Санкт-Петербург, 2017.

Подписано в печать _____. 2018. Формат 60x84 1/6.
Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.

Печ. л. _____. Тираж _____ экз. Заказ № _____.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.

Типография Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева».
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.