

На правах рукописи

УДК 622.83[528.2:629.78]

**Тенисон
Людмила Олеговна**

**Разработка методики определения деформаций
земной поверхности при ее многократной
подработке**

Специальность 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная
теплофизика

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Пермь - 2012

Работа выполнена в ИГД УрО РАН

Научный руководитель — доктор технических наук,
заслуженный деятель науки РФ
Сашурин Анатолий Дмитриевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ашихмин Сергей Геннадьевич
кандидат технических наук
Усанов Сергей Валерьевич

Ведущая организация — Горный институт Уральского отделения
Российской академии наук

Защита состоится 28 мая в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 004.010.01 при Институте горного дела УрО РАН по адресу: 620219, г.Екатеринбург, ГСП-936, ул.Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО РАН.

Просьба направлять отзывы почтой в 2 экземплярах, заверенных печатью организации, по указанному выше адресу.

Автореферат диссертации разослан 26 апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

В.М.Аленичев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ В огромном многообразии закономерностей развития процесса сдвижения, определяемом условиями ведения подземной разработки, особое место занимает многократная или повторная подработка земной поверхности и расположенных на ней охраняемых объектов. Классическим вариантом многократной подработки является последовательная отработка свиты пластов полезных ископаемых. В этом случае земная поверхность и подрабатываемые объекты многократно, по количеству пластов, подвергаются воздействию процесса сдвижения. При этом каждая подработка будет сопровождаться развитием деформационных процессов по своим закономерностям.

На значительных по площади месторождениях при выемке пластов обычно используется панельный или панельно-блоковый способ отработки, определяющий **последовательную отработку участков** с образованием внутри горных отводов временных границ горных работ. Объекты земной поверхности, расположенные в краевой части мульды, образованной над временной границей, испытывают влияние горных работ, в первую очередь, при первичной подработке со стороны первого участка, второй раз – при отработке запасов последующего участка.

Последовательный способ отработки применяется при добыче запасов калийных солей на площади Верхнекамского месторождения калийных солей. На подработанных или планируемых к подработке территориях в настоящее время ведется промышленное и гражданское строительство. При проектировании объектов встает вопрос о необходимости применения при строительстве дополнительных конструктивных мер защиты объектов от вредного влияния горных работ. Достоверное определение расчетных и ожидаемых горизонтальных деформаций земной поверхности, которые зачастую являются основным критерием сохранения объектами, расположенными на подработанной территории, своих эксплуатационных свойств, позволит предотвратить опасные последствия подработки и, в то же время, исключит завышение затрат на введение дополнительных конструктивных мер.

Особую актуальность проблема прогнозирования деформаций приобрела после аварии 2006 года, в результате которой всё рудничное пространство БКПРУ-1, расположенное под селитебной территорией г. Березники, было затоплено. Для оценки последствий аварии возникла необходимость определения и прогнозирования деформаций одновременно большого количества жилых и промышленных объектов.

Несмотря на комплекс конструктивных мер защиты, принятых в 2009 году, по завершению затопления рудничного пространства в некоторых жилых зданиях проявились признаки деформирования, приводящие к потере им эксплуатационных свойств. Особенная концентрация таких зданий выде-

ляется в районе, пространственно расположенном над временной границей между 1 бис и 2 бис ВП, в связи с тем, что при выполнении оценочных геомеханических расчетов не были учтены показатели горизонтальных сдвижения и деформаций, достигнутые до затопления и их скорости в момент активизации процесса сдвижения, вызванного намоканием целиков различной устойчивости.

Таким образом, разработка новых методов расчета деформаций земной поверхности над временными границами горных работ, учитывающих горизонтальные и вертикальные сдвижения и деформации, является актуальной научно-технической задачей, имеющей важное научное и практическое значение. Исследования по диссертационной работе выполнены в рамках договоров 271С-2010, 288У-2010, 290У-2010, 01-17/62 с ОАО «Соликамск», ОАО «УРАЛКАЛИЙ» и администрацией городов Березники и Соликамск.

Объект исследований – массив горных пород (земная поверхность), подработанный (ая) подземными горными выработками.

Предмет исследований - преобразования (деформации) земной поверхности при её последовательной подработке горными работами.

Целью работы является: исследование закономерностей изменения вертикальных и горизонтальных деформаций земной поверхности при её последовательной подработке для разработки прикладной методики расчета деформаций в условиях образования временных границ горных работ при различных горнотехнических условиях.

Идея работы состоит в использовании зависимости изменения скорости горизонтальных деформаций земной поверхности от скорости вертикальных деформаций для определения величины горизонтальных деформаций в период активизации.

Основные задачи исследований:

- выявить изменения закономерности распределения деформаций в различные временные периоды формирования краевой части в условиях последовательной подработки и установить связь этих закономерностей с горнотехническими условиями с каждой стороны временной границы горных работ;
- определить продолжительность периода окончательного формирования границы после повторной подработки;
- установить численную зависимость между скоростью вертикальных и скоростью горизонтальных деформаций земной поверхности в период активизации;
- установить численную зависимость между вертикальными и горизонтальными сдвигами земной поверхности в различные периоды от начала подработки.

Методы исследования: В работе использован комплексный метод исследований, включающий натурные эксперименты, методы геометризации данных, отбор, анализ и обобщение данных наблюдений за сдвижением земной поверхности. Систематизация и классификация процессов деформирования в различных условиях их образования.

Подтверждение достоверности результатов исследования:

многолетние результаты натурных экспериментов по исследованию процесса сдвижения на предприятиях ВКМС;

удовлетворительная сходимость расчетных параметров, полученных по разработанной методике расчета, с фактическими данными натурных инструментальных наблюдений.

Основные защищаемые положения:

1 Продолжительность периода активизации процесса сдвижения после повторной подработки определяется соотношением скоростей оседаний земной поверхности на участках первой и последующей подработок: при ускоренном развитии процесса сдвижения земной поверхности над площадью последующей подработки относительно первичной, срок переформирования краевой части мульды сдвижения над временной границей горных работ пропорционален отношению скоростей над площадями первичной и последующей подработок; при более медленном протекании процесса сдвижения на площади последующей подработки конфигурация границы не изменяется, период активизации равен нулю.

2 В условиях последовательной подработки земной поверхности в период активизации процесса сдвижения отношение скоростей максимальных горизонтальных деформаций до и после отработки последующей панели пропорциональны отношению скоростей максимальных вертикальных деформаций над первичной и последующей подработками.

3 Зависимость между вертикальными и горизонтальными смещениями земной поверхности в краевой части мульды сдвижения в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей изменяется во времени и зависит от отношения величины достигнутого оседания к его максимальному расчетному значению. При медленном развитии процесса сдвижения коэффициент пропорциональности между вертикальными и горизонтальными смещениями определяется выражением

$$a = 0.39(\eta_t / \eta_{\max})^{-0.1}, \quad (1)$$

при ускоренном оседании

$$a = 0.33(\eta_t / \eta_{\max})^{0.3}. \quad (2)$$

Научная новизна результатов исследований заключается в развитии представлений о механизме и условиях формирования краевой части мульды сдвижения в условиях последовательной подработки и разработке методик расчета и прогнозирования учитывающих, в том числе и дискретное изменение величины горизонтальных деформаций в момент последующей подработки.

Выдвинута и подтверждена гипотеза о зависимости распределения деформаций в краевой части мульды сдвижения (типовых кривых распределения), образующихся в условиях последовательной подработки, от горно-технических условий ведения горных работ с каждой стороны временной границы. Выделено четыре типа конфигураций.

Доказано, что срок окончательного формирования мульды сдвижения над временной границей горных работ определяется скоростями оседаний обеих сторон границы. Выделено три временных периода, в каждый из которых необходимо применять различные методические подходы к определению горизонтальных деформаций.

Установлены численные значения функций безразмерного распределения вертикальных и горизонтальных сдвижений и деформаций для каждого типа краевой части.

Теоретически установлены и экспериментально подтверждены взаимосвязи скоростей горизонтальных деформаций и скоростей оседаний начальной и последующей подработок.

Разработан и обоснован новый метод определения вертикальных и горизонтальных деформаций земной поверхности в условиях формирования краевых частей мульды сдвижения при последовательной подработке земной поверхности.

Личный вклад соискателя. Все научные результаты выносимые на защиту получены автором лично. Соавторы опубликованных работ принимали участие в обсуждении промежуточных и конечных результатов. Обработка, интерпритация данных, разработка методов расчетов, а также выводы сделаны автором самостоятельно.

Публикации

Основные результаты исследований отражены в 7 опубликованных работах, из них 5 статей - в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 165 страницах текста, содержит 40 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 60 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научным руководителям д.т.н. А.Д. Сашурину и к.т.н. В.Е. Маракону за содействие, поддержку и квалифицированную помощь, оказанные в период выполнения исследований.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении обоснована актуальность работы.

В первой главе выполнен анализ методов расчета параметров процесса сдвижения, на основе которого обоснованы пути совершенствования подходов к определению горизонтальных деформаций земной поверхности в условиях повторной и последовательной подработки на примере Верхнекамского месторождения калийных солей.

Методы расчета сдвижений по способу выполнения подразделяются на аналитические, графические, аналоговые; по виду получаемого результата — на методы вычисления по точкам, методы определения максимальных значений и методы типовых кривых и, наконец, по их основным предпосылкам — на эмпирические, основанные на функциях влияния, и методы, основанные на теоретических моделях. В число методов, основанных на функциях влияния, входит метод типовых кривых, в основу которого положены функции распределения степени влияния элемента очистной выработки на точку земной поверхности, для которой производится расчет.

Типовые кривые, полученные непосредственно по результатам наблюдений, даны для Донбасса С.П. Колбенковым, А.Н. Медянцевым и А.И. Мазуровой. Для Львовско-Волынского бассейна - М.А. Иофисом, для Челябинского бассейна — И.А. Петуховым.

К группе методов, основанных на теоретических моделях, относятся методы, базирующиеся на представлениях механической или математической модели породного массива и на законах теории упругости и пластичности. Современное представление о состоянии массива горных пород до и после его подработки отражено в работах С.А. Константиновой, А.Д. Сашурина, А.А. Панжина.

Исследованиями взаимного влияния смежных выработок в условиях угольных бассейнов проводились многими русскими и зарубежными учеными: это С. Кнотте, Р.А. Муллер, С.Г. Авершин, М.А. Иофис, И.В. Барсуков и др. Общим заключением всех исследований является установленный факт активизации процесса сдвижения земной поверхности после подработки со стороны смежной выработки.

Наиболее распространенным в настоящее время методом оценки деформированности подработанного массива горных пород является математическое моделирование. Математическая модель включает уравнения, описывающие поведение горных пород, как при нагрузке, так и при разгрузке. Исследованиями закономерностей напряженно-деформированного состояния толщи горных пород и прогнозированием последствий ведения горных работ в условиях ВКМКС, в основном, занимаются ученые научной части ОАО «Галургия» (Мараков В.Е., Константинова С.А.) и ГИ УрО РАН (Барях А.А.

и др.). Исследования Кашникова Ю.А. и Ашихмина С.Г. (ПГТУ) рассматривают модели взаимного влияния разработки калийных и углеводородных месторождений.

Специфика ведения горных работ на ВКМКС такова, что при последовательной подработке во внутренних зонах образуются сложные, иногда растянутые в пространстве мульды сдвижения с изменением направления деформаций во времени. Для сложных горнотехнических условий, когда практически невозможно достоверно просчитать достигнутые деформации способом математического суммирования влияния всех существующих границ горных работ на рассматриваемый объект, лабораторией горной геомеханики ОАО «Галургия» разработана методика определения деформаций способом построения площадного распределения оседаний с последующим разрезом в нужном сечении и дифференцированием полученных результатов.

Как показал обзор существующих в настоящий момент методов определения деформаций земной поверхности в условиях ее многократной (последовательной) подработки, при их безусловной актуальности можно выделить ряд важных показателей, значения которых не поддаются точному прогнозу, ими являются:

- **величина скорости горизонтальных деформаций**, которая принимается в качестве основного критерия при оценке безопасных условий подработки линейных объектов (путепроводов различного назначения).
- **горизонтальные смещения**. Оценка корректности результатов, полученных методом конечных элементов, выполняется путем сравнения графиков расчетных и фактических значений вертикальных сдвижений земной поверхности. Сравнение горизонтальных смещений и деформаций, которые не менее важны при определении степени негативного влияния подработки, не выполняется вообще.
- **фактор времени** (периода активизации) .
- **масштабный фактор** (несоответствие размеров объекта размерам математической модели).

Во второй главе на основе обработки многочисленных экспериментальных данных разработаны и теоретически обоснованы основные модели (схемы) формирования краевой части мульды сдвижения в условиях ее последовательной подработки. Установлена зависимость периода формирования краевой части над временной границей горных работ от горнотехнических условий и скорости оседаний со стороны первичной и последующей подработок. Выявлены новые зависимости изменения горизонтальных сдвижений и деформаций от оседаний земной поверхности для условий Верхнекамского месторождения калийных солей.

То или иное представление о поведении подработанного массива базируется на определенной модели сдвижения горных пород. Каждая из

моделей основана на многочисленных экспериментальных и аналитических исследованиях, адаптирована к конкретным районам ведения горных работ. Для всех моделей приняты общие исходные принципы: область влияния очистной выработки на массив горных пород делится на зоны разрыхления (обрушения), трещинообразования, разгрузки, сдвигов, прогибов, опорного давления, которые качественно отличаются своим напряженно-деформированным состоянием.

Особенностью деформирования горного массива в условиях его последовательной подработки является изменение направления или перераспределение напряжений в зонах опорного давления, обрушения, разгрузки, сформированных в период первоначальной отработки, что сопровождается переформированием мульды сдвижения и соответствующими изменениями деформаций земной поверхности. В этом случае способы расчета деформаций земной поверхности значительно усложняются. При последовательной подработке лав горизонтальное сжатие массива пород и земной поверхности над границей лав/панелей возникает именно там, где потребуются наименьшие затраты энергии, поэтому в месте возникновения максимальных деформаций растяжения и кривизны выпуклости, возникающих при отработке первой лавы/панели, при отработке второго участка произойдет концентрация деформаций сжатия и кривизны вогнутости. Если размер целиков незначителен, а срок отстаивания вторичной подработки превышает продолжительность процесса сдвижения, то кривая оседаний принимает форму «горба». В случае краткого срока отстаивания вторичной подработки и значительных размеров целиков над границей выработок происходит наложение растягивающих и сжимающих деформаций, следовательно, их компенсация.

На калийных месторождениях наибольшее распространение получила камерная система разработки, которая предполагает оставление междукамерных целиков (МКЦ) различной степени устойчивости, позволяющая обеспечить плавное опускание водозащитной толщи. Показателем степени устойчивости целиков является коэффициент степени нагружения целиков - C , выражающий отношение нагрузки, действующей на целик, к его несущей способности. Разная степень устойчивости целиков в свою очередь определяет разную длительность процесса сдвижения поддерживаемой ими толщи. В условиях Верхнекамского месторождения калийных солей длительность процесса сдвижения варьируется в пределах от 50 до 200-1000 лет.

Большое разнообразие геологических и горнотехнических условий выемки (параметры отработки, глубина, мощность, прочностные характеристики, сроки отработки и т.д.) реализуется в многообразии форм протекания процесса сдвижения земной поверхности.

На основании анализа натуральных наблюдений, выполненных за 1950-2010 годы на рудниках ОАО «Уралкалий» и «Сильвинит», определены ос-

новые схемы деформирования земной поверхности в зависимости от интенсивности проявления активизации и сроков между отработкой смежных панелей. Графически каждый тип представлен на рисунке 1.

Первый тип формируется в условиях, когда скорости оседаний земной поверхности на участке вторичной подработки меньше, чем на участке первичной подработки. Длительность процесса сдвижения значительно превышает срок между первичной и вторичной подработками.

Второй тип мульды формируется при условии равной степени нагружения и скорости оседаний на участке как первичной, так и вторичной подработки при степени нагружения $C \leq 0,4$; или при создании зоны смягчения с отношением $C_{II}/C_I = 0,6$ при подработке с оставлением податливых целиков $C \approx 0,7$.

Третий тип мульды формируется в случае, когда скорости оседаний и/или степень нагружения целиков на участке вторичной подработки выше, чем на участке первичной. В этом случае значение деформации кривизны изменяется с положительного на отрицательное.

Четвертый тип мульды формируется при подработке с применением податливых целиков на площади как первичной, так и вторичной подработки. Общим для всех зон является то, что положительные значения безразмерной функции распределения кривизны приурочены к середине краевой части мульды, а отрицательные – к краям, что диаметрально отличается от стандартного распределения. Максимальные значения деформаций наклона и кривизны достигаются за период активной стадии процесса сдвижения и далее остаются неизменными.

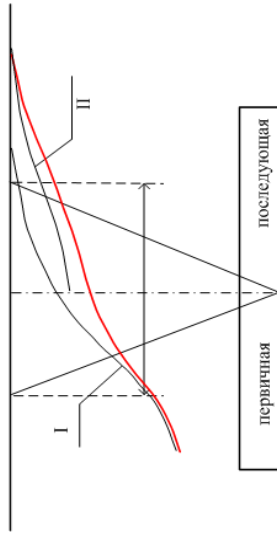
Условия формирования каждого типа границы в обобщенной форме представлены в таблице 1.

Таблица 1–Условия отработки для каждой из границ

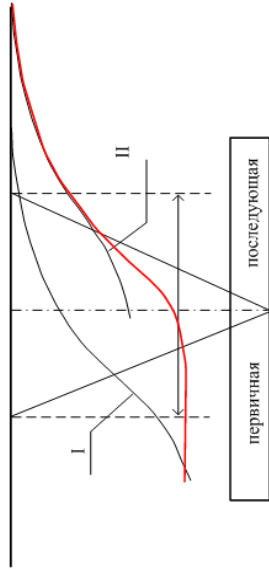
Группа	Степень нагружения		C_I/C_{II}	отношение η'_{I}/η'_{II}
	первичная C_I	последующая C_{II}		
Первая	0,4-0,5	0,25-0,3	1,5-1,6	$\eta'_{I} > \eta'_{II}$
Вторая	0,3-0,4	0,3-0,4	0,8-1	$\eta'_{I} \approx \eta'_{II}$
Третья	0,2-0,3	0,3-0,45	0,5-0,6	$\eta'_{I} < \eta'_{II}$
Четвертая	0,7	0,5-0,7	1-1,2	$\eta'_{I} \approx \eta'_{II}$

Одним из наиболее важных явлений при вторичной подработке земной поверхности является активизация процесса сдвижения. Вызванная повторными подработками земной поверхности, она выражается в увеличении вертикальных сдвижений и деформаций, размеров мульды сдвижения, возрастании скоростей деформирования массива горных пород.

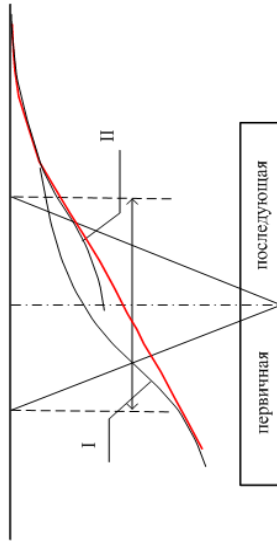
Тип 1 $C_I > C_{II}$



Тип 3 $C_I < C_{II}$



Тип 2 $C_I = C_{II}$



Тип 4 $C_I = C_{II} \geq 0.6$

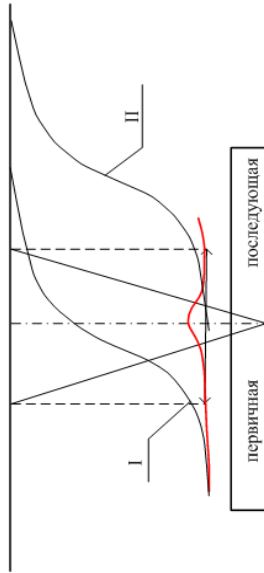


Рисунок 1 – Схема формирования четырех типов краевой части мутьды сдвижения

При последовательной подработке активизация в большей степени проявляется на участке, расположенном непосредственно над границей между первичной и последующей отработкой. Как уже отмечалось выше, в период активизации происходит изменение достигнутых деформаций земной поверхности - растяжение заменяется сжатием и наоборот.

В общем случае процесс формирования краевой части над границей первичной и последующей подработок необходимо разделить на три этапа, в каждый из которых применяются различные методические подходы для определения деформаций земной поверхности:

— I этап - первичная подработка (первой панели). Временной период T_I , равный разности отработки между двумя смежными панелями;

— II этап – активизация процесса после проведения последующей подработки. Временной период T_{II} между началом последующей подработки (второй панели) и завершением формирования границы;

— III этап - сформировавшаяся граница горных работ между двумя панелями продолжается до окончания процесса сдвижения или срока службы объекта (T_{III}).

Как показали исследования, переформирование мульды сдвижения над временной границей горных работ после ее вторичной подработки, т.е. собственно период активизации (II этап), ограничено во времени. Длительность второго этапа зависит от степени нагружения целиков и скорости оседания на первой и второй панелях.

На основании проведенных исследований доказано, что срок окончательного формирования мульды сдвижения над временной границей горных работ зависит от скорости оседаний с обеих сторон границы – чем выше скорости, тем быстрее граница приобретает окончательную конфигурацию.

В общем виде зависимость выражается формулами

$$\text{при } C_I \leq C_{II} \text{ и } \eta'_{I1} \leq \eta'_{II} \quad T_{II} = \frac{\eta'_{I1}}{\eta'_{II}} \cdot k, \text{ где } k = 6; \quad (3)$$

$$\text{при } C_I > C_{II} \text{ и } \eta'_{I1} \geq \eta'_{II} \quad T_{II} = 0. \quad (4)$$

Определение численных значений оседания, наклона, кривизны и деформаций растяжения - сжатия земной поверхности принято выполнять с использованием функций безразмерного распределения деформаций. Отличительной особенностью периода активизации является дискретное изменение установившихся закономерностей. Следовательно, в условиях образования временных границ горных работ необходимо применять иные подходы к определению горизонтальных деформаций земной поверхности. В качестве альтернативы предложено определение горизонтальных деформаций в зависимости от скорости вертикальных деформаций. Правомочность выдвинутой

гипотезы о пропорциональности скоростей горизонтальных деформаций и оседаний начальной и последующей подработок иллюстрирует рисунок 2.

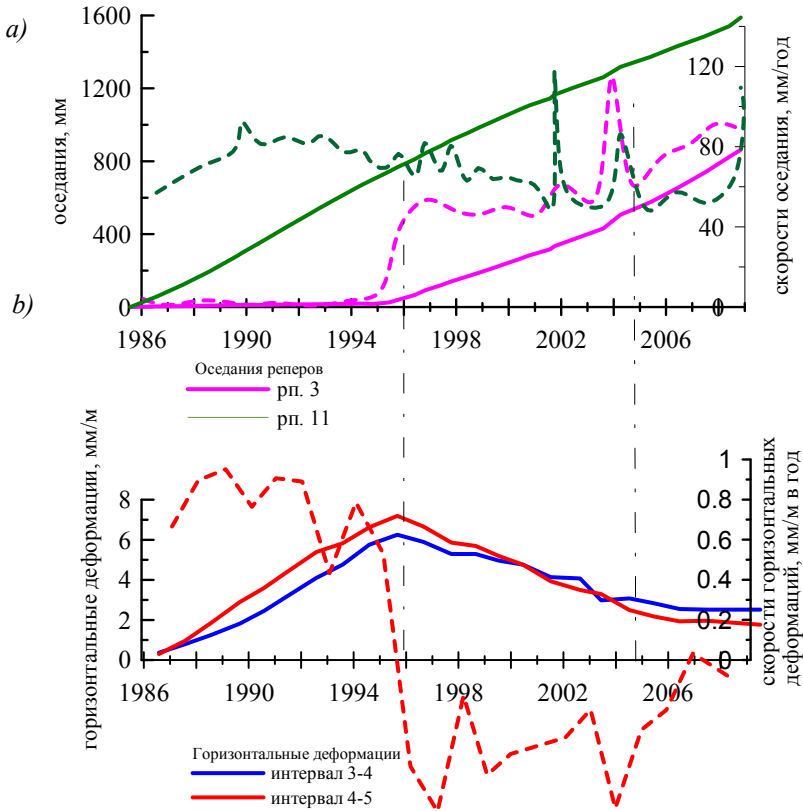


Рисунок 2— Графики нарастания оседаний и горизонтальных деформаций: а – нарастания оседаний и скоростей оседаний реперов, расположенных в плоском дне мульды сдвижения с каждой стороны временной границы; б – нарастания максимальных горизонтальных деформаций и скоростей горизонтальных деформаций во времени

В ходе численного анализа установлены следующие выражения, определяющие соотношения скоростей вертикальных и горизонтальных деформаций в разные периоды:

$$\frac{\varepsilon'_I}{\varepsilon'_{II}} = \frac{\eta'_I}{\eta'_{II}}, \quad (5)$$

где $\varepsilon'_I, \varepsilon'_{II}$ – максимальные скорости горизонтальных деформаций до и после отработки смежной панели;

η'_I, η'_{II} – максимальные скорости оседаний над серединами панелей до и после отработки смежной панели/

Из уравнения (8) следует, что скорость максимальных горизонтальных деформаций в течение второго периода формирования определяется из выражения:

$$\varepsilon'_{II} = \frac{\eta'_{II}}{\eta'_I} \varepsilon'_I \quad (6)$$

Длительность второй стадии определяется как

$$T_2 = \frac{\eta'_I}{\eta'_{II}} \cdot k, \text{ где } k = 6. \quad (7)$$

Средняя скорость горизонтальных деформаций в период формирования временной границы (с начала последующей подработки до установления нулевых скоростей)

$$\varepsilon'_{cp} = 0,5\varepsilon'_{II}. \quad (8)$$

Значения горизонтальных деформаций в период T_{II}

$$\varepsilon_{II} = \varepsilon_I + \varepsilon'_{cp} \cdot T_{II} \quad (9)$$

где $\varepsilon_I, \varepsilon_{II}$ – максимальные значения горизонтальных деформаций в краевой части мульды до и после отработки смежной панели.

Одним из наиболее важных параметров (граничных условий), необходимых для оценки степени деформированности покрывающих пород являются горизонтальные сдвиги (смещения) ξ . Общая зависимость горизонтальных смещений от вертикальных сдвижений выражаются как:

$$\xi(t) = a\eta_{\max}(t), \quad (10)$$

где $\xi(t)$ – максимальное горизонтальное смещение;

a – коэффициент зависимости горизонтальных от вертикальных деформаций.

На основании аналитической обработки результатов наблюдений за горизонтальными смещениями земной поверхности в условиях ВКМКС выявлена зависимость изменения коэффициента a , определяющего отношение горизонтальных и вертикальных сдвижений, от величины достигнутого оседания земной поверхности (рисунок 3).

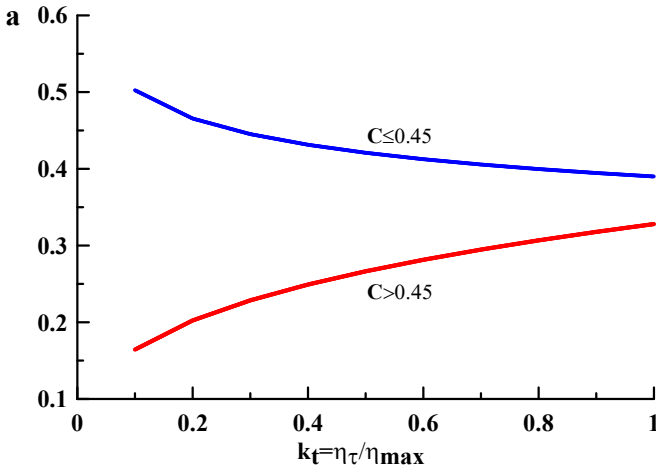


Рисунок 3 – График зависимости коэффициента $a = \xi/\eta$ от величины достигнутых оседаний земной поверхности, выраженного коэффициентом

$$k_t = \eta_t / \eta_{\max}$$

В эмпирическом виде изменение горизонтальных смещений от достигнутого оседания представляется как

$$\text{при } C \leq 0,45 \quad a = 0.39k_t^{-0.1}, \quad (11)$$

$$\text{при } C > 0,45 \quad a = 0.33k_t^{0.3}, \quad \text{где } k_t = \eta_t / \eta_{\max} \quad (12)$$

В третьей главе изложена методика расчета деформаций земной поверхности в условиях ее последовательной подработки. Исходными данными для выполнения расчетов являются:

- параметры системы отработки пластов: ширина камер, целиков и вынимаемая мощность, степень заполнения закладочным материалом;
- сроки ведения очистных и закладочных работ на площади первичной и последующей подработок;
- физико-механические свойства пород, слагающих обрабатываемые пласты, междупластовые потолочины, а также почву и кровлю пластов;
- глубина ведения горных работ, геологический разрез, стратиграфическая колонка в пределах рассматриваемого участка;
- размеры выработанного пространства с расположением всех границ горных работ, оказывающих влияние на объект.

Определяющее значение при формировании краевой части мульды сдвижения в условиях образования временных границ горных работ имеют горнотехнические условия отработки на площади первичной и последующей отработок. Параметром, характеризующим горнотехнические условия подработки, является степень нагружения междукамерных целиков. В зависимости от соотношения показателей степени нагружения целиков на площадях первичной и последующей подработок формируется один из четырех типов краевой части мульды сдвижения. Для каждого типа представлены значения функций безразмерного распределения оседаний, наклона, кривизны, горизонтальных сдвижений и деформаций.

Значения ожидаемых деформаций земной поверхности в точках главных сечений мульды сдвижения, образующейся над временными границами горных работ определяется в три этапа.

В четвертой главе в соответствии с разработанной методикой были выполнены расчеты деформаций земной поверхности на площади размещения трех объектов инфраструктуры, подвергающихся многократной подработке: жилого дама в г. Березники, водовода, снабжающего поселок Зырянка и газопровода высокого давления (г. Соликамск). Проверка предложенной методики выполнена путем сравнения фактических и расчетных горизонтальных деформаций и их скоростей по профильным линиям, расположенным в районе объектов. Отклонение расчетных скоростей горизонтальных деформаций от фактически измеренных не превышает 25%, средних скоростей за 1 и 2 периоды формирования краевой части мульды сдвижения – 9%, а непосредственно самих значений горизонтальных деформаций – 5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных автором исследований в рамках диссертационной работы решена актуальная научная задача, состоящая в разработке методики определения деформаций земной поверхности в условиях её последовательной подработки, учитывающая установленные взаимосвязи между скоростями вертикальных и горизонтальных деформаций. Основные выводы и практические результаты заключаются в следующем:

1 Установлено, что закономерность распределения деформаций в краевой части мульды сдвижения, образованной над временной границей горных работ после ее повторной подработки, зависит от горнотехнических условий на площади первичной и последующей подработок.

2 Выполнена классификация условий подработки и установлено четыре типа мульды сдвижения, образующихся при разных условиях подработки.

3 Выделены три временных периода, на каждом из которых, необходимо применять различные методические подходы к определению горизонтальных деформаций. Первый период – до ведения горных работ на смежной панели, второй период – с момента отработки смежной панели до окончательного формирования границы, третий период – установившаяся временная граница горных работ. Длительность второго периода определяется скоростями оседаний земной поверхности с каждой стороны границы.

4 На основе анализа и обобщения многолетних натуральных наблюдений за горизонтальными смещениями земной поверхности установлено, что зависимость между оседаниями земной поверхности и горизонтальными смещениями изменяется во времени. Выявлена численная зависимость ζ от η .

5 Установлено, что в соответствии с условиями формирования каждого типа мульды сдвижения после повторной подработки изменяются максимальные горизонтальные деформации земной поверхности и их скорости. Определена численная связь между скоростями оседаний и скоростью горизонтальных деформаций с момента отработки смежной панели.

6 Для каждого из типов краевой части мульды сдвижения определены значения функций безразмерного распределения вертикальных и горизонтальных деформаций $S(z)$, $S'(z)$, $S''(z)$, $F(z)$ и $F'(z)$ в первый и третий периоды формирования краевой части мульды сдвижения в условиях последовательной подработки.

На основании проведенных исследований решена задача выявления закономерностей развития процесса сдвижения на внутренних границах горных работ. Результатом исследований является разработка методики расчета деформаций в условиях образования временных границ при последовательной подработке. Применение указанной методики при определении деформаций позволяет решить актуальную задачу – повышение эффективности мер охраны подрабатываемых объектов на участках, расположенных над временными границами горных работ, в условиях последовательной отработки шахтного поля.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендуемых ВАК России

1. Прогноз развития оседаний и деформаций земной поверхности на площадях, подработанных пластом В карналлитового состава /Л.Т. Золотова, В.Е. Марakov, Л.О.Тенисон//Маркшейдерский вестн.-2007.-№4.-С.34-37.
2. Оценка возможных последствий затопления рудника БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» для жилой застройки г. Березники /Б.А.Борзаковский,

В.Е.Мараков, Л.О. Тенисон //Маркшейдерский вестн.-2007.-№3.- С.16-20.

3. Прогноз ожидаемых деформаций земной поверхности, зданий и сооружений, расположенных на промплощадке БКПРУ-1, железнодорожной станции Березники, промплощадке БШСУ, с учетом всей горнотехнической ситуации /В.Е. Мараков, Л.О. Тенисон//ГИАБ/МГГУ.-М.,2009.-№1.-С.97-112.
4. Прогноз негативного влияния затопления рудника БКПРУ-1 ОАО «Уралкалий» на городскую и промышленную застройку г. Березники /Б.А. Борзаковский, В.Е. Мараков, Л.О. Тенисон//ГИАБ/МГГУ.-М., 2009.-№7.-С.381-396.
5. К методике оценки деформированного состояния пород, слагающих водозащитную толщу в краевой части мульды сдвижения/ Л.О. Тенисон// ГИАБ.-2011.-№3.-С.317-328.

В научных сборниках и материалах конференций

6. Мараков В.Е., Тенисон Л.О. Методика расчета деформаций земной поверхности в условиях применения зон смягчения при отработке калийных пластов на Верхнекамском месторождении калийных солей.//Материалы XIII Международного конгресса ИСМ. Будапешт, Венгрия – 24-28.09.07 г., - 022,- стр.1-6.
7. Модель нарастания оседаний земной поверхности /И.А. Майер, Л.О. Тенисон//Молодежная наука Верхнекамья: материалы VI регион. конф., 22 апр. 2009г/ПГТУ, БФ.-Березники, 2009.-С.89-92.