

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ,  
МОЛОДЕЖИ И СПОРТА УКРАИНЫ  
Государственное высшее учебное заведение  
"НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"

В.А. Назаренко  
Н.В. Йощенко

**Закономерности развития  
максимальных оседаний и наклонов  
поверхности в мульде сдвижения**

Монография

Днепропетровск  
ГВУЗ "НГУ"  
2011

УДК 622.1 (75)  
ББК 33.12 Я75  
Б19

*Рекомендовано до друку вченою радою Державного ВНЗ "Національний гірничий університет (протокол № від 2011 р.)*

Рецензенти:

Ю.М. Гавриленко – доктор технічних наук, професор кафедри геоінформатики та геодезії Донецького національного технічного університету.

М.С. Четверик – доктор технічних наук, професор, завідуючий відділом геомеханічних основ технологій відкритої розробки родовищ (Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України).

**Закономерности развития максимальных оседаний и наклонов  
Б19 поверхности в мульде сдвижения:** Монографія // Назаренко В.О.,  
Йощенко Н.В. – Д.: Національний гірничий університет, 2011. – 91 с.

**ISBN**

В монографії узагальнені результати досліджень зрушення земної поверхні на вугільному родовищі Західного Донбасу. Наведені закономірності формування максимальних осідань і уклонів земної поверхні над очисною виробкою пологого вугільного пласта. Викладені основи методики прогнозування максимальних осідань і уклонів, а також часових параметрів зрушення поверхні.

Для науковців, викладачів, аспірантів і студентів гірничих ВНЗ, спеціалістів гірничодобувної промисловості.

В монографии обобщены результаты исследований сдвижения земной поверхности на угольном месторождении Западного Донбасса. Приведены закономерности формирования максимальных оседаний и наклонов земной поверхности над очистной выработкой пологого угольного пласта. Изложены основы методики прогнозирования максимальных оседаний и наклонов, а также временных параметров сдвижения поверхности.

**ISBN**

© В.О. Назаренко, Н.В. Йощенко, 2011  
© Державний ВНЗ "НГУ", 2011

## ВВЕДЕНИЕ

Каменный уголь является основным энергетическим сырьем в Украине. По оценкам специалистов его общие запасы составляют 117 млрд. тонн, из них разведанных – 45,8 млрд. тонн. Эти запасы залегают под обширными территориями, и значительная их часть находится под населенными пунктами и промышленными сооружениями. В частности, в Западном Донбассе из разведанных 2,5 млрд. тонн угля 412 млн. тонн находится под различными гражданскими и промышленными объектами. Извлечение этих запасов неизбежно повлечет сдвигание горных пород и деформирование земной поверхности, что может отрицательно сказаться на состоянии поверхностных объектов в зоне влияния горных разработок. Обеспечение безопасной подработки зданий, сооружений и природных объектов – одна из приоритетных задач маркшейдерии.

На современном этапе развития науки о сдвигании земной поверхности внимание ученых и практиков сосредоточено на вопросах развития процесса сдвигания во времени, т.к. всякий объект, любая точка земной поверхности, попадая в зону влияния очистных работ, подвергается, прежде всего, воздействию изменяющихся сдвижений и деформаций, которые вызваны прохождением очистного забоя. Но методология исследований остается прежней – изучаются параметры процесса сдвигания земной поверхности в области мульды, где земная поверхность сдвигается синхронно с перемещением очистного забоя, а профиль мульды остается неизменным во времени.

За пределами этой области динамическая мульда остается неизученной и, как следствие, отсутствует методика прогнозирования ее параметров и научно обоснованные меры охраны подрабатываемых объектов на значительных участках подрабатываемых территорий.

Кафедра маркшейдерии Национального горного университета изучает влияние горных разработок на земную поверхность в Западном Донбассе с 1960 года. За это время установлены основные закономерности сдвигания земной поверхности, разработаны и утверждены отраслевые нормативные документы, регламентирующие ведение горных работ под зданиями, сооружениями и природными объектами.

Настоящая книга является обобщением результатов коллективной работы сотрудников кафедры маркшейдерии НГУ, выполнявшейся многие годы под общим руководством профессора Лисицы И.Г. В то же время, авторы сочли целесообразным изложить результаты своих исследований, не вошедшие в ранее опубликованные книги.

Авторы выражают глубокую признательность преподавателям и сотрудникам кафедры маркшейдерии, а также студентам, принимавшим участие в проведении натурных наблюдений за сдвижением земной поверхности на шахтах и обработке их результатов: Авдесев А.П., Анисимов Р.Л., Архипов В.В., Беляцкий А.И., Бреднев С.А., Василенко Г.В., Вовченко В.О., Воронкин А.И., Голубояров А.Д., Гондра Н.А., Гоноров, Грязнов, Гуртовой, Демченко В.В., Ларченко В.Г., Меньшов Н.П., Онищенко А.В., Пашков Н.С., Петров Е.Л., Петрук Е.Г., Погорелов А.И., Пономарев В.В., Тягун С.И., Фазулин К.П., Федоровский И.В., Фесик С.Л., Чумаков Н.И., Чуприна Ю.В. и др.

Надеемся, что подготовленная нами книга будет интересна не только специалистам в области сдвижения горных пород и земной поверхности на подрабатываемых территориях, но и широкому кругу читателей, чья профессиональная деятельность связана с горным делом, а также студентам, изучающим маркшейдерское дело.

С искренним уважением к читателю, авторы

**Назаренко  
Валентин  
Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерии НГУ

**Йощенко  
Надежда  
Владимировна** – инженер горного отдела ОАО "Днепрогипрошахт", соискатель кафедры маркшейдерии НГУ

Авторы будут признательны за любые отзывы и замечания, которые просим присылать электронной почтой по адресу: [nazar54@yandex.ru](mailto:nazar54@yandex.ru).

# 1. ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ГОРНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ ОТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

Общие сведения о сдвигении земной поверхности и горных пород, накопленные в Украине и за рубежом, основаны на инструментальных наблюдениях и лабораторных исследованиях на моделях. Анализ и обобщение этих материалов, позволили решить многие вопросы, связанные с обеспечением безопасной подработки зданий, сооружений и природных объектов на угольных месторождениях. Но из-за сложности и разнообразия форм процесса сдвигения эти решения в большинстве случаев применимы для условий конкретных месторождений и даже для небольших их районов, отдельных зон в рамках определенных изменений горно-геологических параметров или физико-механических свойств массива.

Все это явилось причиной возникновения целого ряда способов прогноза сдвижений и деформаций массива и земной поверхности, основанным на положениях механики сплошной или дискретной среды; физических аналогиях; аналитико-эмпирических с использованием различных теорий и функций, эмпирических и др [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13]. Как правило, эти способы используют в качестве исходных параметры, установленные экспериментально в конкретных горно-геологических условиях, что значительно ограничивает их применение на других месторождениях. Другой особенностью большинства известных закономерностей сдвигения горных пород и земной поверхности является то, что они справедливы для условий закончившегося процесса сдвигения и не учитывают фактора времени.

Изучать динамику процесса сдвигения пород, а не фиксировать лишь конечные проявления этого процесса предложил С.Г. Авершин [14]. Он же разработал методику таких исследований [15]. Систематические наблюдения за сдвигением земной поверхности во времени были поставлены в Донбассе [17] работниками ЦНИМБ (О.Л. Кульбах, М.В. Коротков).

Для изучения процесса сдвигения земной поверхности во времени на наблюдательных станциях выполняются кратковременные (частотные) инструментальные измерения [15] по

специальной методике: пространственное положение реперов профильной линии определяется многократно через некоторые промежутки времени, при этом фиксируется положение очистного забоя подрабатывающей очистной выработки. Сравнение результатов измерений позволяет оценить сдвиги реперов во времени [16] в зависимости от положения очистного забоя (рис. 1.1).

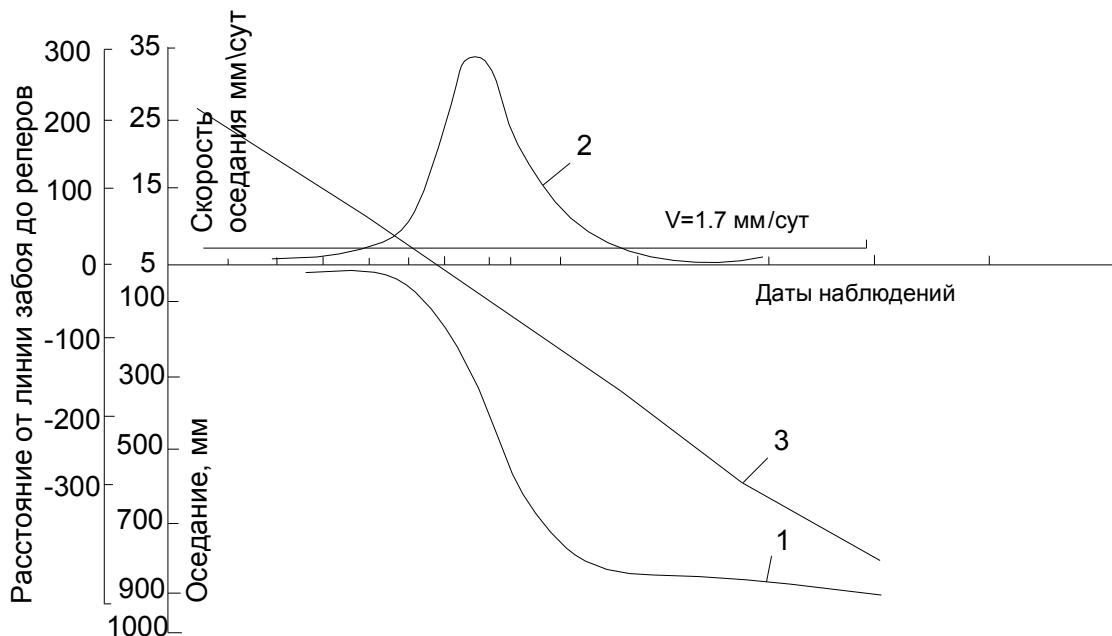


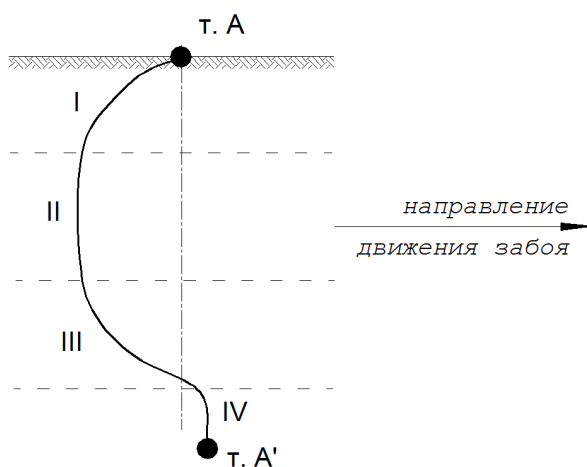
Рис. 1.1. Характер изменения величин и скоростей изменения вертикальных сдвигов точки земной поверхности во времени:

- 1 – кривая оседаний;
- 2 – кривая скоростей оседаний;
- 3 – положение забоя лавы.

С.Г. Авершин [15] в траектории, которую описывает точка земной поверхности в вертикальной плоскости, совпадающей с направлением подвигания забоя, выделяет четыре участка (рис. 1.2). Участок I образуется при приближении очистного забоя к точке; участок II – в результате прохождения забоя под точкой; III – в результате удаления забоя от точки; IV – в результате оседания точки после прекращения влияния удалившегося очистного забоя (в результате уплотнения сдвинувшихся пород).

Если точка не подвергалась такой полной подработке, то движение ее опишет какую-то часть траектории. Точки, которые расположены у начала выработки и от которых забой удалялся,

опишут *III* и *IV* части полной траектории, а точки, к которым забой приближался, но не прошел под ними, опишут *I* и *II* части траектории.



*Рис. 1.2. Траектория движения точки земной поверхности при подработке*

В условиях слабых песчано-глинистых пород часть *II* может отсутствовать и часть *I* будет переходить в *III*. При этом *I* часть продолжается некоторое время и после того, как забой пройдет под точкой и начнет удаляться от него. Поворот траектории в сторону удаляющегося забоя происходит с запаздыванием. Это запаздывание меньше в условиях Подмосковского бассейна и больше в условиях Донецкого бассейна.

Исследования оседаний поверхности над горными выработками, движущимися с различной скоростью показали [18], что форма динамической мульды оседания зависит от скорости ведения очистных работ. Из рис. 1.3 видно, что профили мульды получается тем более пологим, чем быстрее ведутся горные работы. Как объясняет автор, это происходит потому, что в зависимости от скорости подвигания забоя данное положение профиля мульды достигается раньше или, наоборот, позднее, так что при большой скорости подвигания проявление влияния очистных работ будет менее длительным, прогиб породных слоев небольшим и уплотнение обрушенных пород также незначительным. Т. е. происходит выполаживание следующего за забоем склона мульды при увеличении скорости очистных работ и, как следствие – малые величины наклонов и кривизны земной поверхности.

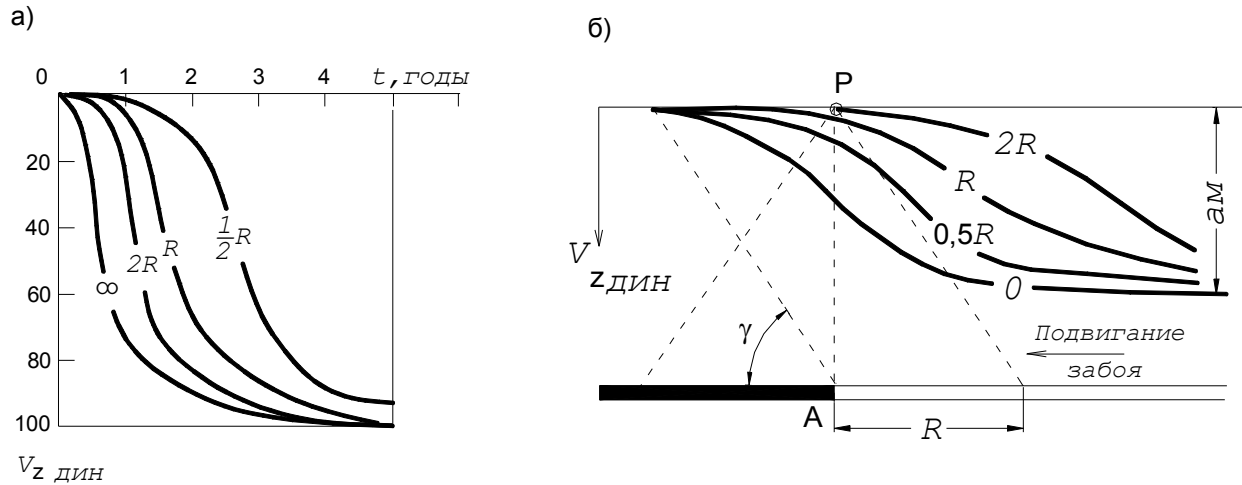


Рис. 1.3. Развитие во времени оседания точки земной поверхности (а) и типовые кривые оседания (б) при различной скорости подвигания очистных работ

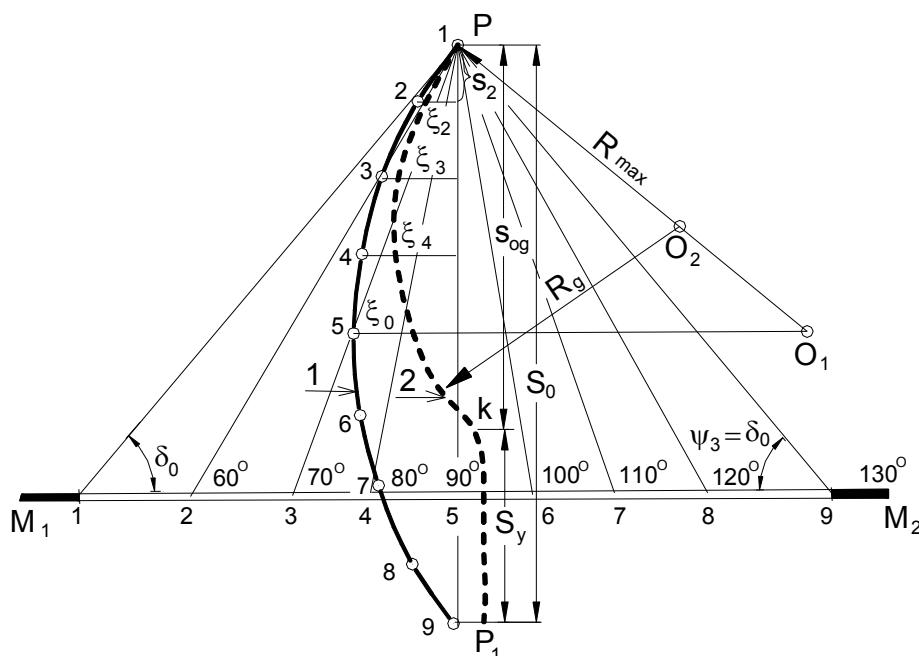
Как указывает С.А. Батугин [19], изучение влияния скорости подвигания очистного фронта на сдвигения и деформации земной поверхности в главном сечении мульды сдвигения по простиранию можно свести к вопросу о влиянии скорости подвигания забоя лавы на траекторию движения точки  $P$  (рис. 1.4) в этом сечении. На основании аналитических исследований он показал, что для каждого конкретных горно-геологических условий должна существовать такая скорость подвигания очистного забоя  $a_{min}$ , при которой сдвигения и деформации динамической мульды сдвигения становятся равными сдвигениям и деформациям окончательно сформировавшейся мульды сдвигения.

Степень уменьшения сдвигений и деформаций динамической мульды сдвигения по отношению к сдвигениям и деформациям окончательно сформировавшейся мульды равна отношению  $\frac{a_{min}}{a}$ , где  $a$  – фактическая скорость подвигания очистного забоя ( $a \geq a_{min}$ ). Всякое увеличение скорости подвигания забоя, при котором  $a$  остается меньше  $a_{min}$ , не влияет на деформации земной поверхности, вызывает такое же увеличение средней скорости сдвигения горных пород.

Различия во мнениях разных исследователей о влиянии скорости подвигания очистного фронта на деформации земной



поверхности может быть объяснена тем, что наблюдения проводились при разных горно-геологических и горно-технических условиях.



*Рис. 1.4. К определению траектории движения точки земной поверхности над движущимся очистным забоем*

Натурные наблюдения за динамикой сдвижения земной поверхности [19, 20, 21, 22, 18, 23, 24, 25], выполнявшиеся на различных месторождениях выявили общие закономерности развития процесса сдвижения по отдельным профильным линиям, заложенным в главных сечениях мульды и позволили установить продолжительность процесса сдвижения и отдельных его стадий. Результатом явилось разделение общей продолжительности процесса сдвижения на три стадии: начальная, активного сдвижения и затухания. Причем разные исследователи предлагали различные критерии и способы разделения этих стадий [26]: по величинам скоростей оседаний (до 50 мм/мес. – начальная стадия, более 50 мм/мес. – активная стадия, стадия затухания – от 50 мм/мес. до 50 мм/год); по деформациям поверхности (период опасных деформаций – активная стадия, неопасных деформаций – стадия затухания); в зависимости от относительных величин оседаний.

В работе [27] Д.А. Казаковский выполнил анализ критериев и способов выявления стадий развития процесса сдвижения и как наиболее оптимальный предложил вариант относительных величин оседаний, при котором активной считается стадия, пока оседания в динамической мульде сдвижения не достигнут 90% от максимального. В дополнение к изложенному А.Н. Медянецев [28] предложил деление процесса сдвижения на стадии через продолжительность самих стадий (рис. 1.5).

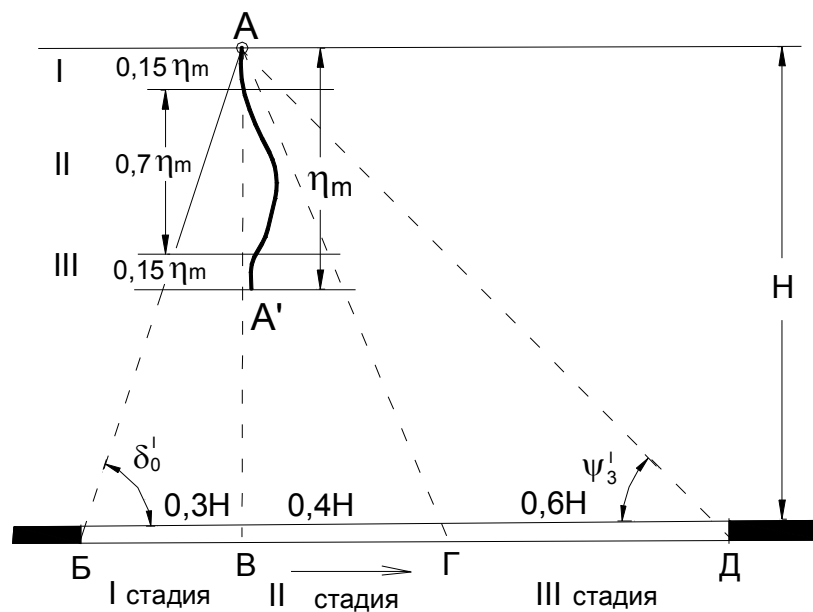


Рис. 1.5. Схема к определению стадий сдвижения точки поверхности

Общая продолжительность процесса сдвижения  $T$ , как правило [26], определяется исходя из утверждения, что она пропорциональна длине участка земной поверхности, затронутого сдвижением  $H(ctg \delta_0 + ctg \psi_3)$ , и обратно пропорциональна скорости подвигания забоя лавы  $c$  (м/месяц):

$$T = \frac{H(ctg \delta_0 + ctg \psi_3)}{c} = a \frac{H}{c},$$

где  $H$  – глубина разработки угольного пласта, м;  $\delta_0$  – граничный угол;  $\psi_3$  – угол полных сдвижений. Значения углов  $\delta_0$  и  $\psi_3$  принимаются для условий закончившегося процесса сдвижения.

Одним из главных направлений исследования процесса сдвижения во времени является изучение и установление

максимальных сдвижений и деформаций и скоростей их изменения. На всех месторождениях, где проводились такие исследования, определены значения этих параметров [29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 26, 18, 36, 37, 38]. Они отличаются друг от друга по величине, но, по мнению большинства исследователей, подчинены общей закономерности и зависят от  $H/m$ :

$$f'_{max} = A/K \leq Am/H,$$

где  $f'_{max}$  – максимальные деформации в общем виде;  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $K = H/m$  – кратность.

Определение коэффициента  $A$  для каждого вида деформаций производится следующим образом.

Из приведенной формулы имеем  $A = K f'_{max}$ . По этому выражению на каждой наблюдательной станции и по каждому виду деформаций определяются коэффициенты  $A$  и находятся их средние значения.

Максимальные значения динамических деформаций вычисляются без учета скорости подвигания очистного забоя. Такой подход к их определению объясняется выводами, сделанными при исследовании процесса сдвижения [26, 18], о том, что максимальные значения деформаций не зависят от скорости подвигания фронта очистных работ. Увеличение или уменьшение скорости забоя  $c$  влияет только на продолжительность и интенсивность (скорость) сдвижений и деформаций, например скорости оседания  $V_в$ .

$$V_в = A \frac{mc}{H}.$$

В работе [39] скорость сдвижения поверхности разделяется в зависимости от стадии развития процесса сдвижения. В начальной стадии скорость оседания  $V_н = 0,5c\eta_m/H$ ; в интенсивной –  $V_и = 1,8c\eta_m/H$ ; в стадии затухания –  $V_з = 0,25c\eta_m/H$ , где  $\eta_m$  – максимальное оседание земной поверхности, м.

Как отмечает Д.А. Казаковский [27], определение в динамической мульде скоростей изменения сдвижений и деформаций как функций от глубины разработки  $H$  или кратности  $K=H/m$  делает получаемые результаты неоднородными и трудно сравнимыми. Максимальные скорости изменения сдвижений и деформаций зависят от глубины разработки, мощности разрабатываемого пласта, угла его падения, характера пород, способа управления кровлей, скорости

подвигания забоя, площади выработанного пространства. полноты выемки угля, степени нарушенности пород. Такой же вывод на основании изучения результатов натуральных наблюдений за динамикой процесса сдвижения сделал Г.Н. Кузнецов [40].

Именно поэтому для исключения влияния некоторых из перечисленных факторов, исследователи определяют максимальные скорости изменения сдвижений и деформаций исключительно в главном сечении по простиранию пласта и в условиях полной подработки.

Другое направление изучения сдвижения земной поверхности над движущимся очистным забоем – определение положения характерных точек в динамической мульде. Этот вопрос исследован достаточно хорошо для различных условий подработки земной поверхности. Все исследователи отмечают общую закономерность – точка перегиба кривой оседания (она же – точка максимальных скоростей оседаний и максимальных наклонов) располагается в динамической мульде сдвижения позади проекции очистной выработки на земную поверхность. Это расстояние для условий описанных наблюдений [41, 42, 7, 43, 44, 45, 46], находится в пределах от 10 до 35 метров и является весьма устойчивым показателем для каждого конкретных условий подработки земной поверхности.

Детальные исследования положения характерных точек в главном сечении динамической мульды, совпадающем с направлением движения очистного забоя, проведены в Львовско-Волынском бассейне М.А. Иофисом [47] и в Западном Донбассе – Е.Г. Петруком [48] (рис. 1.6).

На основании анализа и обобщения результатов частотных наблюдений М.А. Иофис [16] выявил общие закономерности изменения величин оседаний земной поверхности над движущимся очистным забоем и путем осреднения определил коэффициенты типовой кривой динамических оседаний и их скоростей для условий Львовско-Волынского бассейна. Положение динамической мульды на поверхности относительно забоя предлагается определять по граничному углу  $\delta_0$  и углу полных  $\psi$  оседаний для условий закончившегося процесса сдвижения. Однако, как показали исследования [49, 26, 18, 50] (в том числе и М.А. Иофиса [51]), угловые параметры, определяющие границу динамической мульды

сдвигения со стороны массива в главном сечении, совпадающем с направлением подвигания забоя, однозначно указывают, что граничные углы динамической мульды круче, чем у статической на  $5\div 15^\circ$ .

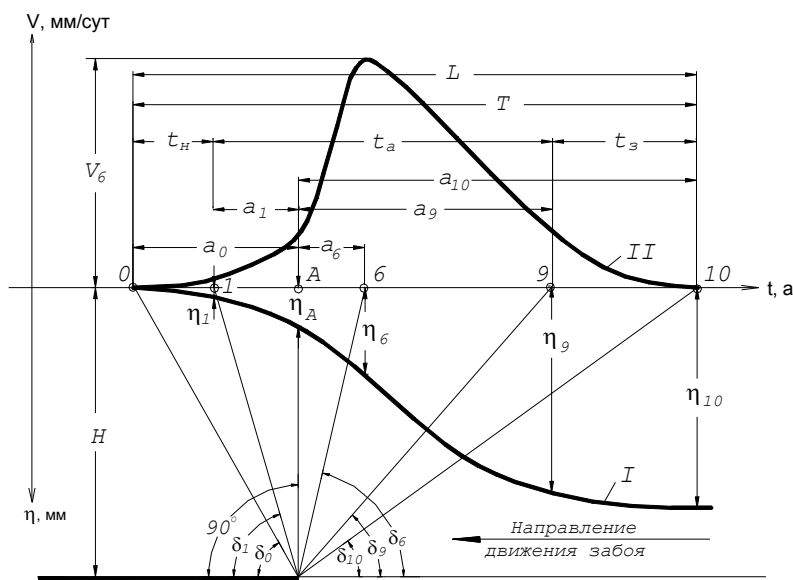


Рис. 1.6. Схема распределения оседаний и их скоростей в полумульде во времени над движущимся забоем:  
 I – кривая оседаний; II – кривая скоростей оседаний

На основании анализа результатов моделирования и натуральных наблюдений за сдвижением подработанных горных пород и земной поверхности над движущимся очистным забоем на различных угольных и сланцевых месторождениях (Ленинградское месторождение горючих сланцев, Кизеловский, Донецкий, Рейнско-Вестфальский угольные бассейны) Шклярский М.Ф. [52] и Муллер Р.А. [3] сделали обобщающие выводы о том, что сдвигения и деформации земной поверхности в динамической мульде зависят от многих факторов, но общий закон сдвигения точек поверхности не зависит от горно-геологических условий и свойств горных пород.

В результате общего анализ сведений о формировании и развитии мульды сдвигения над действующими очистными выработками угольных шахт позволил В. А Назаренко разработана схема сдвигения земной поверхности в процессе отработки лавы [53] от начала оседания земной поверхности до его окончания при пологом залегании разрабатываемого пласта (рис. 1.7).

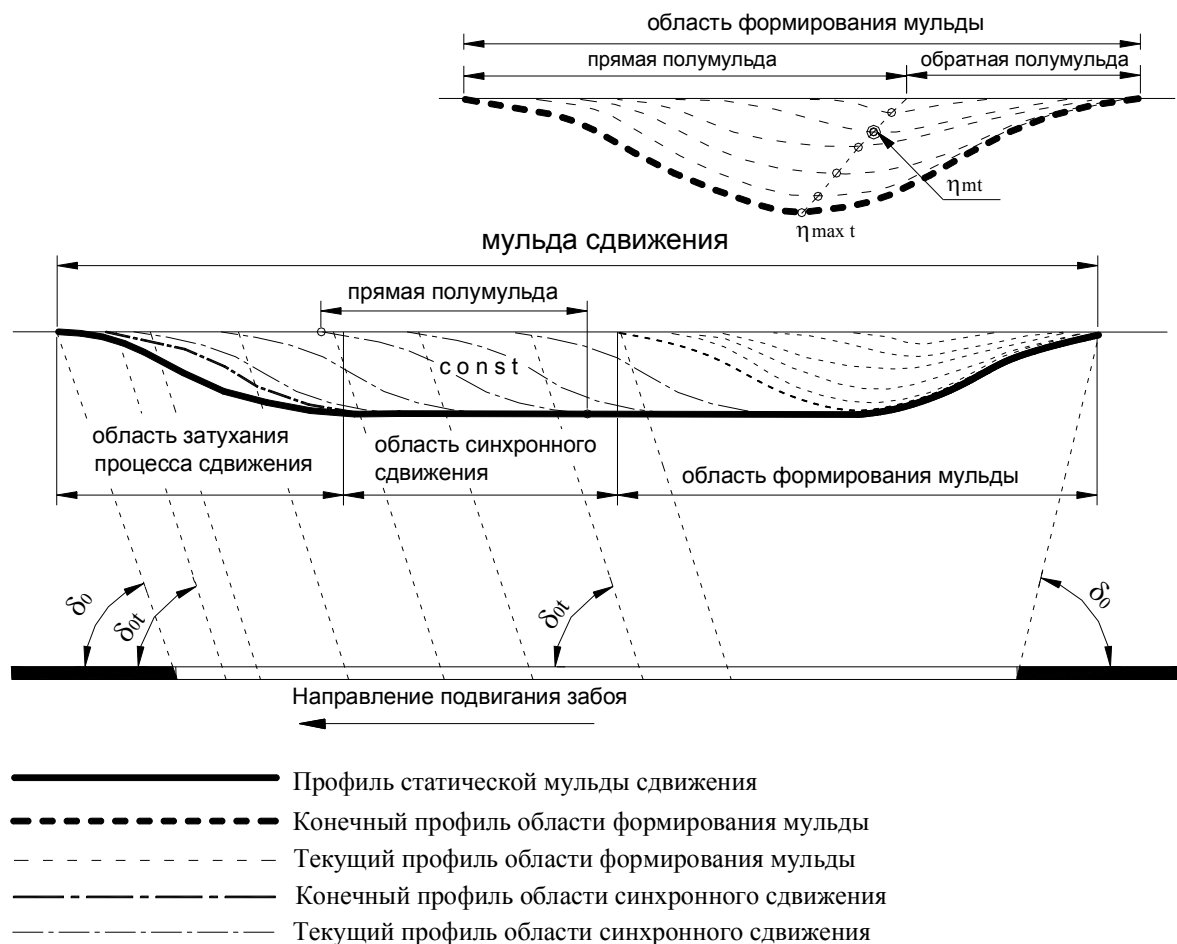


Рис. 1.7. Схема сдвижения земной поверхности в процессе отработки лавы

Согласно этой схеме сдвижения земной поверхности проявляются не сразу после начала отработки лавы, а по достижении ею определенных размеров. С появлением первых признаков сдвижения на земной поверхности формируются две полумульды – "прямая", передвигающаяся в направлении очистных работ, и "обратная", которая распространяется в сторону массива от разрезной печи. По мере развития горных работ размеры и площадь мульды, и, соответственно, обеих полумульд увеличиваются. Величины оседаний в мульде постоянно возрастают, а точка с максимальным значением оседания  $\eta_{mt}$  перемещается по наклонной траектории в сторону перемещения очистного забоя.

Перемещение обратной полумульды ограничено – ее поверхность постепенно приближается к определенному конечному положению. Прямая полумульда изменяет свою форму и

перемещается в пространстве значительно интенсивнее обратной. Этот процесс длится до достижения оседанием некоторой величины  $\eta_{max t}$ . С этого момента изменение формы поверхности прямой полумульды и рост сдвижений и деформаций в ней практически прекращаются. Обратная полумульда переходит в стадию затухания и последующего прекращения сдвижения поверхности. Описанный этап развития мульды сдвижения можно обозначить как период ее формирования.

Следующий период развития мульды сдвижения характеризуется почти горизонтальной траекторией перемещения точки с максимальным оседанием, "отрывом" прямой полумульды от обратной и ее плоскопараллельным перемещением в направлении подвигания очистного забоя.

Профиль прямой полумульды на этом этапе остается неизменным и характеризуется постоянством величин максимального оседания  $\eta_{max t}$  и стабильным положением точек с максимальными значениями деформаций земной поверхности относительно очистного забоя в любой момент времени. Такое стабильное во времени и пространстве течение процесса сдвижения земной поверхности длится еще некоторое время после остановки очистного забоя.

По окончании периода стабильного сдвижения наступает стадия затухания процесса сдвижения в прямой полумульде, характеризующаяся ее незначительным удлинением и выполаживанием.

О том, что область формирования мульды (рис. 1.8) отличается от остальных участков зоны влияния очистной выработки свидетельствуют исследования [35, 48, 54], выполненные проф. Петруком Е.Г. на шахтах Западного Донбасса.

В своих изысканиях Е.Г. Петрук рассматривает не только сдвижение отдельных точек динамической мульды, но и анализирует весь процесс сдвижения земной поверхности над движущимся очистным забоем с начала отработки лавы до ее окончания. При этом выделяется три этапа развития "параметров деформационных процессов: начальный, промежуточный и конечный. Первый этап характеризуется нарастанием деформаций от нуля до максимума ( $\epsilon_{сж}$ ), на втором этапе происходит уменьшение деформаций до

определенной постоянной величины ( $\epsilon_{ст}$ ). На третьем этапе деформации равны нулю при закончившемся процессе сдвижения".

В 1-й зоне мульды сдвижения окончательные деформации земной поверхности в 1,5-2 раза выше, чем на других участках мульды.

Такой же вывод сделан в работах [55, 56], где показано, что относительные максимальные деформации поверхности в районе разрезной печи лавы составляют 0,56, а со стороны остановки очистных работ – 0,3.

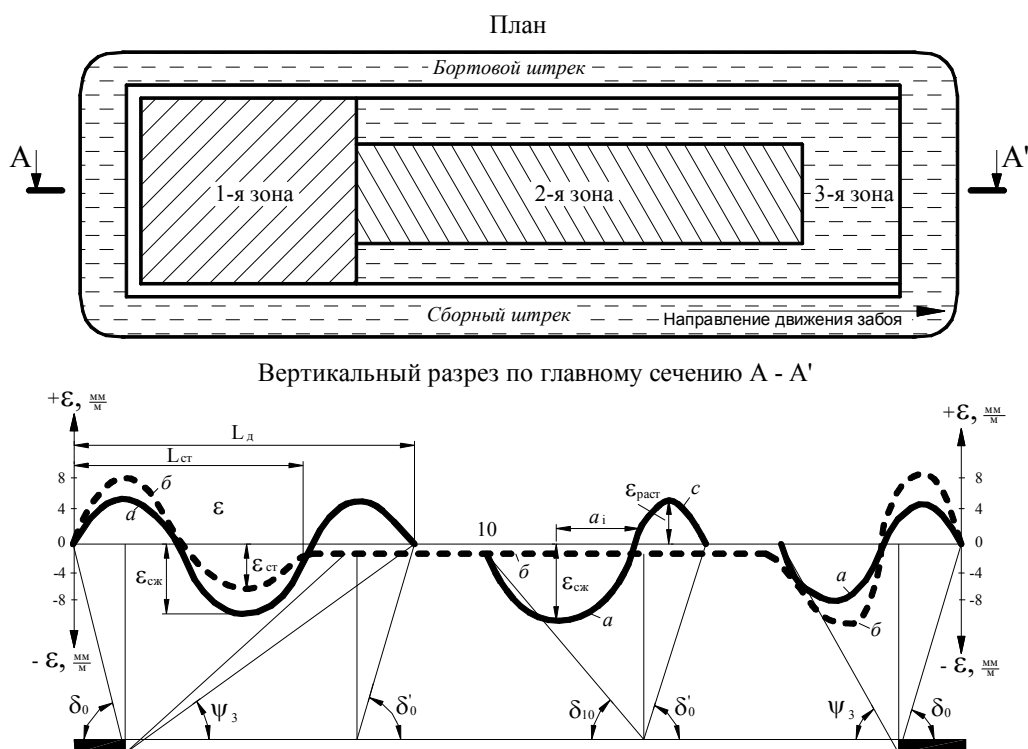


Рис. 1.8. Схема развития зон сдвижения над движущимся забоем

## ВЫВОДЫ

Общий анализ изученности процесса сдвижения на угольных месторождениях указывает, что при изучении влияния горных разработок на земную поверхность наибольшее распространение получил метод натуральных наблюдений по профильным линиям, заложенным в главных сечениях мульды сдвижения. На ряду с закончившимся сдвижением земной поверхности исследовались и параметры его развития во времени над движущимся очистным забоем. В результате получены сведения о перемещениях отдельных



подрабатываемых точек поверхности и общие характеристики развития процесса сдвижения в сечениях мульды по направлению движения забоя.

Эти знания легли в основу разработанных схем сдвижения горных пород и земной поверхности, а также многочисленных способов и методик прогнозирования влияния очистных работ на земную поверхность. Однако, известные схемы и методики расчета величин сдвижений и деформаций поверхности, как правило, применимы к условиям закончившегося процесса сдвижения. Динамические сдвижения и деформации по известным методикам могут быть рассчитаны только в той области мульды сдвижения, в которой процесс сдвижения является установившимся и стабильным. На значительной части мульды, находящейся в районе начала очистных работ, параметры процесса сдвижения и условия формирования мульды отличаются от остальной территории, подвергшейся сдвижению. Количественное описание этих параметров отсутствует. На этих участках мульды не могут быть обоснованно и рационально решены задачи, связанные с прогнозированием сдвижений и деформаций поверхности во времени и обеспечением безопасной подработки поверхностных объектов.

## 2. АДАПТАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДРАБОТКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

В методах расчета сдвижений земной поверхности, рассматривавшихся в предыдущем разделе, сдвигения определялись для конечной стадии процесса сдвижения земной поверхности над одиночной выработкой. Этот процесс в условиях разработки угольных месторождений может продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет.

Естественно, что при планировании горных работ и выборе мероприятий по защите подрабатываемых сооружений необходимо учитывать не только конечную, но и промежуточные стадии процесса сдвижения, вытекающие из постепенного увеличения площади очистной выработки и связанного с этим возрастающего воздействия ее на земную поверхность.

В процессе ведения горных работ значения параметров сдвижения – оседаний, наклонов, а также деформаций растяжения или сжатия непрерывно изменяются, причем здание или сооружение, в конечной стадии подработки испытывающее, например, деформацию, сжатия в промежуточной стадии процесса может подвергнуться растяжению.

Отсюда следует, что параметры развития процесса сдвижения во времени имеют большое практическое значение, если требуется получить ответы на следующие вопросы:

а) определить, когда можно ожидать первые опасные проявления подработки, чтобы иметь возможность заблаговременно провести мероприятия по борьбе с возможными осложнениями при ведении горных работ;

б) определить, когда можно ожидать полное затухание сдвижений земной поверхности, чтобы после этого можно было приступить к капитальному ремонту поврежденных сооружений;

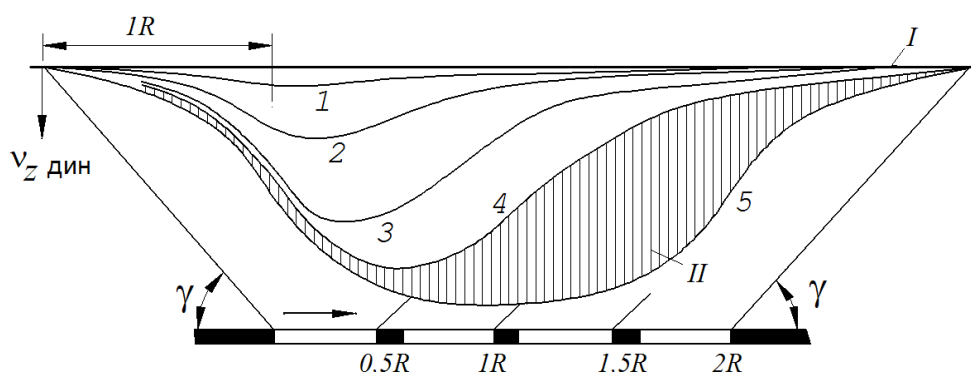
в) определить, когда подрабатываемое сооружение будет в наибольшей степени подвергаться воздействию горных работ, чтобы в этот момент можно было провести измерение вызванных подработкой деформаций этого сооружения;

г) определить ожидаемые оседания для промежуточных стадий процесса сдвижения, чтобы можно было составить календарный план

работ по ремонту рельсовых путей и других транспортных сооружений;

д) проанализировать характер смены деформаций на земной поверхности при одновременном ведении горных работ на нескольких выемочных участках и на различных горизонтах, чтобы иметь возможность вести горные работы с наименьшим возможным ущербом для подземных горных выработок и наземных сооружений.

Общее описание развития мульды сдвижения над непрерывно движущимся добычным забоем для нескольких различных положений забоя, от  $x = 0,5R$  до  $x = 2R$  приведено в работе [18]. Из рис. 2.1 можно видеть, что при неизменной скорости подвигания очистных работ точка с наибольшим оседанием во всех промежуточных стадиях развития мульды сдвижения смещена относительно середины мульды влево, т. е. к исходному забою.



*Рис. 2.1. Профили мульды сдвижения над очистной выработкой, непрерывно отрабатываемой до площади полной подработки:*

*I – земная поверхность;*

*II – вторичное оседание;*

*1, 2, 3, 4 – кривые для моментов времени, соответствующих подвиганию очистного забоя на расстояния  $0,5R$ ,  $1R$ ,  $1,5R$  и  $2R$ ;*

*5 – кривая для конечной стадии процесса сдвижения.*

При этом наклоны и кривизна ни в одной из промежуточных стадий не достигают таких величин, как в конечной стадии для соответствующего положения забоя, что весьма существенно для прогноза максимальных наклонов, кривизны и горизонтальных

деформаций. Кроме того, важно то обстоятельство, что правый (передний) склон мульды перемещается, подобно волне, следуя за движением очистного забоя, пока размер очистной выработки не достигнет такой величины, при которой в середине выемочного поля оседание примет наибольшее значение. В примере, показанном на рис. 2.1, это произойдет при длине выемочного поля, равной  $1,5R$ .

Анализ результатов маркшейдерских инструментальных наблюдений за земной поверхностью над очистными горными выработками шахт Западного Донбасса показывает, что развитие мульды сдвижения во времени, в общем, соответствует его описанию [18]. Это наглядно демонстрирует рис. 2.2, на котором показано развитие мульды над очистными работами 100-й и 102-й лав шахты "Юбилейная".

Несмотря на общее сходство развития процесса сдвижения земной поверхности над движущимся очистным забоем на стадии формирования мульды сдвижения установить закономерности процесса сдвижения не представляется возможным. Причина заключается в различии горно-геологических условий подработки земной поверхности и основных влияющих факторов.

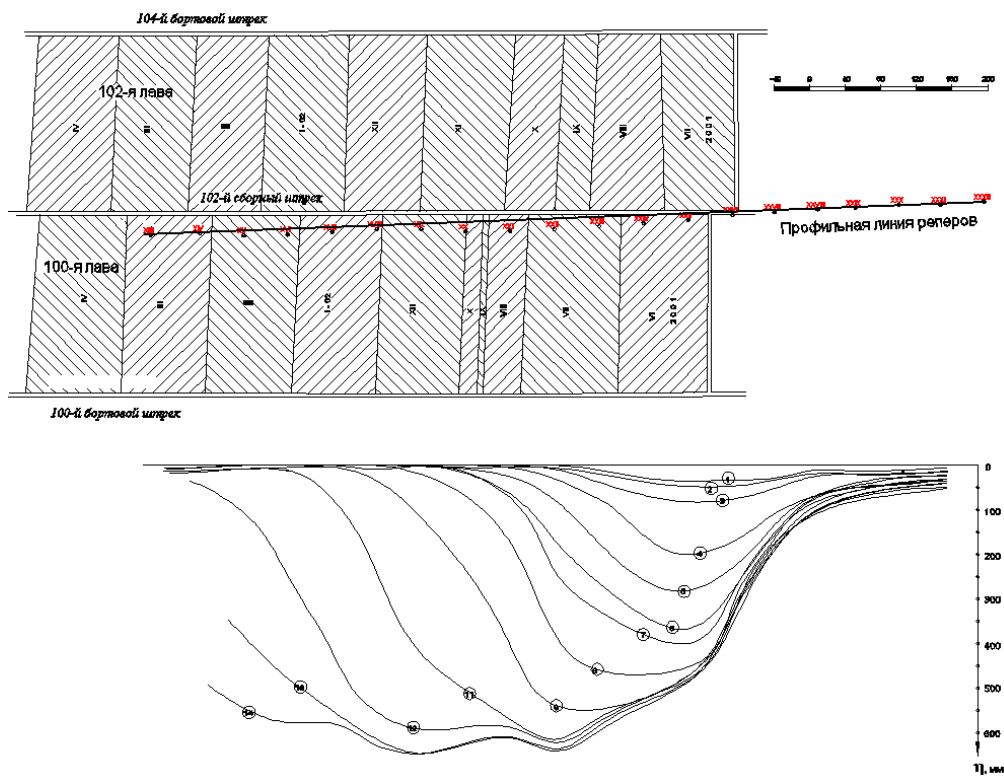


Рис. 2.2. Профили мульды сдвижения над очистными работами 100-й и 102-й лав шахты "Юбилейная"

## 2.1. Факторы, влияющие на процесс сдвижения земной поверхности

Существует множество факторов, оказывающих заметное влияние на характер процесса сдвижения горных пород и земной поверхности и величины сдвижений и деформаций в зоне влияния очистных работ. Основными из них являются следующие [29, 27, 26, 36].

*Вынимаемая мощность пласта* (залежи) и способ управления горным давлением относятся к числу основных факторов, определяющих высоту распространения зон сдвижения и деформации горных пород и земной поверхности, поскольку посредством этих факторов регулируют осадку кровли. Установлено, что максимальные значения оседаний, деформаций и скоростей сдвижения находятся в прямой пропорциональной зависимости от вынимаемой мощности пласта (залежи). Угловые параметры, за исключением углов сдвижения, от вынимаемой мощности практически не зависят. При увеличении выемочной мощности углы сдвижения несколько выполаскиваются.

*Размеры выработанного пространства* оказывают (до определенного предела) существенное влияние на оседания и абсолютные сдвижения и в меньшей степени – на относительные деформации. В условиях полной подработки изменение размеров выработанного пространства не оказывает влияния ни на значения сдвижений и деформаций, ни на характер процесса сдвижения. Существенного влияния размеров выработанного пространства на угловые параметры процесса сдвижения не замечено.

*Целики в выработанном пространстве* заметно влияют на распределение деформаций в мульде сдвижения. При удачном соотношении целиков и камер деформации горных пород могут не проявиться на земной поверхности, и наоборот, при неудачном соотношении над целиками происходит концентрация деформаций. В толще горных пород целики вызывают местные повышения напряжений.

*Скорость подвигания очистной выработки* в значительной мере определяет продолжительность и интенсивность процесса сдвижения. Изменяя скорость подвигания, можно регулировать сроки и продолжительность отдельных стадий процесса сдвижения, что

существенно при подработке объектов, в эксплуатации которых имеются перерывы.

*Порядок ведения горных работ и взаимное расположение выработок* существенно влияет на параметры и характер процесса сдвижения. Первая очистная выработка изменяет напряженное состояние толщи горных пород, вызывает образование в ней зон повышенного и пониженного давления, секущих трещин и полостей расслоения. В зависимости от того, в какие зоны попадают последующие очистные выработки, угловые параметры могут быть круче или положе, значения деформаций больше или меньше обычных и т. д. При расположении границ выработок в свите пластов примерно в одной вертикальной плоскости края мульды сдвижения получают наиболее крутыми с максимальным развитием деформаций. Чем больше смещены границы выработок, тем положе края мульды сдвижения и меньше деформации. При определенном взаимном расположении очистных выработок на отдельных участках может происходить компенсация растяжений, вызванных одной выработкой, сжатиями от другой, кривизны выпуклости – кривизной вогнутости, положительного наклона – отрицательным и т. д.

*Разрыв во времени между отработкой пластов* определяет интенсивность процесса сдвижения: чем меньше этот разрыв, тем более бурно протекает процесс.

*Угол падения пород* является одним из основных факторов, определяющих угловые параметры процесса сдвижения и распределения деформаций в мульде. Чем он больше, тем положе углы сдвижения и граничные углы. С увеличением угла падения пластов возрастает отношение горизонтальных: сдвижений к вертикальным. Так, если при пологом залегании пластов горизонтальная составляющая сдвижения обычно не превышает половины вертикальной, то при угле падения  $45^\circ$  они равны, а при падении под углом  $65^\circ$  горизонтальная составляющая почти в два раза больше вертикальной. При небольших углах падения пластов (до  $5^\circ$ ) мульда сдвижения симметрична относительно плоскости, проведенной через точку максимального оседания параллельно простиранию пластов.

*Глубина горных работ* оказывает существенное влияние на деформации земной поверхности, характер и степень проявления горного давления в толще. С увеличением глубины разработки все

виды деформаций земной поверхности уменьшаются. Особенно чувствительна к этому фактору кривизна сглаженной мульды сдвижения: она обратно пропорциональна квадрату глубины разработки. Горное давление, наоборот, с увеличением глубины разработки повышается, концентрация деформаций и напряжений на отдельных участках становится более опасной.

*Механические свойства и структурные особенности горных пород* оказывают влияние на все параметры и показатели процесса сдвижения. Наиболее тесная зависимость от этого фактора прослеживается в значениях углов сдвижения  $\delta$ , полученных при различных свойствах горных пород. На основании указанной зависимости проф. Д. А. Казаковский составил классификацию месторождений, используя прочностные свойства пород в качестве одного из определяющих признаков [27]. На этом же принципе построены Правила подработки [7].

Существенное влияние на характер деформаций земной поверхности оказывает *соотношение слабых и крепких пород толщи*, а так же ее *тектоническая нарушенность*.

## 2.2. Обоснование адаптации отличающихся параметров условий подработки земной поверхности очистными работами шахт Западного Донбасса

Рассмотрим перечисленные факторы, влияющие на процесс сдвижения, и обозначим возможные пути устранения этого влияния с целью обеспечения сопоставимости результатов натуральных маркшейдерских наблюдений за сдвижением земной поверхности.

2.2.1. Сразу следует отметить, что влияние разрыва во времени между отработкой пластов и целиков в выработанном пространстве может быть исключено, если задаться условиями первичной подработки земной поверхности одним пластом и рассматривать результаты наблюдений за сдвижением поверхности над выработками, которые обрабатывались без оставления целиков.

2.2.2. Нарушенное залегание подрабатываемых пород в значительной мере влияет на параметры сдвижения земной поверхности. Исследованиями установлено [57, 58], что величины сдвижений и деформаций поверхности, их распределение в мульде,

зависят от параметров разрывных и складчатых нарушений массива. Учесть эти зависимости весьма сложно и порой невозможно. В связи с этим из анализа следует исключить случаи подработки земной поверхности, когда в зону влияния очистной выработки попадает тектоническое нарушение.

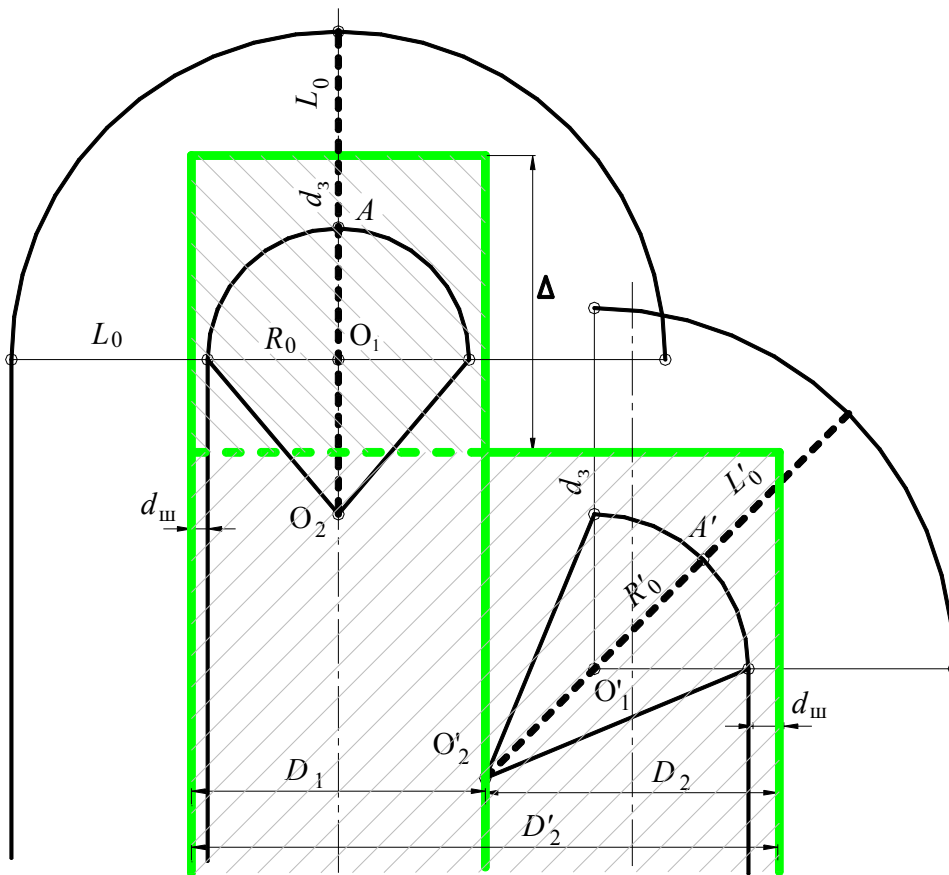
2.2.3. Согласно "Правилам подработки..." [7] порядок ведения горных работ и взаимное расположение выработок не оказывают влияния в случае отработки обособленных лав или смежных лав, отработка которых ведется с разрывом во времени, не превышающим период активной стадии процесса сдвижения, а размер целика между ними меньше 10% от глубины его залегания. Но это условие справедливо для закончившегося процесса сдвижения. Исследования, проведенные в Западном Донбассе [59], показали, что в случае отработки смежных лав при условии  $d_3 < \Delta < L_1 + d_3$  (рис. 2.3) вертикальные сдвигения и деформации от обеих лав не суммируются, а происходит плавный переход от изолиний поверхности мульды от одной лавы к соответствующим изолиниям поверхности мульды от другой лавы. В этом случае мульда сдвижения формируется как от одной очистной выработки, имеющей размер  $D'_2$ , равный суммарной длине обеих лав ( $D_1 + D_2$ ).

2.2.4. Механические свойства и структурные особенности горных пород оказывают влияние как на процессы, происходящие в подрабатываемом массиве, так и на земной поверхности. Этот факт особенно ярко проявляется при наличии в слабых породах крепких слоев – "пород мостов", которые влияют на перераспределение горного давления в массиве, изменяют значения угловых параметров мульды сдвижения.

Каменноугольное месторождение Западного Донбасса представлено нижним и средним карбоном. В нижнем карбоне разведано 15 промышленных угольных пластов, в среднем карбоне разведками выявлено до 20 рабочих пластов. Их мощность колеблется в пределах 0,6-1,8 м.

Каменноугольные отложения покрыты толщей мезозойских и кайнозойских пород и нигде не выходят на земную поверхность. Мощность покрывающих пород непостоянна и колеблется в значительных пределах – от 50 м до 250 м, увеличиваясь с юга на север.





*Рис. 2.3. Схема динамической мульды сдвижения при отработке спаренных лав при условии  $d_3 < \Delta < L_1 + d_3$*

Покровные отложения представлены глинами, суглинками и песками.

Глины представлены плотными разностями, характеризующимися красно-бурными тонами окраски, с известковыми включениями с промазками и зернами окиси марганца. Слой глины чаще всего залегает непосредственно за растительным слоем.

Суглинок коричневато-бурый или красноватый, плотный с известковистыми включениями.

Песок имеет зеленовато-серую или темно-зеленую окраску, тонкозернистый с желтоватыми включениями, глинистый, плотный, кварцевый. Песок, в основном, обводненный, обладает плавунными свойствами. В песках встречается обломочный материал, представляющий кремненый песчаник размером до 0,10 см.

Каменноугольные отложения представлены песчаниками,

алевролитами и аргиллитами. В кровле и почве пластов чаще всего залегают алевролитовые и аргиллитовые сланцы. Мощности пачек сланцев колеблются в пределах 10-30 м. Песчаники чаще всего залегают в толще карбона, но иногда приурочены к почве и кровле угольных пластов. Мощности пачек песчаника, залегающего в почве и кровле пласта, около 10 м. Мощность же пачек песчаника, залегающих в толще карбона, достигает 30 м.

Песчаники характеризуются слабоглинистым и глинисто-известковым цементом; повсеместно кварцевые, светло-серые, мелко- или среднезернистые.

Аргиллиты, в основном, слагают непосредственную кровлю и почву угольных пластов. Породы характеризуются тонкозернистой структурой, плотные с серыми тонами окраски. Повсеместно встречаются обуглившиеся растительные остатки. Обломочный материал, в основном, представлен обломками пирита, сидерита размером 2-3 см.

Алевролиты характеризуются мелкозернистой структурой. Повсеместно встречаются прослойки кварцевого песка и обуглившиеся растительные остатки.

Имеющиеся в покрывающей толще мезозойские и кайнозойские породы, представляющие наносы, обладают значительно меньшими прочностными характеристиками, имеют значительную мощность и, как установлено исследованиями [60, 61-63], влияют на угловые параметры сдвижения земной поверхности, а, следовательно, и на распределение сдвижений и деформаций в мульде. Учесть влияние наносов на процесс сдвижение земной поверхности можно после установления конкретных угловых или линейных параметров мульды сдвижения по методикам [61] или [63].

2.2.5. Угол падения пород для исследования процесса сдвижения земной поверхности в условиях Западного Донбасса не является актуальным. Это объясняется тем, что угольные пласты и вмещающие породы в пределах месторождения имеют пологое залегание. Углы падения изменяется незначительно и составляют 2-5°. Подтверждением факта отсутствия влияния или незначительного влияния углов падения пород на параметры сдвижения в Западном Донбассе являются "Правила..." [7], в которых граничные углы и углы сдвижения в коренных породах принимаются постоянными для всех направлений (по падению, по восстанию, по простиранию).

2.2.6. Влияние скорости подвигания очистной выработки на процесс сдвижения исследовалось многими учеными на разных месторождениях и оценивается неоднозначно. Большинство исследователей (В.Н. Земисев [32], М.А. Иофис [47], А.Н. Медянец [28], Р.А. Муллер [22], А. Ковальски [46], В.С. Костенич [64], Е.Г. Петрук [65], В.И. Мякенький [66] и др.) считают, что скорость подвигания очистного забоя не оказывает существенного влияния на величины деформаций земной поверхности, а увеличивает или уменьшает продолжительность и интенсивность процесса сдвижения.

Учитывая, что месячное подвигание очистных забоев лав, над которыми наблюдались сдвижения земной поверхности, не превышало 100 м, и в целом варьировало в незначительных пределах, можем допустить, что скорость движения очистной выработки не оказывает существенного влияния на процесс сдвижения земной поверхности.

2.2.7. Глубина ведения очистных горных работ является одним из наиболее влияющих факторов на процесс сдвижения земной поверхности. Она влияет на размеры мульды сдвижения, а так же на величины и распределение сдвижений и деформаций поверхности. Из рис. 2.4 видно, что при полной подработке земной поверхности длины полумульд зависят от углов  $\delta_0$  и  $\psi_3$

$$L_3 = H_1 (\operatorname{ctg} \delta_0 + \operatorname{ctg} \psi_3);$$

$$L'_3 = H_2 (\operatorname{ctg} \delta_0 + \operatorname{ctg} \psi_3).$$

Если принять величину  $(\operatorname{ctg} \delta_0 + \operatorname{ctg} \psi_3)$  постоянной, тогда очевидно, что длина полумульды  $L$  прямо пропорциональна глубине разработки  $H$ . В случае, показанном на рис. 2.4, для адаптации условий подработки по глубине достаточно пропорционально отмасштабировать обе схемы сдвижения путем введения масштабных коэффициентов  $1/H_1$  и  $1/H_2$ .

На рис. 2.5 а показана схема геометрических параметров динамической мульды в стадии синхронного развития процесса сдвижения, при которой общий размер очистной выработки по направлению движения забоя обеспечивает полную подработку земной поверхности и, соответственно, достижение ею максимальных оседаний в мульде.

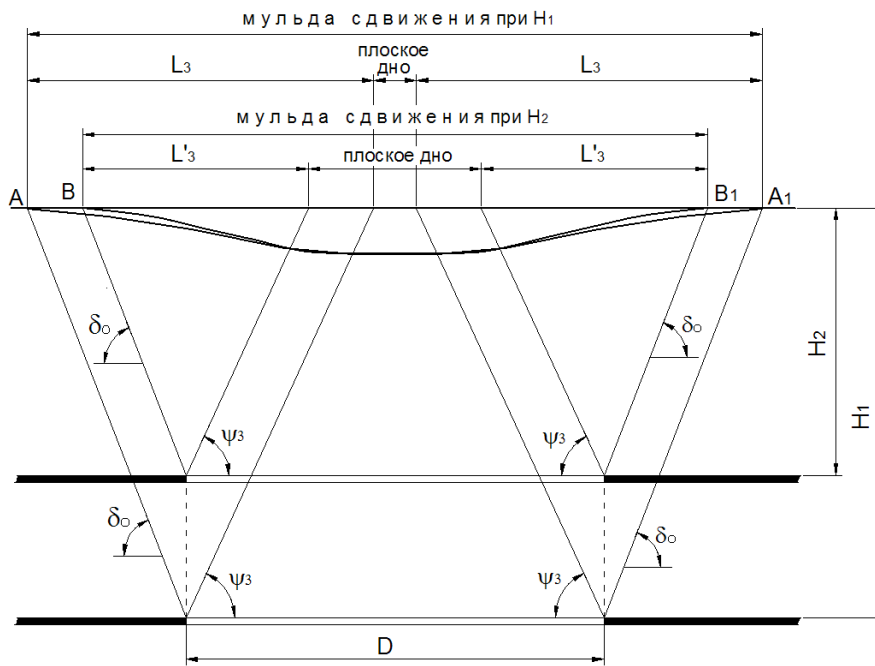


Рис. 2.4. Зависимость параметров мульды сдвижения от глубины при полной подработке земной поверхности

В стадии синхронного сдвижения соблюдается зависимость  $L$  от  $H$ , отмеченная выше, с той разницей, что длины полумульд определяют динамические угловые параметры  $\delta'_0$  и  $\psi'_3$ . Таким образом, приведение условий подработки "к общему знаменателю" по глубине достигается введением масштабных коэффициентов  $1/H_1$  и  $1/H_2$ .

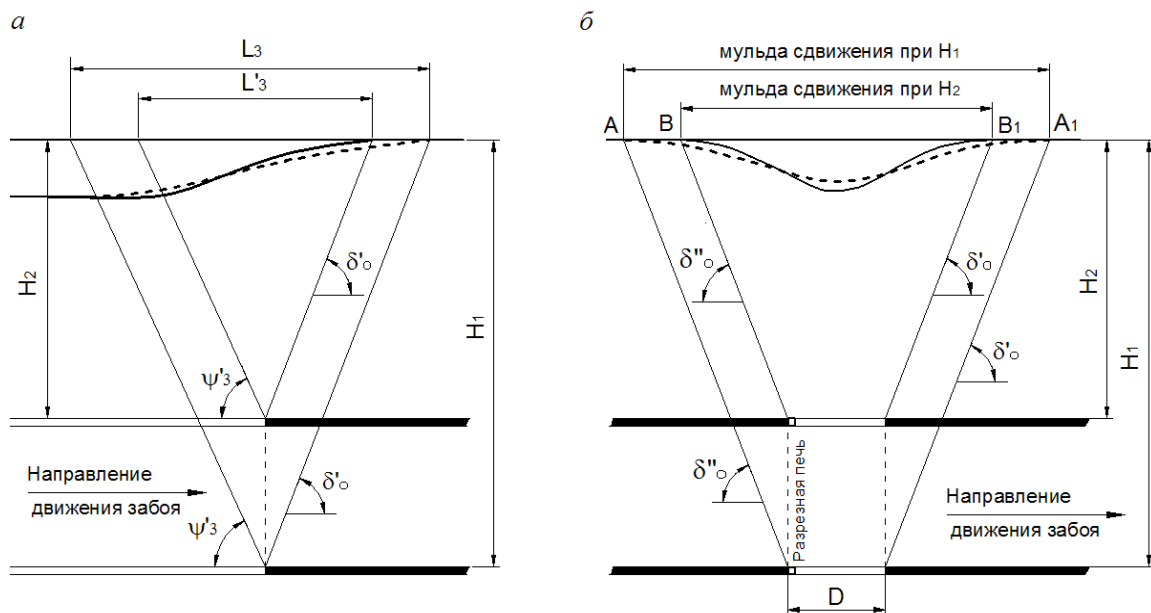


Рис. 2.5. Зависимость параметров динамической мульды от глубины

Схема геометрических параметров динамической мульды в стадии формирования (рис. 2.5, б) отличается от схем, рассмотренных выше тем, что текущий размер выработки  $D$  не обеспечивает полной подработки земной поверхности. В этом случае пропорциональное масштабирование схем путем введения масштабных коэффициентов  $1/H_1$  и  $1/H_2$  приведет к изменению влияющего размера выработки  $D$

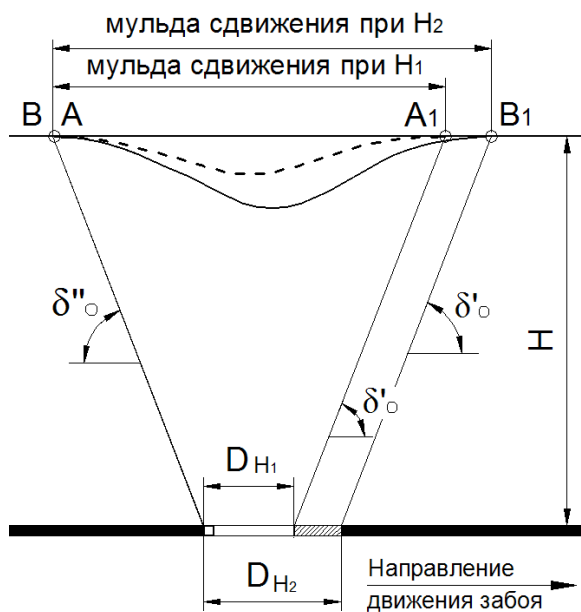


Рис. 2.6. Отмасштабированные схемы сдвижения

(рис. 2.6). Для схем на рис. 2.4 и 2.5, а это не имело значения, т.к. соблюдалось условие полной подработки поверхности. Такие преобразования схем будут правомочны только в том случае, если величины оседаний земной поверхности прямо зависят от отношения  $D/H$ . Такая зависимость существует, и на нее указывают очень многие исследователи [4, 14, 26, 32, 38 и др.]. Более того, отношение  $D/H$  определяет величины оседаний земной поверхности и в нормативной методике [7].

2.2.8. Размеры выработанного пространства оказывают влияние на величины и распределение сдвижений и деформаций в мульде. Но влияние размеров очистной выработки учитывается опосредованно через соотношение  $D/H$ , которое в свою очередь определяет величины условных коэффициентов  $N_1$ ,  $N_2$ , характеризующих степень подработанности земной поверхности, соответственно вкrest простирания и по простиранию.

Коэффициенты  $N_1$  и  $N_2$  определяют по формулам [7]

$$N_1 = \sqrt{0,9 \cdot \left( \frac{D_1}{H} + \Delta D_n + \Delta D_e \right)};$$

$$N_2 = \sqrt{0,9 \cdot \left( \frac{D_2}{H} + \Delta D_{np} + \Delta D_{опр} \right)},$$

где  $D_1$ ,  $D_2$  - длины очистной выработки соответственно вкрест простирания и по простиранию;

$\Delta D_n$  - поправка к относительной длине лавы со стороны падения;

$\Delta D_в$  - поправка к относительной длине лавы со стороны восстания;

$\Delta D_{np}$  - поправка к относительной длине лавы со стороны простирания;

$\Delta D_{онр}$  - поправка к относительной длине лавы со стороны обратной простиранию.

Если рассматривать очистную выработку в процессе ее отработки, она имеет два размера:  $D_1$  – постоянный, равный длине лавы и  $D_2$  – текущий, изменяющийся размер, зависящий от положения очистного забоя на какой-то момент времени. Оба размера выработанного пространства определяют максимальное оседание земной поверхности, также на какой-то момент времени. Величина этого оседания может быть рассчитана по формуле [7]

$$z_m = q_0 m \cos \alpha N_1 N_2, \quad (2.1)$$

где  $q_0$  - относительная величина максимального оседания;

$m$  - вынимаемая мощность пласта;

$\alpha$  - угол падения пласта в пределах очистной выработки.

Приведенная формула предназначена для расчета максимального оседания земной поверхности при условии закончившегося процесса сдвижения. В работе [67] показано, что в Западном Донбассе величина  $q_0$  для закончившегося процесса сдвижения составляет 0,9, а над движущимся очистным забоем – 0,85. Оба значения весьма близки и это дает основание предположить, что выражение (2.1) удовлетворяет и условиям развивающейся во времени и пространстве мульды сдвижения.

Предположим, что по пологому угольному пласту ( $\alpha \approx 0^\circ$ ) лавой, имеющей длину  $D_1$ , отрабатывается выемочный столб с размером по простиранию  $D_2$ . В главном сечении мульды по простиранию выполнены инструментальные маркшейдерские наблюдения за оседанием земной поверхности. При этом зафиксированы максимальное оседание  $\eta_{mt}$  на момент  $t$ , когда лава отошла от разрезной печи на расстояние  $D_t$ , и максимальное оседание  $\eta_m$  на момент окончания процесса сдвижения после полной остановки

лавы. Зададимся условием, что размер выработки  $D_2$  обеспечивает полную подработку земной поверхности по направлению простирания пласта ( $N_2 = 1$ ). Тогда согласно (2.1) максимальное оседание  $\eta_m$  будет равно

$$z_m = q_0 m N_1,$$

а максимальное оседание на момент  $t$  составит

$$z_{mt} = q_0 m N_1 N t = \eta_m N t,$$

где  $N_t$  – безразмерный коэффициент, характеризующий степень подработанности земной поверхности в динамической мульде на момент  $t$  по простиранию пласта.

Из приведенных рассуждений следует, что если разделить величину максимального оседания  $\eta_{mt}$  на момент  $t$  на максимальное оседание  $\eta_m$  по окончании процесса сдвижения, тем самым будет устранено влияние размера очистной выработки  $D_1$ . В результате получится безразмерная величина, сопоставимая с аналогичными величинами, которые определены для других условий подработки земной поверхности.

Описанные выше преобразования результатов натуральных наблюдений за оседанием земной поверхности над движущимся очистным забоем на стадии формирования мульды сдвижения устраняют влияние различия вынимаемых мощностей в лавах.

### 2.3. Основные положения методики адаптации параметров горно-геологических условий подработки земной поверхности и результатов натуральных наблюдений

Существующие методы и способы обработки и анализа результатов маркшейдерских инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности не позволяют оценить зависимости изменения сдвижений в условиях формирования мульды. В связи с этим разработана методика обработки результатов наблюдений, которая заключается в следующем.

2.3.1. На первом этапе необходимо собрать информацию о наблюдениях за сдвижением земной поверхности над движущимся

очистным забоем. Эта информация должна включать: описание наблюдательной станции; горно-геологические условия подработки земной поверхности, включая геологический разрез и план станции, совмещенный с планом горных работ; результаты натурных маркшейдерских наблюдений за сдвижением реперов профильной линии. Эти результаты должны включать начальное наблюдение до начала ведения горных работ, промежуточные периодические наблюдения, наблюдение на момент прекращения процесса сдвижения.

Из анализа следует изъять наблюдения на наблюдательных станциях, которые заложены над выходами тектонических нарушений на поверхность или под наносы, в условиях повторной подработки земной поверхности, над лавами, которые отрабатывались с длительными остановками, вывалами горных пород кровли и оставлением целиков угля в лаве.

Профильные линии реперов должны быть заложены в главном сечении мульды (или близко к нему) по направлению подвигания очистного забоя.

2.3.2. Второй этап подготовки данных заключается в построении упрощенного геологического разреза по линии, совпадающей с главным сечением мульды по направлению подвигания очистного забоя. На разрезе необходимо показать реперы профильной линии на поверхности, очистную выработку, над которой ведутся маркшейдерские наблюдения, с нанесением положения очистного забоя лавы на дату каждой серии маркшейдерских наблюдений на наблюдательной станции.

Здесь же выполняется построение совмещенных графиков сдвижений земной поверхности по данным всех инструментальных наблюдений.

Все построения необходимо выполнять в реальном масштабе с использованием современных компьютерных программ для обработки векторной графики. Это в последующем даст возможность индивидуального или группового анализа и преобразования графиков сдвижений земной поверхности и адаптирования геологических разрезов и планов наблюдательных станций.

2.3.3. Адаптация параметров горно-геологических условий подработки земной поверхности для обеспечения возможности сопоставления их влияния на формирование мульды сдвижения. Это



достигается путем соответствующего масштабирования геологических разрезов, изображений лавы и реперов профильной линии на земной поверхности.

2.3.4. Установление величин максимального оседания земной поверхности на каждую дату маркшейдерских наблюдений и фиксация их положения на графиках оседания и изображении профильной линии реперов наблюдательной станции. Положение забоя определяется расстоянием  $D_t$  от разрезной печи до забоя на дату наблюдения  $t$  (рис. 2.7).

На этом этапе также устанавливается значение максимального оседания при закончившемся процессе сдвижения земной поверхности.

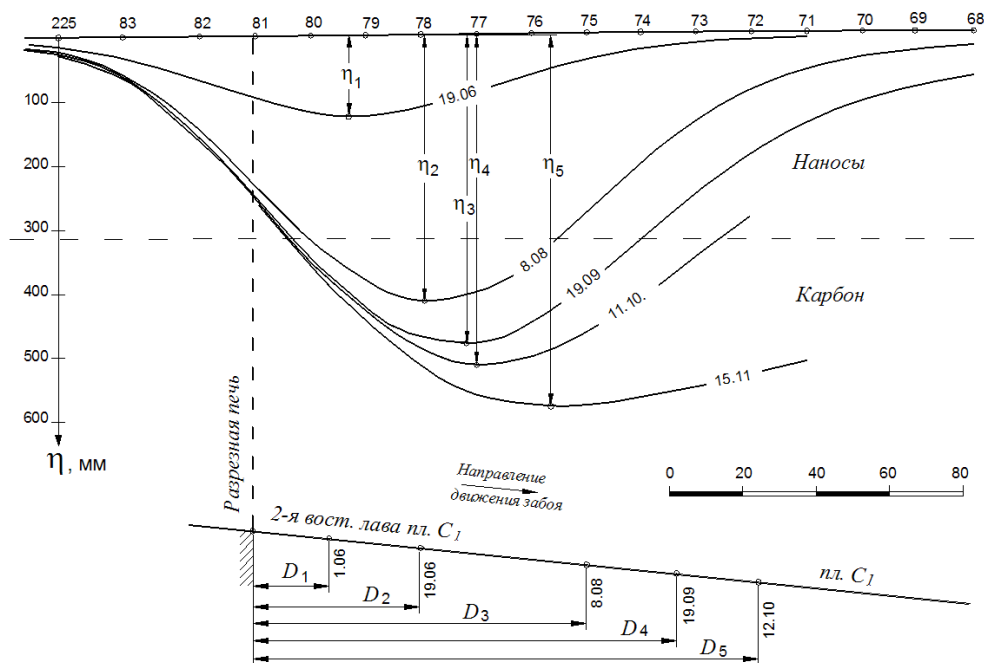


Рис. 2.7. Разрез по профильной линии и графики оседания реперов наблюдательной станции

Таким образом, для каждой из наблюдательных станций формируется база данных, состоящая из  $n$ -го числа пар расстояний  $D_t$  и  $\eta_{mt}$ , где  $n$  – количество анализируемых серий инструментальных наблюдений на станции.

2.3.5. Следующим шагом анализа результатов маркшейдерских наблюдений является приведение графиков оседаний земной поверхности к единичному виду с учетом вынимаемой мощности,

глубины разработки и размеров горной выработки.

После выполненных преобразований будет создана база данных, включающая линейные параметры геологических разрезов, очистной выработки, положения точек поверхности с максимальными оседаниями и самими максимальные оседания. Их последующая обработка возможна с использованием вероятностных и статистических методов обработки данных эксперимента с последующей геометрической интерпретацией.

## ВЫВОДЫ

Натурные маркшейдерские наблюдения за сдвижением земной поверхности над очистной выработкой, забой которой отошел от разрезной печи, указывают на наличие закономерностей формирования мульды сдвижения. Эти закономерности заключаются в непрерывном увеличении размеров мульды и величин максимальных оседаний поверхности по мере увеличения размеров выработанного пространства. Известные способы и методы обработки и анализа данных натурных наблюдений за сдвижением земной поверхности над движущимся забоем практически неприменимы для условий формирования мульды. Это объясняется постоянно изменяющимся размером выработанного пространства в направлении движения очистного забоя и большим числом других влияющих факторов.

Для осуществления исследований развития мульды сдвижения необходима методика, исключая или, по крайней мере, уменьшающая до минимума влияние основных факторов, к которым относятся:

- разрыв во времени между отработкой пластов и целиков в выработанном пространстве;
- порядок ведения горных работ и взаимное расположение выработок;
- нарушенное залегание подрабатываемых пород;
- механические свойства и структурные особенности горных пород;
- угол падения пород;
- скорость подвигания очистной выработки;
- глубина ведения очистных горных работ;

- размеры выработанного пространства;
- вынимаемая мощность пласта.

Первые три влияющих фактора исключаются путем соответствующего отбора натуральных наблюдений за сдвижением земной поверхности. Влияние свойств горных пород для условий Западного Донбасса не является решающим из-за схожести прочностных свойств вмещающих пород. То же можно сказать и о влиянии угла падения пород, который равен  $2-5^\circ$  и практически не влияет на процесс сдвижения земной поверхности.

Влияние последних трех факторов возможно значительно уменьшить путем соответствующей их адаптации, которая заключается в масштабировании геометрических параметров отработки угольных пластов и величин вертикальных сдвижений земной поверхности.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ

#### 3.1. Краткая характеристика экспериментальных исследований сдвижения земной поверхности в Западном Донбассе

Изучение сдвижения горных пород и земной поверхности при разработке угольных пластов в условиях Западного Донбасса проводятся кафедрой маркшейдерии НГУ с 1963 г [68-77]. Первые наблюдательные станции для изучения процесса сдвижения земной поверхности были заложены над очистными выработками шахт "Першотравнева" (станция № 1), "Степная" (ст. № 3) и "Терновская" (ст. № 2). Отработка угольных пластов на этих шахтах велась на глубине 100–150 м. В последующие годы, по мере развития горных работ и ввода в эксплуатацию новых шахт, были получены экспериментальные данные о процессе сдвижения горных пород и земной поверхности на наблюдательных станциях №№ 4, 5, 11, 30 (шх. "Першотравнева"), 7, 8, 12, 13, 14, 17, 19, 20, 21, 31 (шх. "Степная"), 9, 10, 29 (шх. "Юбилейная"), 6 (шх. "Терновская"), 15 (шх. "Самарская"), 16 (шх. "Днепровская"), 28 (шх. "Павлоградская"). Глубина ведения очистных горных работ в районах заложения наблюдательных станций достигла 300 м.

Следующий этап освоения Западного Донбасса характерен развитием горных работ по добыче угля в засбросовой части месторождения на глубинах до 600 м. Это связано с вводом в эксплуатацию шахт им. Героев космоса и "Западно-Донбасской". Для исследования сдвижения земной поверхности в новых условиях ведения горных работ были заложены наблюдательные станции №№ 22, 24, 25, 27 (шх. им. Героев Космоса) и 23, 26 (шх. "Западно-Донбасская").

Всего за время изучения сдвижения горных пород и земной поверхности на шахтах Западного Донбасса заложено 34 наблюдательных станции, состоящих из 70 профильных линий (без учета специальных наблюдательных станций №№ 27-34, заложенных над крупными тектоническими нарушениями и станции № 18, на

которой наблюдения не проводились) и 3934 грунтовых реперов. На станциях выполнено 498 серий наблюдений, включая кратковременные (частотные) наблюдения.

Наблюдательные станции подработаны очистными горными работами по пластам мощностью от 0,60 до 1,20 м. Глубина разработки пластов по станциям изменяется от 100 до 550 м, мощность наносов – 50-200 м, угол падения пластов – 2-5°. Управление горным давлением – полное обрушение.

Общая характеристика наблюдательных станций и условий их подработки приведены в табл. 3.1.

Исследования, выполненные до 1972 г., были направлены на установление параметров и характера распределения сдвижений и деформаций земной поверхности при закончившемся процессе сдвижения; особенностей сдвижения подрабатываемой толщи при наличии мощных четвертичных отложений, представленных пльвунами. В частности, установлены угловые параметры сдвижения в коренных породах и наносных отложениях, распределение сдвижений и деформаций земной поверхности в главных сечениях мульды сдвижения и зависимость их величин от условий подработки.

Полученные результаты включены в Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок в Донецком угольном бассейне [78] и Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях [79].

Дальнейшие научные изыскания кафедры маркшейдерии в Западном Донбассе заключались в уточнении параметров закончившегося сдвижения земной поверхности, изучении процесса сдвижения над движущимся очистным забоем при первичной и повторной подработках, влияния крупных тектонических нарушений на параметры сдвижения, а также совершенствовании методики прогнозирования гидрографии пойм рек. По результатам исследований составлены Методические указания по расчету деформаций земной поверхности во времени и горно-геометрическому прогнозированию охраны пойм рек при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе [80].

Таблица 3.1

## Общая характеристика наблюдательных станций Западного Донбасса

№ станции	Наименование шахты	К-во проф. линий	Количество реперов	Количество наблюдений	Глубина подработки, м	Мощность наносов, м	Мощность пласта, м
1	"Першотравнева"	7	321	24	110-170	70-100	0,60-0,80
2	"Терновская"	3	208	19	130-200	70-90	0,74-0,92
3	"Степная"	9	371	12	100-160	60-70	0,80-0,90
4	"Першотравнева"	2	73	21	210-230	85	0,65-0,80
5	"Першотравнева"	7	121	11	140-190	75-100	0,80
6	"Терновская"	1	32	3	120-180	70-90	0,70-0,90
7	"Степная"	2	115	17	180-250	70-80	0,88-1,01
8	"Степная"	1	71	16	180-220	70	0,90-1,00
9	"Юбилейная"	2	130	34	170-300	70-80	0,70-0,72
10	"Юбилейная"	2	113	29	100-190	80-90	0,90-1,08
11	"Першотравнева"	2	140	43	143-165	80-90	0,63
12	"Степная"	3	106	34	100-125	60-70	1,00-1,10
13	"Степная"	1	52	43	140-160	50-65	0,90-0,95
14	"Степная"	2	103	40	180-230	90	0,92-1,02
15	"Самарская"	2	130	2	205-275	70	0,80-1,05
16	"Днепровская"	5	105	6	170-250	110-115	0,70-1,20
17	"Степная"	1	102	47	120-190	55-65	0,60-0,90
19	"Степная"	2	112	15	220-250	70-80	0,95
20	"Степная"	2	125	9	120-180	70-80	0,60-0,70
21	"Степная"	3	45	15	220-250	80	0,90
22	им. Героев Космоса	2	205	20	400-480	150-200	0,80
23	"Западно-Донбасская"	2	212	12	450-545	145-200	0,60-0,80
24	им. Героев Космоса	3	165	10	270-350	150-200	0,70-1,00
25	им. Героев Космоса	2	157	8	380-450	150-200	0,70-1,00
26	"Западно-Донбасская"	4	620	8	415-550	140-200	0,80-1,00

Изучение условий ведения очистных работ и подработки земной поверхности, общий анализ результатов натуральных маркшейдерских наблюдений на перечисленных наблюдательных станциях позволили выделить из общего числа наблюдательных станций Западного Донбасса 8 станций, которые соответствуют методике адаптации параметров горно-геологических условий подработки земной поверхности и результатов натуральных маркшейдерских наблюдений. Условия подработки земной поверхности и значения максимальных оседаний по наблюдательным станциям приведены в табл. 3.2. Их общая характеристика следующая.

Таблица 3.2

Условия подработки земной поверхности по наблюдательным станциям

№ станции	Шахта	Пласт	№ лавы	Глубина $H$ , м	Мощность наносов $h$ , м	$h/H$	Максимальное оседание $\eta_m$ , м	Кол-во серий наблюдений
1/2	"Юбилейная"	$C_1$	2-я вост.	135	55	0,41	0,6	5
13	"Степная"	$C_6$	604	120	50	0,42	0,88	9
14	"Степная"	$C_4$	415	235	80	0,34	0,85	2
12	"Степная"	$C_6$	606	120	50	0,42	0,9-1,0	20
11	"Першотравнева"	$C_2'$	302, 304	140	70	0,5	0,5	5
10	"Юбилейная"	$C_6$	530	150	60	0,4	0,88	15
9	"Юбилейная"	$C_6'$	605, 607	250	80	0,32	0,68	15
8	"Степная"	$C_6'$	715, 713	190	70	0,37	0,64	14

Глубины залегания разрабатываемых угольных пластов над разрезной печью изменяются от 110 до 250 м, мощность наносов – от 50 до 80 м. Вынимаемая мощность пластов 0,65-1,10 м; скорость подвигания очистного забоя 30-80 м/мес.; коэффициент, характеризующий степень подработанности земной поверхности (согласно действующим Правилам [7]) изменяется от 1 до 0,65; управление горным давлением – полное обрушение.

В качестве примера на рис. 3.1-3.3 показаны планы трех

наблюдательных станций, совмещенные с планами горных работ, и графики оседаний и наклонов земной поверхности, построенные по данным натурных маркшейдерских периодических наблюдений.

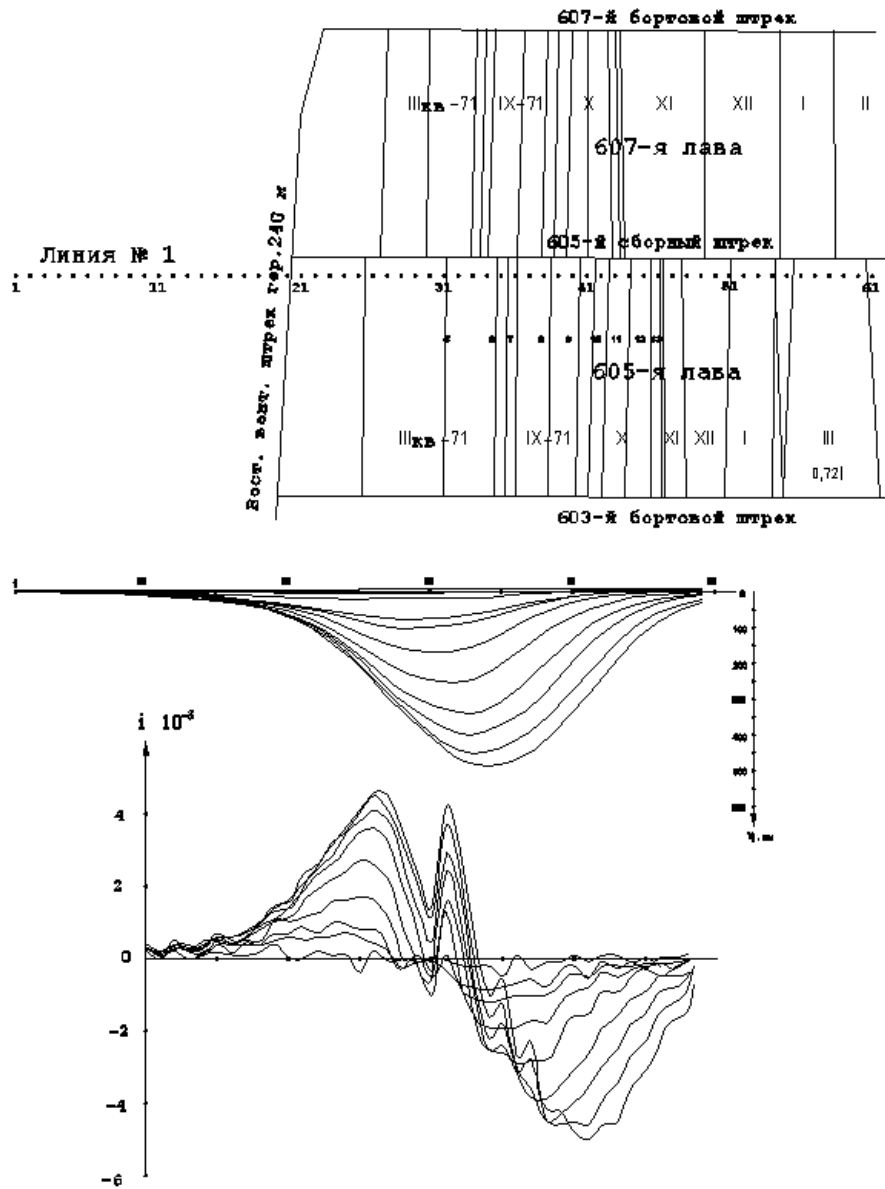


Рис. 3.1. Наблюдательная станция №9



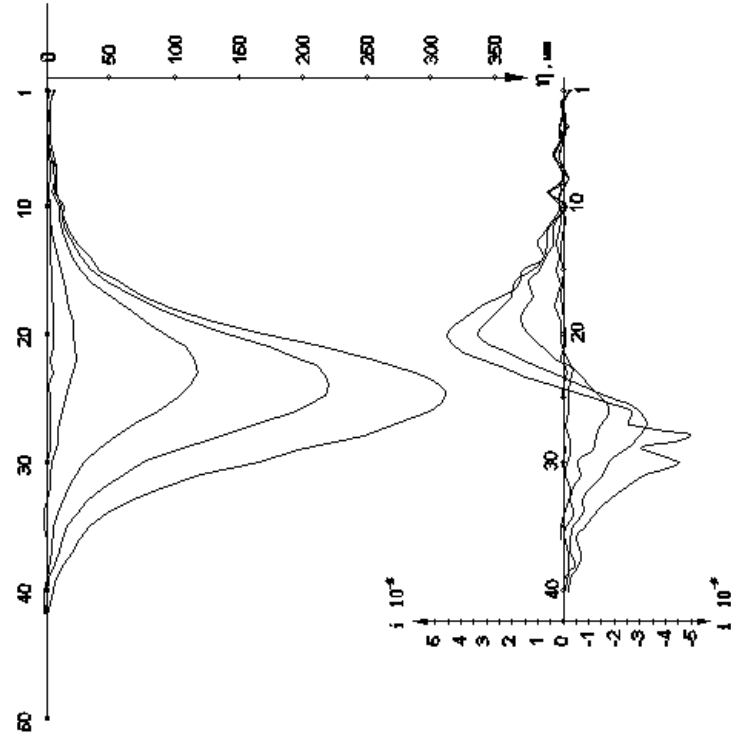
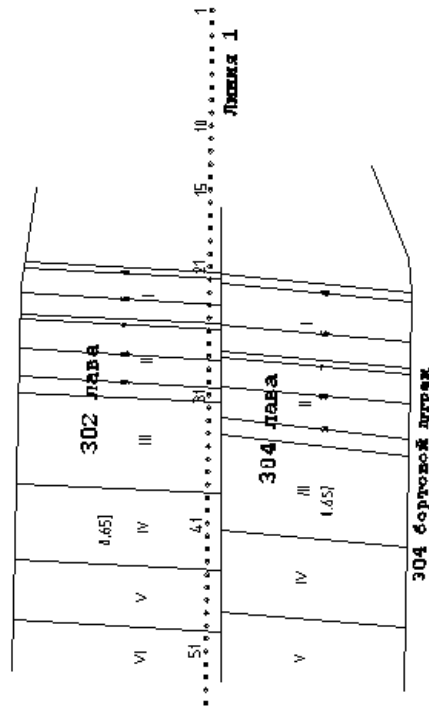
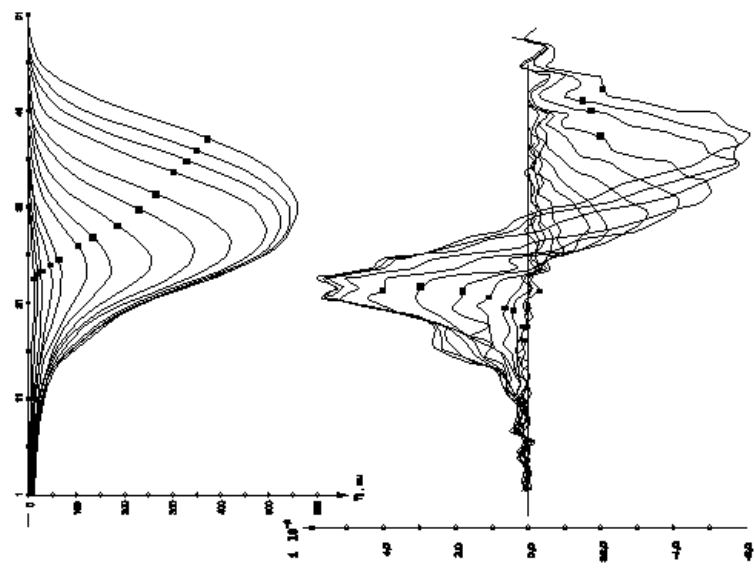
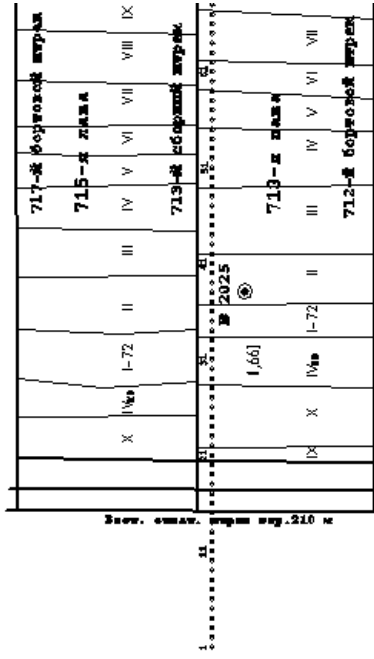


Рис. 3.2. Наблюдательная станция №8

Рис. 3.3. Наблюдательная станция №11

### 3.2. Исследование закономерностей расположения максимальных оседаний земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения

Даже беглый анализ результатов маркшейдерских инструментальных наблюдений за земной поверхностью над очистными горными выработками шахт Западного Донбасса показывает, что процесс сдвижения на стадии формирования мульды сдвижения имеет закономерности, проявляющиеся практически во всех наблюдаемых случаях. Одна из этих закономерностей выражается в зависимости положения точек, имеющих максимальное оседание на момент выполнения инструментальных наблюдений, от текущего размера очистной выработки.

Для исследования этой закономерности построены графики оседаний реперов наблюдательных станций по результатам инструментальных маркшейдерских наблюдений. Особенность этих графиков заключается в том, что на один и тот же график наносятся кривые оседания реперов по всем имеющимся наблюдениям с обязательным фиксированием положения разрезной печи и положений очистного забоя на даты наблюдений. Следует заметить, что положения очистных забоев, возможно, отличаются от фактических, т.к. они определялись интерполяцией на планах горных выработок, на которых положение очистного забоя нанесено по маркшейдерским замерам на начало каждого месяца. При этом не учитывалась прерывная рабочая неделя и возможные кратковременные технические остановки очистного забоя.

На графике для каждой кривой вертикальных сдвижений (рис. 3.4) фиксируется точка, имеющая наибольшее оседание и соответствующее ей положение очистного забоя лавы. Положение забоя определяется расстоянием  $D_t$  от разрезной печи до забоя на дату наблюдения  $t$ . Кроме этого, на разрезе замеряется горизонтальное расстояние  $L_{mt}$  от разрезной печи до точки с максимальным оседанием.

Таким образом, для каждой из анализируемых станций (см. табл. 3.2) формируется база данных, состоящая из  $n$ -го числа пар расстояний  $D_t$  и  $L_{mt}$ , где  $n$  – количество анализируемых серий инструментальных наблюдений на станции.

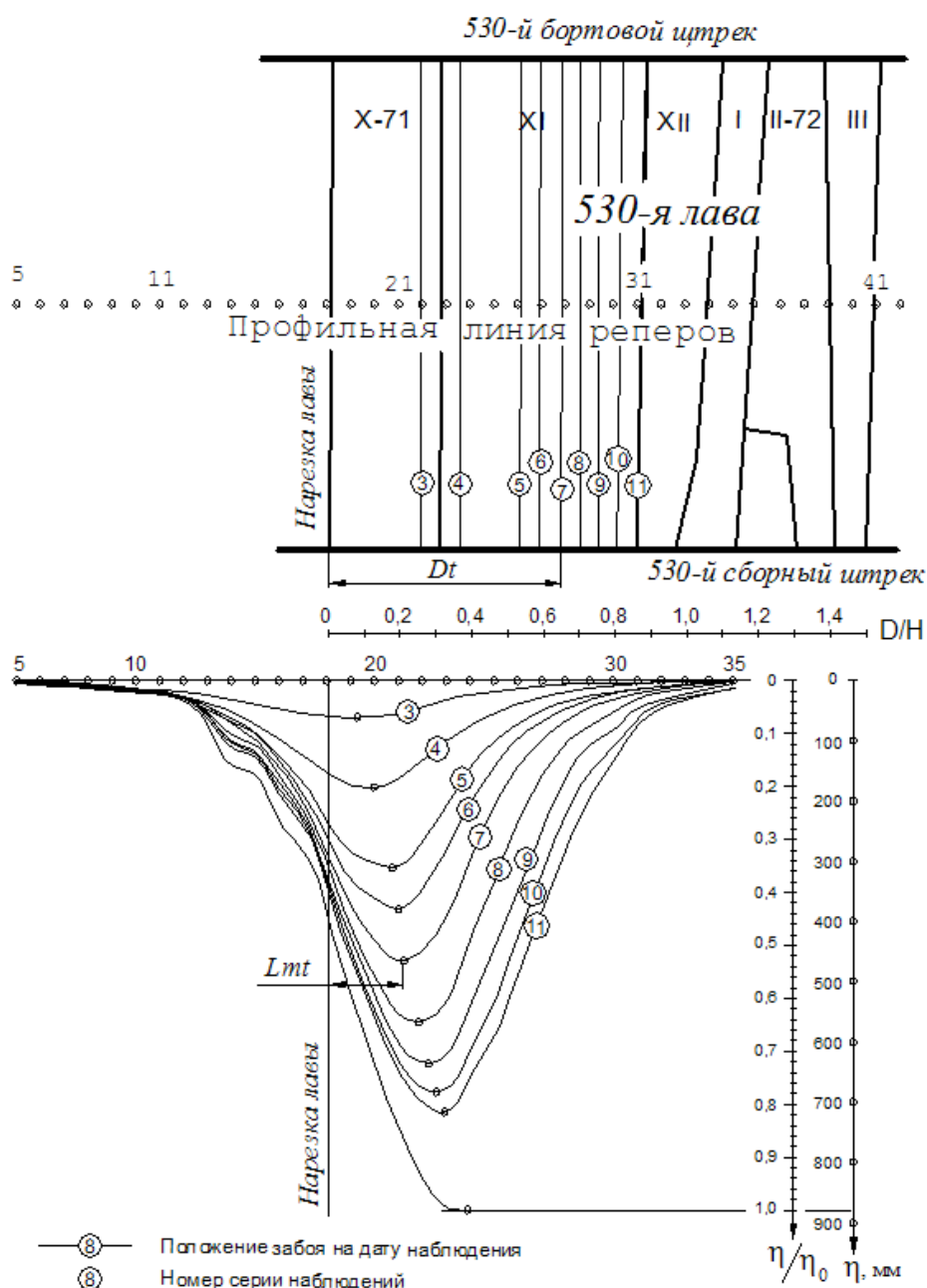


Рис. 3.4. План и графики оседания реперов станции №10

Полученные в результате выполненных исследований данные по каждому из проанализированных случаев подработки земной поверхности практически невозможно сопоставить между собой из-за разницы горно-геологических условий и различного расстояния, пройденного каждой лавой на момент производства инструментальных наблюдений на поверхности. Поэтому выполняется адаптация всех графиков оседания земной поверхности и, соответственно, параметров  $D_t$  и  $L_{mt}$  к единичному виду. Для этого

линейные параметры графиков (длины интервалов между реперами профильных линий, величины подвигания очистных забоев, горизонтальные расстояния от разрезной печи до точек с максимальными оседаниями, вертикальные размеры геологических разрезов) были разделены на величину глубины отработки угольных пластов  $H$ . Выполненные преобразования позволили устранить зависимость анализируемых графиков от глубины разработки.

Параметры  $D_t/H$  и  $L_{mt}/H$ , полученные в результате приведения графиков к единичному виду, сведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Приведенные значения  $D_t/H$  и  $L_{mt}/H$  по наблюдательным станциям

Станция 12-2		Станция 10		Станция 9		Станция 1/2		Станция 8	
$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$
0,42	0,17	0,26	0,08	0,18	0,08	0,33	0,17	0,21	0,11
0,5	0,18	0,37	0,12	0,32	0,09	0,67	0,33	0,26	0,12
0,6	0,24	0,53	0,18	0,37	0,1	0,86	0,42	0,3	0,13
0,7	0,29	0,58	0,2	0,45	0,16	1,02	0,45	0,33	0,14
0,82	0,37	0,65	0,21	0,53	0,22	1,34	0,54	0,37	0,17
0,92	0,41	0,71	0,24	0,6	0,26	-	-	0,45	0,19
0,98	0,44	0,76	0,28	0,66	0,27	-	-	0,52	0,21
1,03	0,46	0,81	0,3	0,73	0,28	-	-	0,57	0,25
1,16	0,47	0,86	0,32	0,82	0,32	-	-	0,63	0,32
1,24	0,5	0,9	0,35	0,86	0,33	-	-	0,74	0,37
1,34	0,52	0,93	0,39	0,88	0,4	-	-	0,88	0,43
-	-	1,04	0,42	0,98	0,44	-	-	0,98	0,46
-	-	1,13	0,45	1,1	0,48	-	-	1,06	0,49
-	-	1,32	0,51	1,16	0,49	-	-	1,15	0,52
-	-	1,43	0,55	1,35	0,55	-	-	-	-

Продолжение табл. 3.3

Станция 12-1		Станция 11		Станция 13		Станция 14	
$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$	$D_t/H$	$L_{mt}/H$
0,22	0,06	0,05	0	0,23	0,09	0,28	0,11
0,27	0,07	0,18	0,04	0,42	0,14	0,5	0,25
0,34	0,08	0,32	0,1	0,56	0,23	-	-
0,39	0,1	0,48	0,18	0,68	0,29	-	-
0,44	0,12	0,63	0,24	0,83	0,33	-	-
0,53	0,15	-	-	0,99	0,36	-	-
0,61	0,2	-	-	1,12	0,42	-	-
0,71	0,29	-	-	1,23	0,47	-	-
0,79	0,31	-	-	1,42	0,52	-	-

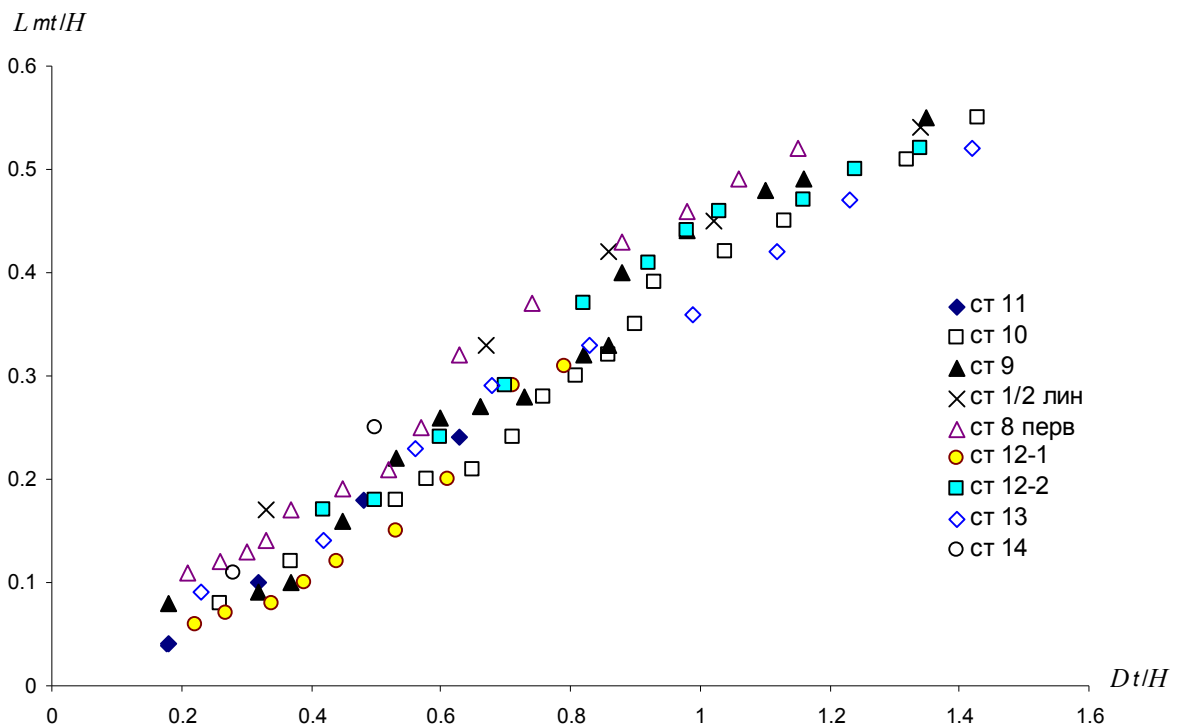


Рис. 3.5. Распределение  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$  по наблюдательным станциям

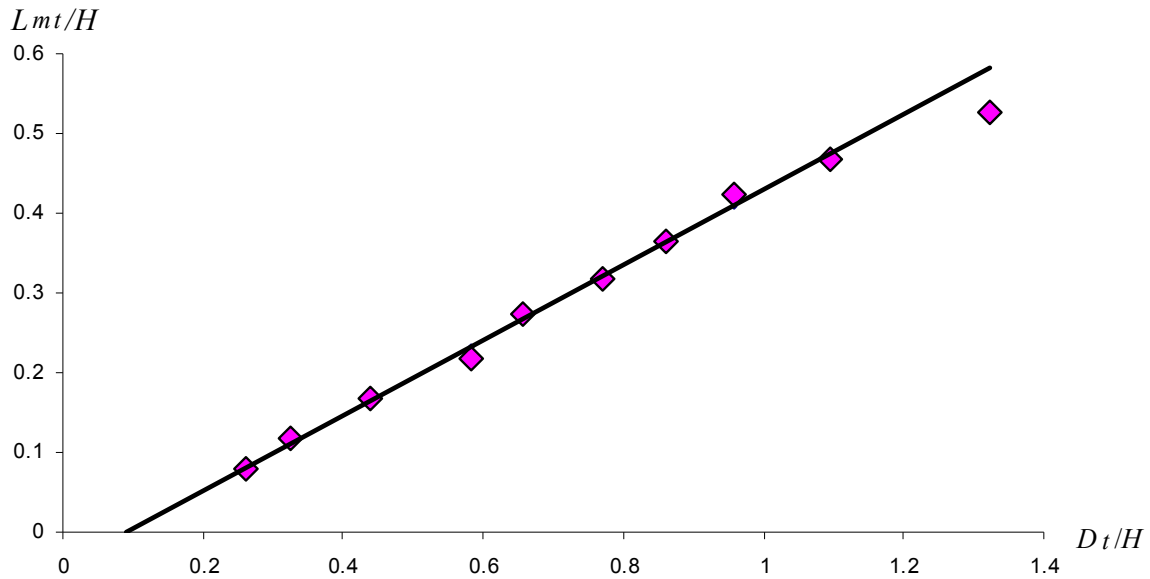


Рис. 3.6. Обобщенный график зависимости  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$

Оценка отклонений экспериментальных данных от рассчитанных по зависимости (3.1) показал, что среднеквадратическое отклонение по оси абсцисс составляет  $\pm 0,076$ , а по оси ординат –  $\pm 0,014$ , что не превышает 5% от максимальных значений исследуемых величин.

Анализ графиков на рисунках 3.5 и 3.6 показывает, что в верхней части при  $L_{mt}/H > 0,5$  график распределения имеет тенденцию к выполаживанию. Это свидетельствует о том, что при значении  $D_t/H$  близком к 1,2 формирование мульды сдвижения завершается, и она переходит в стадию синхронного сдвижения, при которой фронтальное крыло мульды и, следовательно, точка максимального оседания земной поверхности перемещается вслед за очистным забоем лавы. Максимальное оседание земной поверхности достигает значения, близкого к максимальному.

На участке  $0,2 < D_t/H < 1,2$  анализируемая зависимость практически прямолинейна, из чего следует что

$$L_{mt} = 0,44D_t - 0,04H. \quad (3.2)$$

Из выражения (3.2) следует, что в идеале начало процесса сдвижения на земной поверхности следует ожидать над

выработанным пространством на расстоянии  $0,04H$  от проекции разрезной печи. Но если учесть, что инструментальными измерениями могут быть надежно зафиксированы вполне определенные величины сдвижений и деформаций земной поверхности (оседания  $25-30$  мм, наклоны  $0,5 \times 10^{-3}$ , горизонтальные растяжения  $0,5 \times 10^{-3}$ ), то реально процесс сдвижения начинается в точке земной поверхности, которая отстоит от проекции разрезной печи на расстоянии около  $0,05H$  со стороны выработанного пространства. При этом очистная выработка достигает размера, равного  $0,2H$ .

В окончательном варианте график зависимости  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$  имеет вид, показанный на рис. 3.7.

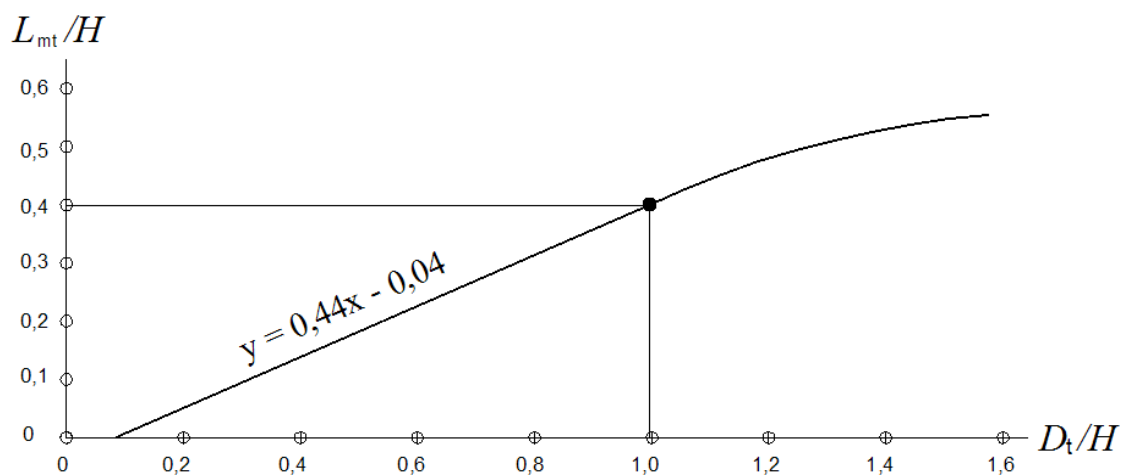


Рис. 3.7. График зависимости  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$

### 3.3. Исследование закономерностей изменения максимальных оседаний земной поверхности во времени

На этом этапе исследовалась зависимость максимальных оседаний земной поверхности  $\eta_{mt}$  в мульде сдвижения над движущимся очистным забоем при его отходе от разрезной печи от текущего размера очистной выработки  $D_t$  по направлению развития горных работ (см. рис. 2.7). Для решения поставленной задачи на сводных графиках оседания земной поверхности на каждой из анализируемых наблюдательных станций фиксировались точки, имеющие наибольшее оседание и величины этих оседаний  $\eta_{mt}$ , а также соответствующие им положения очистного забоя лавы. Положение забоя определялось расстоянием  $D_t$  от разрезной печи до забоя на дату наблюдения  $t$ .

Аналогично описанным выше исследованиям положения максимальных оседаний, была сформирована база данных, состоящая из 85 пар расстояний  $D_t$  и максимальных оседаний  $\eta_{mt}$ .

Значения максимальных оседаний земной поверхности зависят от многих факторов: глубины отработки пласта, его мощности и угла падения, размеров очистной выработки, физико-механических свойств пород подрабатываемой толщи. Соответственно, полученные в результате наблюдений значения  $\eta_{mt}$  отличаются в зависимости от условий подработки земной поверхности и текущего размера очистной выработки. С целью устранения этих различий или, хотя бы сведения их до возможного минимума, замеренные значения максимальных оседаний земной поверхности  $\eta_{mt}$  были выражены в долях от максимального оседания на момент окончания процесса сдвижения  $\eta_m$ . Такой подход позволяет практически полностью устранить влияние вынимаемой мощности угольного пласта и степени подработанности земной поверхности по направлению вкрест подвигания очистного забоя, которая, в свою очередь, зависит от поперечного размера выемочного столба и глубины разработки.

Полученные в результате описанных преобразований данные приведены в табл. 3.4, а распределение параметров  $D_t/H$  и  $\eta_{mt}/\eta_m$  показано на рис. 3.8.



Таблица 3.4

Приведенные значения  $D_t/H$  и  $\eta_{mt}/\eta_m$  по наблюдательным станциям

Станция 8		Станция 10		Станция 9		Станция 12-2			
$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$		
0.21	0.02	0.26	0.07	0.18	0.03	0.42	0.28		
0.26	0.05	0.37	0.2	0.32	0.12	0.5	0.38		
0.3	0.08	0.53	0.353	0.37	0.15	0.6	0.54		
0.33	0.1	0.58	0.432	0.45	0.25	0.7	0.69		
0.37	0.15	0.65	0.53	0.53	0.38	0.83	0.8		
Станция 8		Станция 10		Станция 9		Станция 12-2			
$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$		
0.45	0.25	0.71	0.643	0.6	0.5	0.92	0.86		
0.52	0.32	0.76	0.722	0.66	0.59	0.98	0.9		
0.57	0.45	0.81	0.778	0.73	0.66	1.03	0.92		
0.63	0.54	0.86	0.815	0.76	0.72	1.16	0.94		
0.74	0.66	0.9	0.84	0.82	0.78	1.24	0.97		
0.88	0.78	0.93	0.89	0.88	0.84	1.34	0.98		
0.98	0.82	1.04	0.93	0.98	0.9	-	-		
1.06	0.85	1.13	0.96	1.1	0.94	-	-		
1.15	0.88	1.32	0.98	1.16	0.97	-	-		
1.2	0.95	1.43	1	1.35	1	-	-		
1.3	0.97	-	-	-	-	-	-		
1.4	0.98	-	-	-	-	-	-		
1.5	1	-	-	-	-	-	-		
Станция 1/2		Станция 12-1		Станция 11		Станция 13		Станция 14	
$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$	$D_t/H$	$\eta_{mt}/\eta_m$
0.33	0.2	0.22	0.05	0.18	0.04	0.23	0.07	0.277	0.018
0.67	0.68	0.27	0.07	0.32	0.19	0.42	0.29	0.5	0.25
0.86	0.79	0.34	0.17	0.48	0.36	0.56	0.55	-	-
1.02	0.84	0.39	0.3	0.63	0.51	0.68	0.71	-	-
1.34	0.95	0.44	0.38	-	-	0.83	0.79	-	-
1.5	1	0.53	0.48	-	-	0.99	0.88	-	-
-	-	0.61	0.58	-	-	1.12	0.92	-	-
-	-	0.71	0.69	-	-	1.23	0.95	-	-
-	-	0.79	0.76	-	-	1.42	0.97	-	-

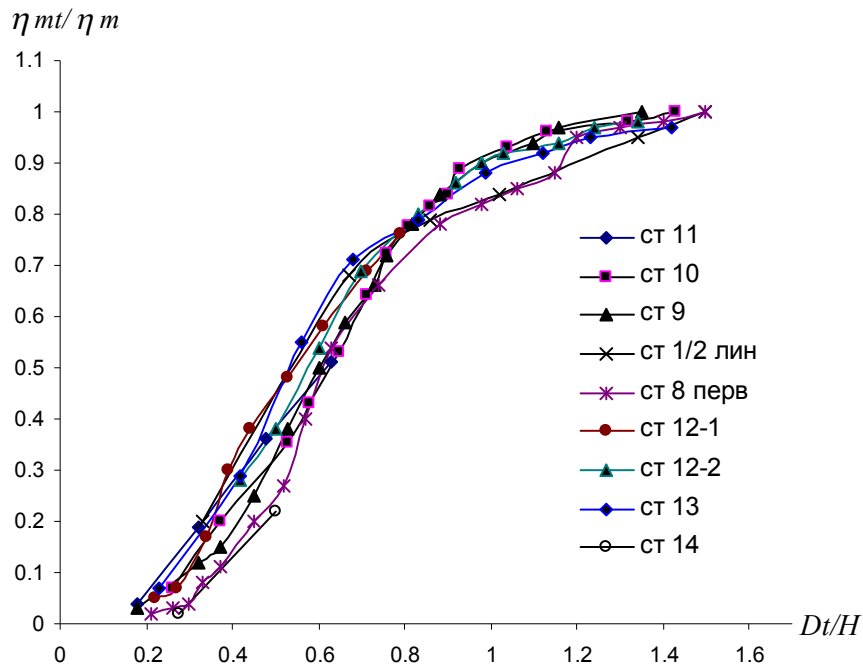


Рис. 3.8. Распределение  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  по наблюдательным станциям

График распределения  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  указывает на наличие довольно тесной взаимосвязи между этими параметрами мульды сдвига. В результате статистической обработки экспериментальных данных получен обобщенный график зависимости  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  (рис. 3.9). При этом среднее квадратическое отклонение экспериментальных данных от усредненных по оси абсцисс составляет  $\pm 0,045$ , а по оси ординат –  $\pm 0,03$ , т.е. не более 5% от максимальных значений.

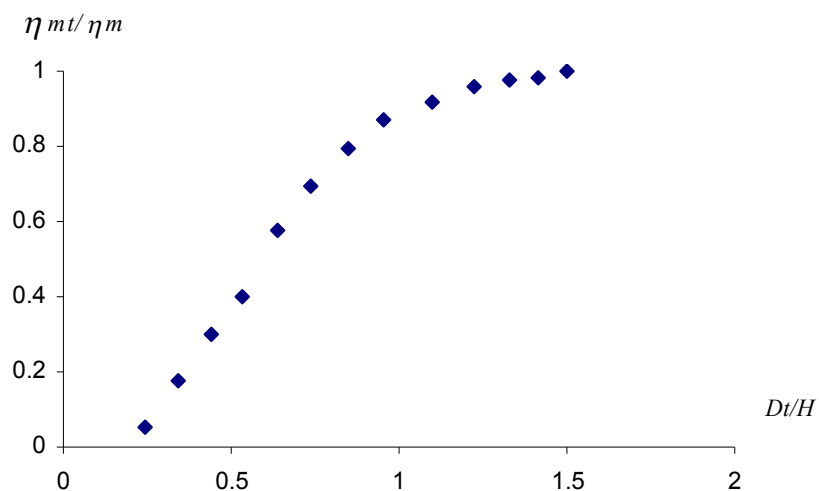


Рис. 3.9. Обобщенный график зависимости  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$

Анализ графиков на рисунках 3.8 и 3.9 показывает, что на участке  $0,2 < D_t/H < 0,7$  график распределения имеет практически прямолинейную форму, и начиная со значения  $D_t/H = 0,7$  асимптотически приближается к предельному значению  $\eta_{mt}/\eta_m = 1$ .

В маркшейдерской практике принято задавать зависимость максимальных оседаний от размера очистной выработки в табличном виде [7]. Учитывая это, зависимость  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  представлена в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Зависимость относительных максимальных оседаний от текущего размера очистной выработки для условий Западного Донбасса

$\eta_{mt}/\eta_m$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$D_t/H$	0,28	0,36	0,45	0,51	0,58	0,66	0,74	0,85	1,01	1,50

Табличное представление зависимости  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  удобно для инженерных расчетов, однако с учетом развития ГИС-технологий и математических методов прогнозирования сдвижений и деформаций горных пород и земной поверхности представляется целесообразным выразить полученную закономерность в аналитическом виде. Для этого применен графо-аналитический метод обработки и анализа полученных результатов.

Первоначально выполнено графическое описание распределения  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$ , заключающееся в подборе простых геометрических образов, соответствующих положению точек графика на рис. 3.9.

Часть графика на интервале  $0,2 < D_t/H < 0,7$  описывается отрезком прямой линии (рис. 3.10).

Способом подбора установлено, что в верхнюю часть графика при значениях  $D_t/H > 0,7$  вписывается дуга окружности. При этом если масштабы графика по оси абсцисс и ординат одинаковы, то вписываемая окружность будет иметь единичный радиус.

Прямая и дуга соотносятся таким образом, что первая является касательной ко второй, а точка касания имеет абсциссу  $D_t/H = 0,65$  и ординату  $\eta_{mt}/\eta_m = 0,61$ . Центр дуги располагается на оси абсцисс в точке  $D_t/H = 1,45$ .

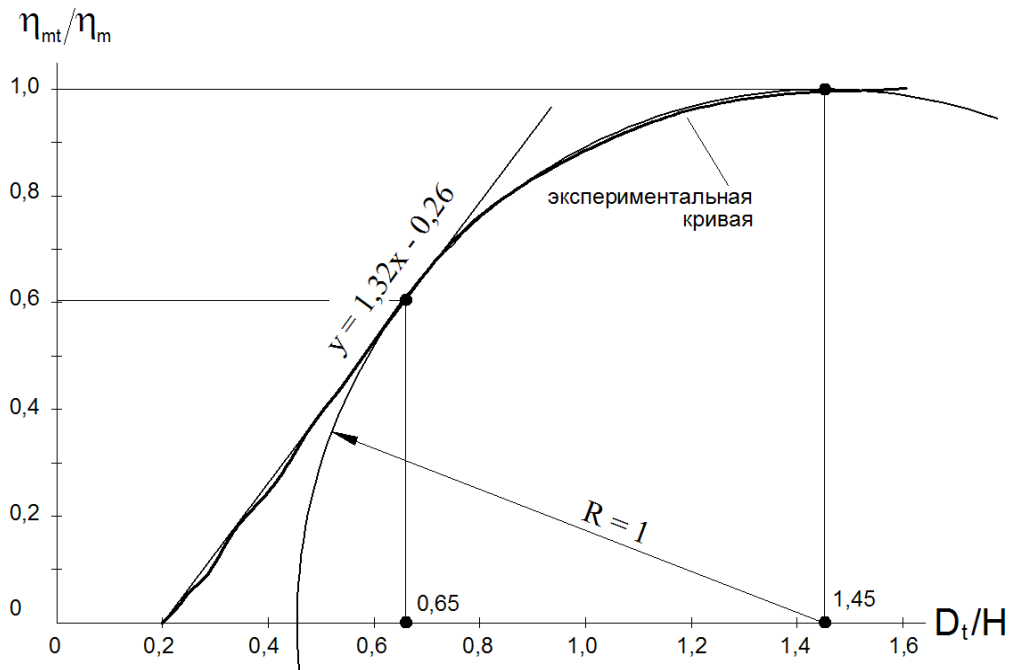


Рис. 3.10. Графическая интерпретация экспериментальной кривой относительных максимальных оседаний

Графическая интерпретация кривой распределения  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  позволила установить аналитическое описание графика на рис. 3.10. Оно имеет следующий вид.

При значениях  $0,2 < D_t/H \leq 0,65$  относительное максимальное оседание  $\eta_{mt}/\eta_m$  определяется по формуле

$$\eta_{mt}/\eta_m = 1,32 \cdot D_t/H - 0,26 \leq 0,61;$$

при  $1,45 > D_t/H > 0,65$

$$\eta_{mt}/\eta_m = \sqrt{1 - (1,45 - D_t/H)^2};$$

при  $D_t/H \geq 1,45$  соблюдается условие  $\eta_{mt}/\eta_m = 1$ .

Среднее квадратическое отклонение рассчитанных по установленным аналитическим зависимостям величин  $\eta_{mt}/\eta_m$  от распределения, представленного в табл. 3.4 составляет  $\pm 0,019$ , т.е. не превышает 2% от максимального значения.

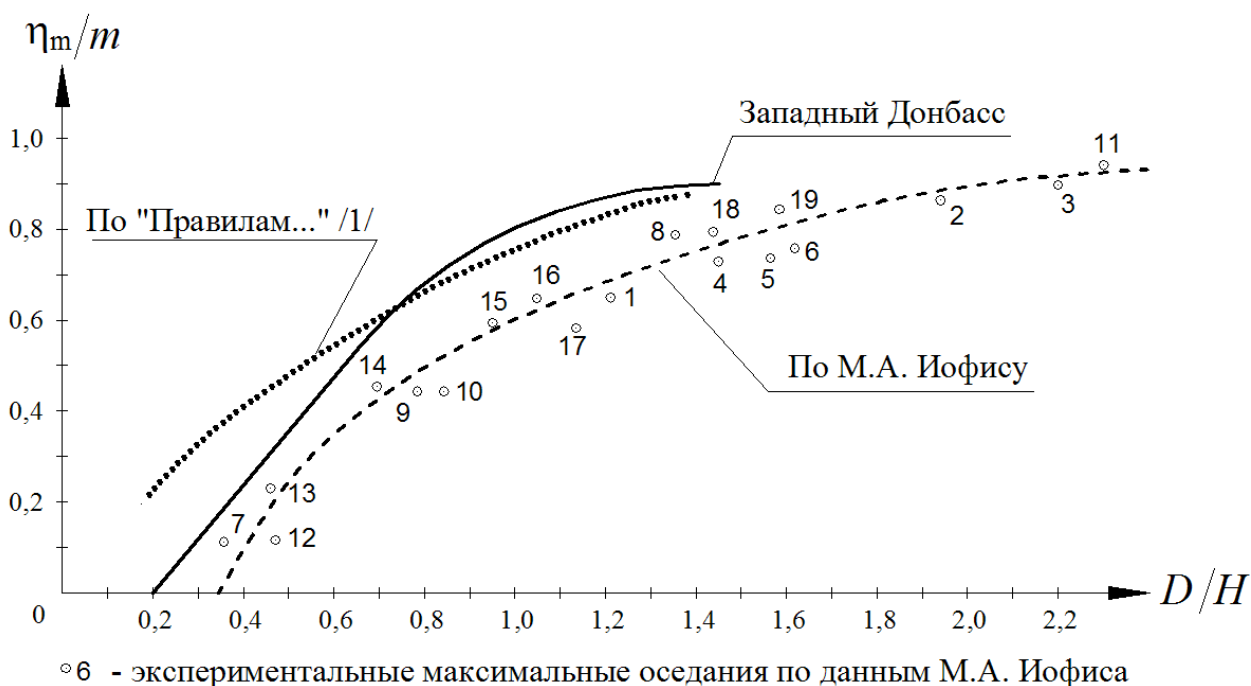
Выразить полученную для условий Западного Донбасса зависимость  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  в едином аналитическом виде не представляется возможным в силу отсутствия стандартной функции,

имеющей аналогичное распределение. Но такая попытка была осуществлена на основании анализа результатов подработки земной поверхности на шахтах Донбасса Иофисом М.А. [16]. Им получена зависимость

$$\eta_m = 0,8m \cdot \cos \alpha \cdot \sqrt{n'_1}, \quad (3.3)$$

где  $m$  – вынимаемая мощность угольного пласта;  $\alpha$  – угол падения пласта;  $n'_1 = 0,9(D_1/H - 0,35)$ , но не более 1.

График этой зависимости показан на рис. 3.11. Здесь же отображен график зависимости  $\eta_{m1}/\eta_m$  от  $D_1/H$ , полученный нами для условий Западного Донбасса.



*Рис. 3.11. Графики зависимости максимального оседания от размера очистной выработки*

Формула (3.3) по своей структуре не отличается от закономерности, установленной С.П. Колбенковым [4] и положенной в основу определения максимальных оседаний по методике [7]. Согласно "Правилам..." [7] величина максимального оседания определяется из выражения

$$\eta_m = q_0 m \cdot \cos \alpha \cdot N_1 N_2, \quad (3.4)$$

где  $q_0$  – относительная величина максимального оседания (для

условий Западного Донбасса  $q_0 = 0,85$ );  $N_1$  и  $N_2$  – коэффициенты, характеризующие степень подработанности земной поверхности и определяемые в зависимости от отношения  $D_p/H$

$$\frac{D_p}{H} = \frac{D}{H} + \frac{\Delta D_n}{H} + \frac{\Delta D_e}{H} \geq 0, \quad (3.5)$$

где  $D$  – размер очистной выработки;  $\Delta D$  – поправка, определяемая по "Правилам..." [7].

Если проанализировать выражения (3.4) и (3.5), то становится очевидным, что исследуемое соотношение  $\eta_{mt}/\eta_m$  является ни чем иным, как коэффициентом  $N_2$ , характеризующим степень подработанности земной поверхности по направлению подвигания очистного забоя, т.е. по простиранию пласта.

В соответствии с данными "Правил..." [7] и нормативной методикой расчета ожидаемых сдвижений и деформаций земной поверхности значения коэффициента  $N_2$ , а, следовательно, и отношения  $\eta_{mt}/\eta_m$  для условий анализируемых наблюдательных станций Западного Донбасса принимают значения, приведенные в табл. 3.7.

Таблица 3.7

Зависимость отношения  $\eta_{mt}/\eta_m$  от относительного размера выработки для условий Западного Донбасса (по данным [7])

$\eta_{mt}/\eta_m$	0,30	0,43	0,52	0,60	0,67	0,74	0,80	0,85	0,90	0,94	0,98	1,00
$D_t/H$	0,28	0,38	0,48	0,58	0,68	0,78	0,88	0,98	1,08	1,18	1,28	1,38

График зависимости, приведенной в табл. 3.7, показан на рис. 3.11. На первый взгляд может показаться нелогичным сопоставление графиков на рис. 3.11, т.к. график для условий Западного Донбасса построен по данным о развитии процесса сдвижения во времени, а два других – для условий закончившегося процесса сдвижения. Но как показано в [67] максимальные оседания земной поверхности в Западном Донбассе в динамической мульде и при закончившемся процессе сдвижения отличаются не более чем на 5%.

Анализ кривых на рис. 3.11 показывает, что ни зависимость, полученная из натуральных наблюдений в Донбассе, ни нормативные

значения максимальных оседаний не соответствуют закономерностям изменения  $\eta_{mt}$  в условиях Западного Донбасса. Это, в свою очередь, служит источником ошибок прогнозирования влияния горных разработок на земную поверхность, т.к. величина максимального оседания является определяющей в методике расчета ожидаемых сдвижений и деформаций поверхности [7].

Графики зависимостей  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$  (рис. 3.7) и  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  (рис. 3.10) имеют особенность – у них общая ось абсцисс. Это позволяет свести их воедино, как показано на рис. 3.12.

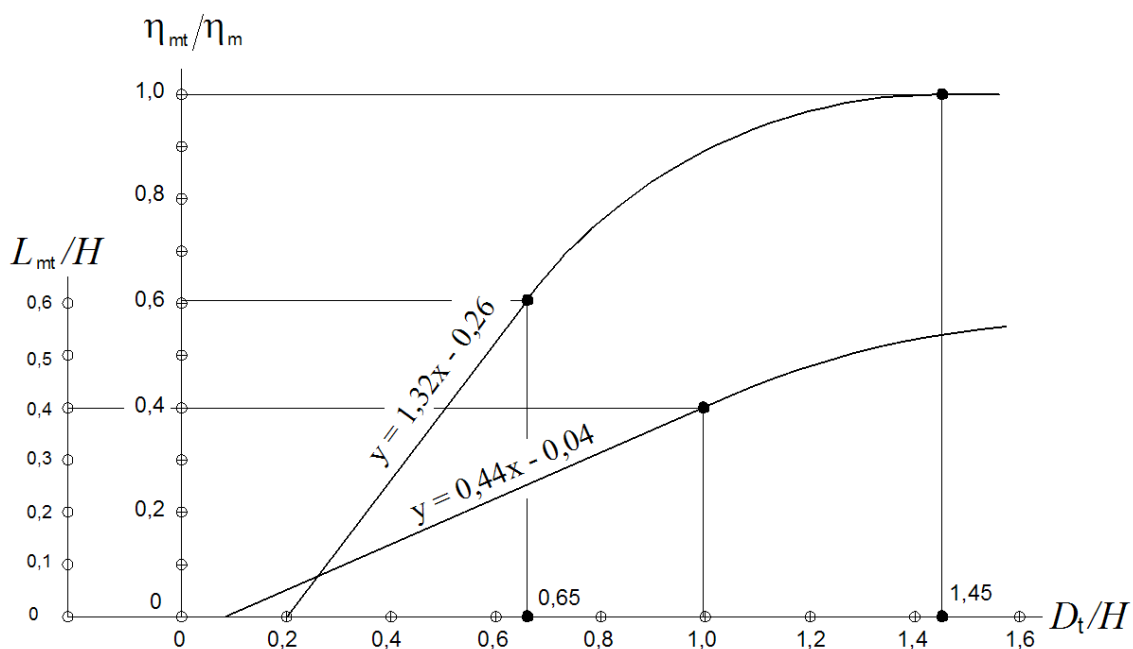
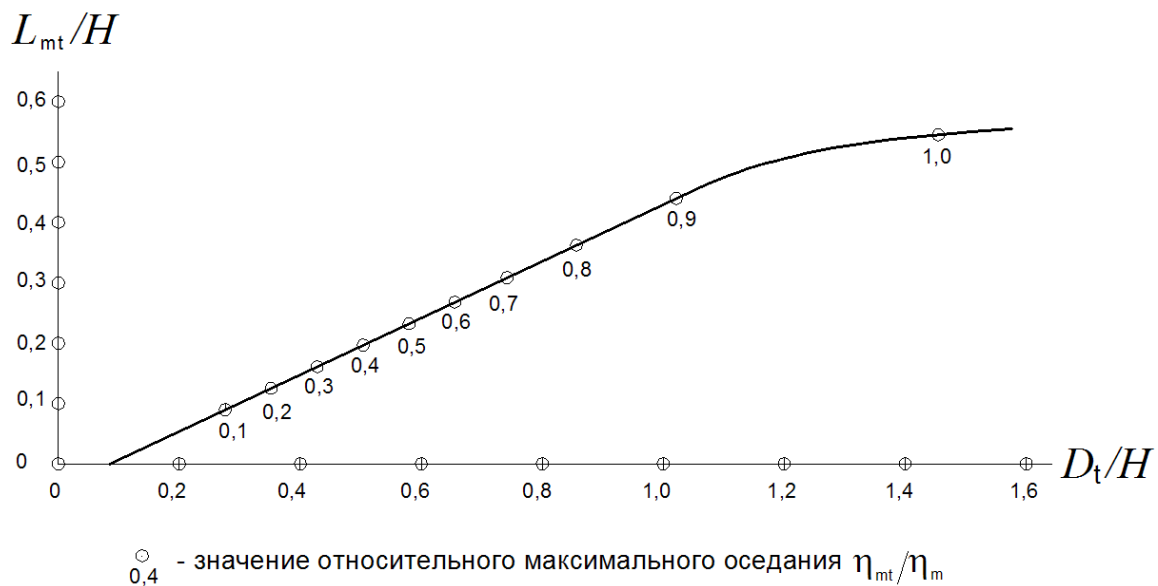


Рис. 3.12. Совмещенный график зависимостей  $L_{mt}/H$  и  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$

Если спроецировать значения величин относительных максимальных оседаний (кратные  $0,1 \eta_{mt}/\eta_m$ ) с графика зависимости  $\eta_{mt}/\eta_m$  от  $D_t/H$  на график зависимости  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$  и на кривой  $L_{mt}/H$  обозначить их положение и величины, то получится график, который отображает общие закономерности изменения максимальных оседаний в формирующейся мульде для условий Западного Донбасса (рис. 3.13).



*Рис. 3.13. График изменения относительных максимальных оседаний в мульде сдвижения на стадии ее формирования*

## ВЫВОДЫ

Исследования сдвижения земной поверхности над горными разработками шахт Западного Донбасса ведутся с начала освоения месторождения. Этими исследованиями занимается кафедра маркшейдерии НГУ. Всего за время изучения закономерностей влияния очистных работ на земную поверхность кафедрой были заложены 34 типовые наблюдательные станции, на которых выполнено около 500 серий инструментальных наблюдений.

Из общего числа наблюдательных станций условиям исследования закономерностей процесса сдвижения земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения соответствуют 8 наблюдательных станций, условия подработки которых изменяются в довольно широких пределах, характеризующих общие условия отработки угольных пластов шахтами Западного Донбасса.

Для исследования закономерностей процесса сдвижения земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения разработана новая методика анализа результатов натуральных инструментальных маркшейдерских наблюдений, которая позволила установить закономерности изменения максимальных оседаний в мульде.



Исследования закономерностей расположения максимальных оседаний в мульде сдвижения в стадии ее формирования в условиях Западного Донбасса показали, что положение точек, имеющих максимальное оседание, зависит от текущего размера очистной выработки. Эта зависимость с погрешностью  $\pm 5\%$  описывается линейной функцией.

Учитывая реально достижимую точность маркшейдерских инструментальных измерений на наблюдательных станциях можно полагать, что процесс сдвижения начинается в точке земной поверхности, которая отстоит от проекции разрезной печи на расстоянии около  $0,05H$  со стороны выработанного пространства. При этом очистная выработка достигает размера, равного  $0,2H$ .

Установлено, что расстояние от проекции разрезной печи до текущего положения максимального оседания в мульде сдвижения пропорционально текущему размеру очистной выработки и не зависит от соотношения мощностей наносов и коренных пород.

Исследования закономерностей изменения максимальных оседаний в мульде сдвижения в стадии ее формирования в условиях Западного Донбасса показали, что они так же зависят от текущего размера очистной выработки. Эта зависимость с погрешностью  $\pm 5\%$  описывается функцией, заданной в табличном виде.

Эта зависимость подчиняется вполне определенным геометрическим закономерностям, которые выражаются в аналитическом виде. Расчеты максимальных оседаний по установленной аналитической зависимости дают погрешности, не превышающие  $2\%$  от максимального оседания в мульде.

Установлены общие закономерности изменения максимальных оседаний в формирующейся мульде для условий Западного Донбасса, которые представлены в виде графика.

## 4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛОНОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ

### 4.1. Исследование положительных наклонов земной поверхности в мульде сдвига

Значения максимальных деформаций земной поверхности (наклоны, кривизна, растяжения-сжатия) во многом определяют методику разработки расчетных способов прогноза влияния подземной разработки угольных пластов на земную поверхность. Этот факт объясняет довольно пристальное внимание исследователей к экстремальным значениям деформаций в мульде сдвига [81-83]. Другая важная особенность – высокая точность определения положения точек поверхности с максимальными значениями деформаций. В совокупности эти данные дают наглядное представление о распределении сдвигов и деформаций земной поверхности над очистными выработками.

При всем многообразии исследований, выполнявшихся практически на всех угольных месторождениях, однозначного описания величин и положения максимальных деформаций в мульде нет. Такое положение объясняется разнообразием условий, в которых проводились исследования, и большим числом влияющих факторов.

Для анализа максимальных положительных наклонов земной поверхности построены графики наклонов по результатам натуральных инструментальных наблюдений. Особенность этих графиков состоит в том, что на один и тот же график наносятся кривые наклонов интервалов профильных линий по всем имеющимся наблюдениям с обязательным фиксированием положения разрезной печи и положений очистного забоя на даты наблюдений (см. рис. 3.1-3.3).

На графиках для каждой кривой наклонов (рис. 4.1) фиксируется точка середины интервала, имеющего наибольшее значение наклона  $i_{+mt}$  и соответствующее ей положение очистного забоя лавы. Положение забоя определяется расстоянием  $D_t$  от разрезной печи до забоя на дату наблюдения  $t$ . Кроме этого, на разрезе замеряется горизонтальное расстояние  $L_{+mt}$  от забоя до точки с максимальным положительным наклоном.

Таким образом, для каждой из наблюдательных станций

формируется база данных, состоящая из  $n$ -го числа пар расстояний  $D_t$ ,  $L_{+mt}$  и величин  $i_{+mt}$ , где  $n$  – количество анализируемых серий инструментальных наблюдений на станции.

Для приведения полученных экспериментальных данных к сопоставимому виду нами выполнено приведение линейных параметров всех графиков наклонов земной поверхности и, соответственно, параметров  $D_t$  и  $L_{+mt}$  к единичному виду. Для этого длины интервалов между реперами профильных линий, величины подвигания очистных забоев, горизонтальные расстояния от разрезной печи до точек с максимальными наклонами и вертикальные размеры геологических разрезов были разделены на соответствующую величину глубины отработки угольного пласта  $H$ .

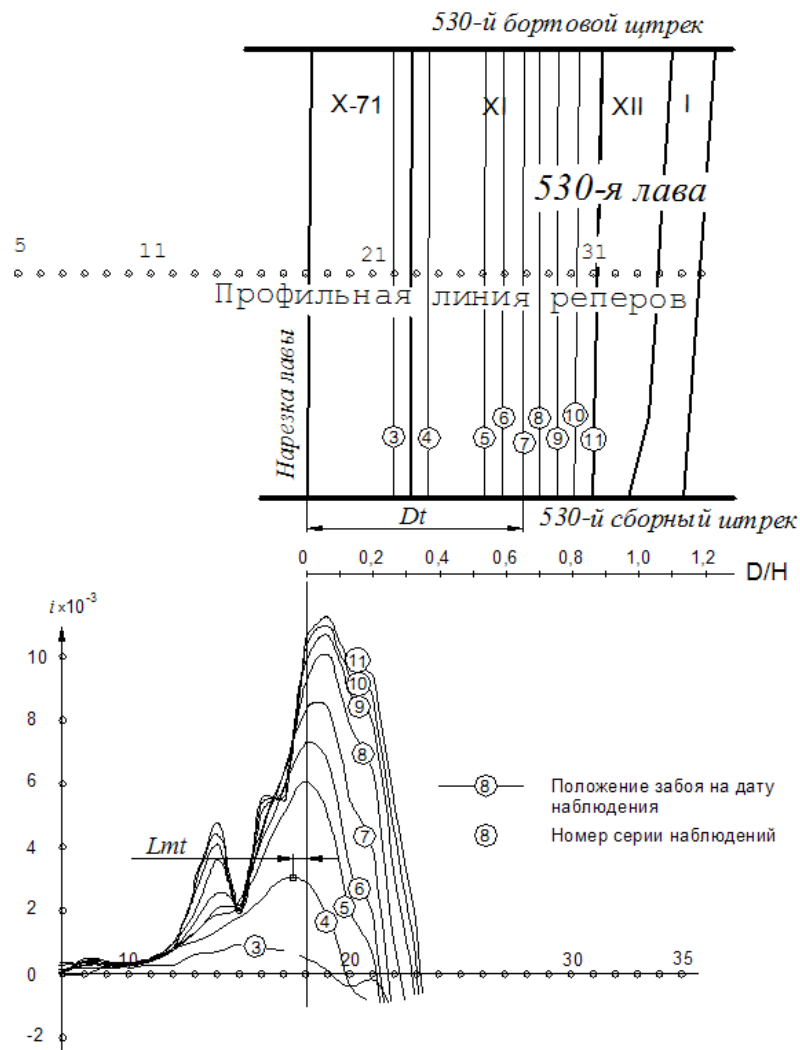


Рис. 4.1. План и графики наклонов интервалов профильной линии

Наклоны земной поверхности по данным натуральных инструментальных наблюдений определяются по формуле

$$i = \frac{\eta_n - \eta_{n-1}}{l}, \quad (4.1)$$

где  $\eta_n$ ,  $\eta_{n-1}$  - величины оседаний соответственно переднего и заднего концов интервала, мм;

$l$  – длина интервала между реперами из первого наблюдения, мм.

Очевидно, что для приведения к единичному виду самих графиков наклонов следует учитывать разницу в максимальных оседаниях  $\eta_m$  земной поверхности над очистными выработками и тот факт, что линейные размеры сечений по профильным линиям и, соответственно, графиков разделены на величину глубины  $H$ .

В соответствии с формулой (4.1) деление линейного параметра  $l$  на  $H$  приведет к увеличению значений наклонов на трансформированном графике пропорционально глубине. В то же время единичный вид графиков по отношению к максимальному оседанию поверхности достигается делением величин  $\eta_n$  и  $\eta_{n-1}$  на  $\eta_m$ . Таким образом, выражение (4.1) для преобразованных графиков примет вид

$$i' = \frac{H(\eta_n - \eta_{n-1})}{\eta_m l}. \quad (4.2)$$

Параметры  $D_t/H$ ,  $L_{+mt}/H$  и  $i'_{+mt}$ , полученные в результате приведения графиков наклонов к единичному виду по описанной выше методике, сведены в табл. 4.1, а их распределения показаны на рис. 4.2.

Распределение  $L_{+mt}/H$  от  $D_t/H$  (рис. 4.2, а) указывает, что при  $D_t/H < 0,5$  точка максимального наклона находится за границами проекции очистной выработки на земную поверхность, а при значениях  $D_t/H$  близких к величине 0,8 зависимость  $L_{+mt}/H$  от  $D_t/H$  принимает выраженный прямолинейный характер, положение точки максимального положительного наклона стабилизируется ( $L_{+mt}/H = 0,07$ ) и остается неизменным при дальнейшем увеличении выработанного пространства.

Из графика на рис. 4.2, б следует, что изменение наклонов земной поверхности начинает реально (в пределах точности маркшейдерских инструментальных измерений) проявляться при отношении размера очистной выработки к глубине, равном 0,2.

Таблица 4.1

Приведенные значения  $D_t/H$ ,  $L_{+mt}/H$  и  $i'_{+mt}$  по наблюдательным станциям

Станция 10			Станция 9			Станция 8		
$D_t/H$	$L_{+mt}/H$	$i'_{+mt} \times 10^{-1}$	$D_t/H$	$L_{+mt}/H$	$i'_{+mt} \times 10^{-1}$	$D_t/H$	$L_{+mt}/H$	$i'_{+mt} \times 10^{-1}$
0.3	-0.19	1.5	0.2	-0.17	1.5	0.2	-0.22	0.6
0.4	-0.05	5.0	0.3	-0.07	2.6	0.3	-0.12	1.1
0.5	0.00	10.1	0.4	-0.10	3.8	0.3	-0.02	1.4
0.6	0.01	12.2	0.5	-0.02	6.2	0.3	-0.03	2.3
0.7	0.03	14.3	0.5	0.00	10.0	0.4	0.01	4.6
0.7	0.05	16.8	0.6	0.01	13.2	0.5	0.01	6.8
0.8	0.05	17.8	0.7	0.05	15.0	0.5	0.06	10.1
0.8	0.05	18.2	0.7	0.05	16.6	0.6	0.05	14.5
0.9	0.05	18.7	0.8	0.05	17.0	0.7	0.06	16.8
						1.0	0.07	18.9
Станция 1			Станция 12			Станция 13		
$D_t/H$	$L_{+mt}/H$	$i'_{+mt} \times 10^{-1}$	$D_t/H$	$L_{+mt}/H$	$i'_{+mt} \times 10^{-1}$	$D_t/H$	$L_{+mt}/H$	$i'_{+mt} \times 10^{-1}$
0.3	-0.05	5.9	0.2	-0.20	1.9	0.2	-0.12	1.7
0.7	0.05	17.7	0.3	-0.19	2.2	0.4	0.02	7.4
0.9	0.06	19.0	0.4	-0.02	5.3	0.6	0.05	14.3
1.0	0.07	19.5	0.4	-0.01	9.8	0.7	0.07	18.3
1.3	0.07	20.3	0.5	-0.01	12.7	0.9	0.07	19.1
			0.6	-0.01	15.4	1.2	0.07	19.4
			0.7	0.03	17.0	1.5	0.07	19.9
			0.8	0.05	18.8			
			0.9	0.06	19.6			

В результате соответствующего математического анализа распределения величин  $L_{+mt}/H$  и  $i'_{+mt}$  от  $D_t/H$  и их совместной обработки получен результирующий график, характеризующий положение и величины максимальных положительных наклонов земной поверхности над движущимся очистным забоем на стадии

формирования мульды сдвижения (рис. 4.3).

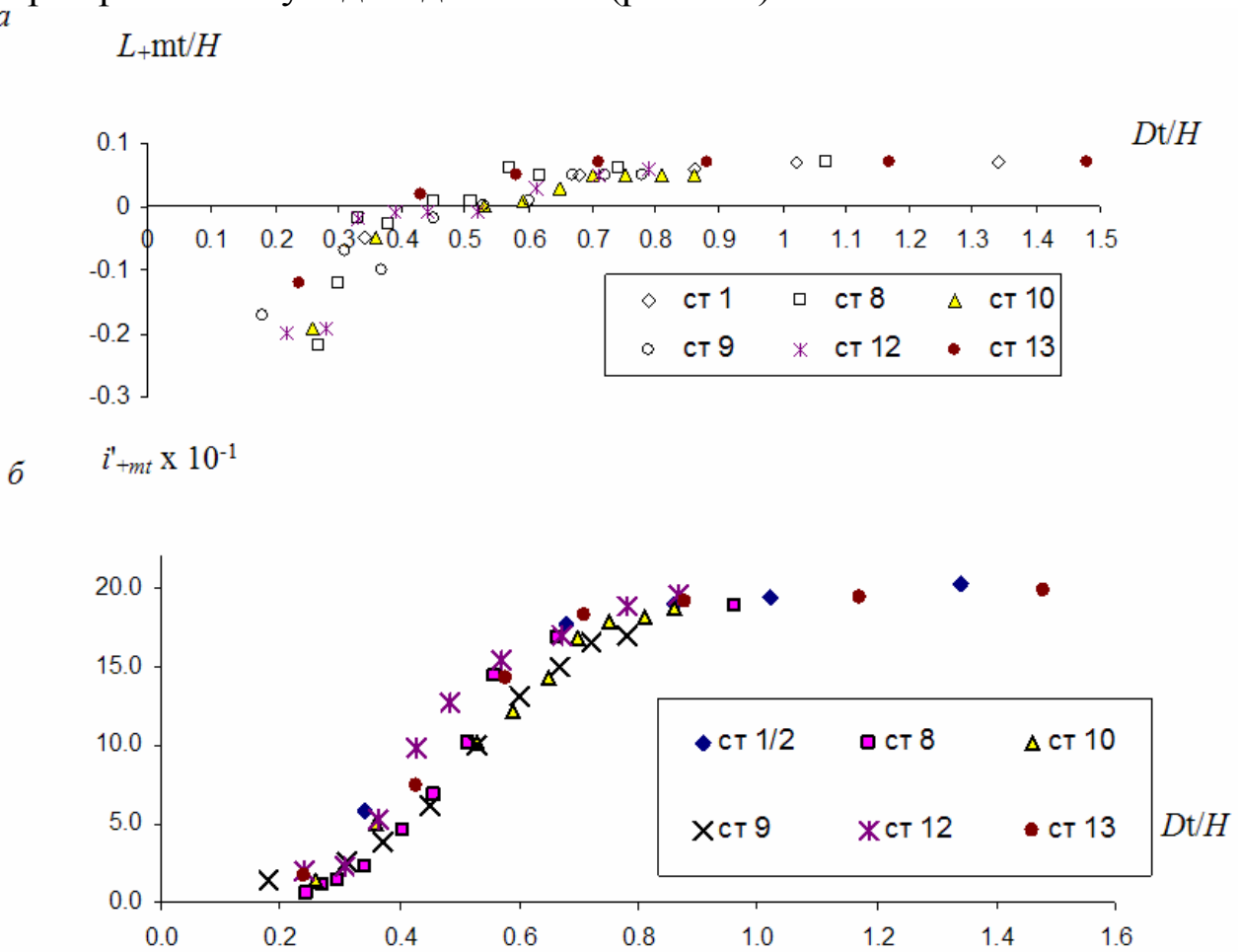


Рис. 4.2. Распределение  $L_{+mt}/H$  от  $Dv/H$  (а) и  $i'_{+mt}$  от  $Dv/H$  (б) по наблюдательным станциям

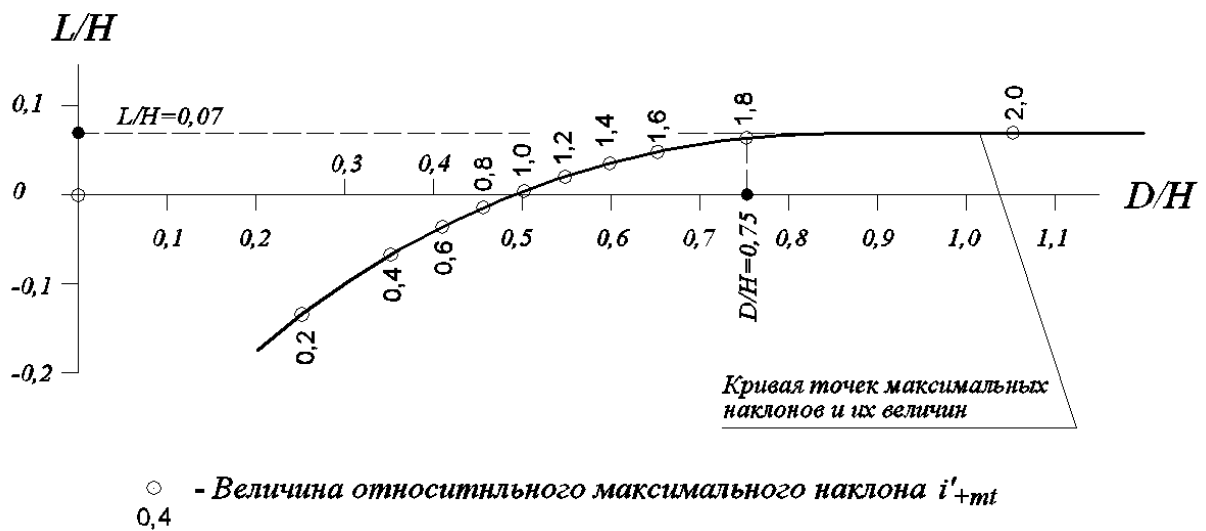


Рис. 4.3. Сводный график расположения и величин максимальных

*положительных наклонов  $i'_{+mt}$  в мульде на стадии формирования*

На интервале изменения  $D_t/H$  от 0,2 до 0,8 происходит интенсивный рост максимальных наклонов по закону, близкому к линейному (величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,94$ )

$$i'_{mt} = 1,72D_t/H - 0,36,$$

и начиная от  $D_t/H=0,8$  величина  $i'_{+mt}$  стремится к своему максимуму, равному 2.

Анализ результирующего графика, характеризующего развитие положительных наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения, показывает, что при отношении размера выработанного пространства (по направлению движения очистного забоя)  $D_t/H < 0,5$  точка максимального наклона (она же – точка перегиба кривой оседания) располагается за пределами проекции очистной выработки. При  $D_t/H = 0,5$  положение максимума наклонов совпадает с проекцией разрезной печи.

По мере увеличения размеров очистной выработки точка максимума наклонов перемещается в сторону забоя, а величины наклонов продолжают увеличиваться. При  $D_t/H = 0,75$  положение точки максимума стабилизируется и она останавливается на расстоянии  $0,07 L/H$  от разрезной печи. При этом максимальный наклон составляет 90% от предельного значения. Своего предельного значения, равного 2, относительный максимальный наклон достигает при отношении размера выработки к глубине 1,05.

С учетом выражения (4.2) и графика, приведенного на рис. 4.3, величина текущего значения максимального наклона может быть определена по формуле

$$i_{mt} = i'_{mt} \frac{\eta_m}{H},$$

где  $i'_{mt}$  – единичное значение максимального наклона, определяемое из графика на рис. 3;

$\eta_m$  – максимальное оседание в данных условиях подработки земной поверхности.

## 4.2. Исследование переходных точек кривых распределения наклонов земной поверхности в мульде сдвижения

На графиках для каждой кривой наклонов (рис. 4.4) фиксируется точка середины интервала, имеющего нулевое значение наклона и соответствующее ей положение очистного забоя лавы. Положение забоя определяется расстоянием  $D_t$  от разрезной печи до забоя на дату наблюдения  $t$ . Кроме этого, на разрезе замеряется горизонтальное расстояние  $L_{0t}$  от забоя до точки с нулевым наклоном.

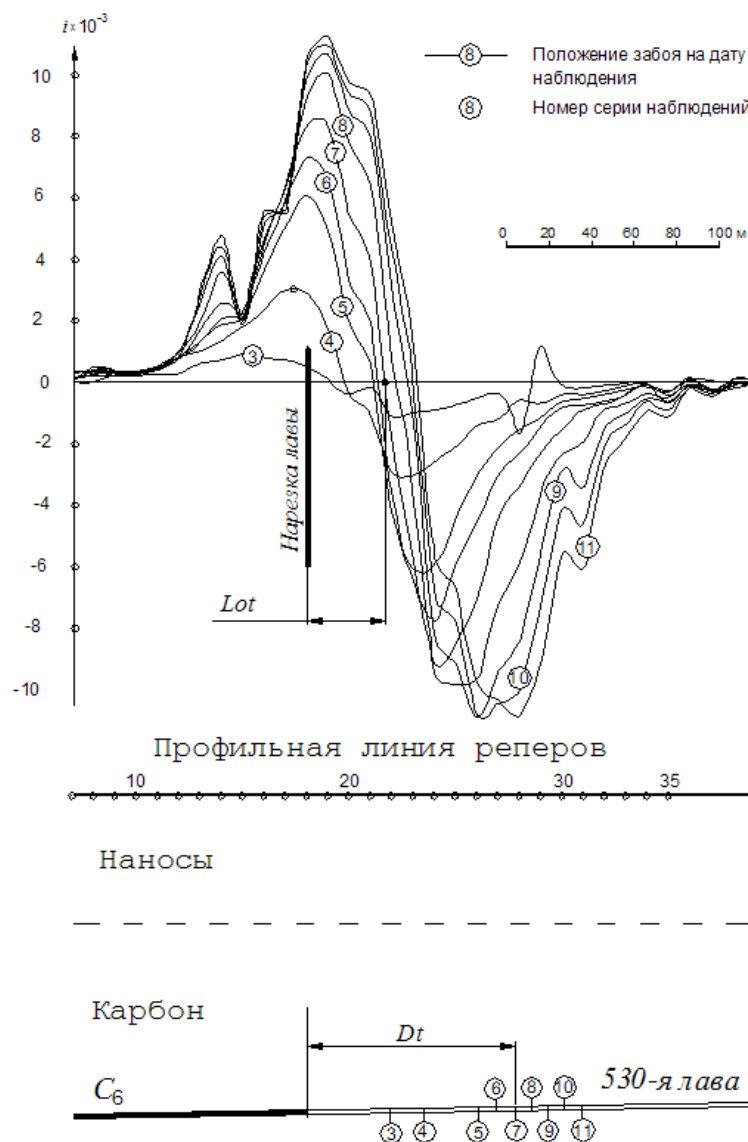


Рис. 4.4. Разрез по профильной линии и графики наклонов интервалов наблюдательной станции №10



Таким образом, для каждой из наблюдательных станций формируется база данных, состоящая из  $n$ -го числа пар расстояний  $D_t$ ,  $L_{0t}$ , где  $n$  – количество анализируемых серий инструментальных наблюдений на станции. Экспериментальные данные, составляющие эту базу данных были адаптированы к условиям подработки земной поверхности по методике, изложенной в предыдущем параграфе.

Параметры  $D_t/H$ ,  $L_{0t}/H$ , полученные в результате приведения графиков к единичному виду, сведены в табл. 4.2, а их распределение показано на рис. 4.5.

Таблица 4.2

Значения  $D_t/H$ ,  $L_{0t}/H$  по наблюдательным станциям

Станция 10		Станция 9		Станция 8		Станция 1		Станция 12		Станция 13	
$D_t/H$	$L_{0t}/H$	$D_t/H$	$L_{0t}/H$	$D_t/H$	$L_{0t}/H$	$D_t/H$	$L_{0t}/H$	$D_t/H$	$L_{0t}/H$	$D_t/H$	$L_{0t}/H$
0.3	0.07	0.2	0.02	0.2	0.03	0.3	0.20	0.2	0.10	0.2	0.13
0.4	0.12	0.3	0.05	0.3	0.07	0.7	0.35	0.3	0.10	0.4	0.18
0.5	0.21	0.4	0.07	0.3	0.13	0.9	0.40	0.4	0.11	0.6	0.26
0.6	0.22	0.5	0.18	0.3	0.18	1.0	0.47	0.4	0.12	0.7	0.37
0.7	0.23	0.5	0.20	0.4	0.19	1.3	0.60	0.5	0.15	0.9	0.40
0.7	0.27	0.6	0.22	0.5	0.20			0.6	0.18	1.2	0.46
0.8	0.31	0.7	0.25	0.5	0.29			0.7	0.23	1.5	0.57
0.8	0.32	0.7	0.27	0.6	0.30			0.8	0.32		
0.9	0.33	0.8	0.30	0.7	0.35			0.9	0.35		
				1.0	0.47						

Распределение  $L_{0t}/H$  от  $D_t/H$  (рис. 4.5) указывает, что точка нулевого наклона независимо от размера очистной выработки находится над выработанным пространством, а зависимость  $L_{0t}/H$  от  $D_t/H$  имеет выраженный прямолинейный характер.

Приведенное на рис. 4.5 распределение подчиняется линейному закону и с достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,94$  описывается уравнением

$$L_{0t} = 0,444D_t - 0,028H. \quad (4.3)$$

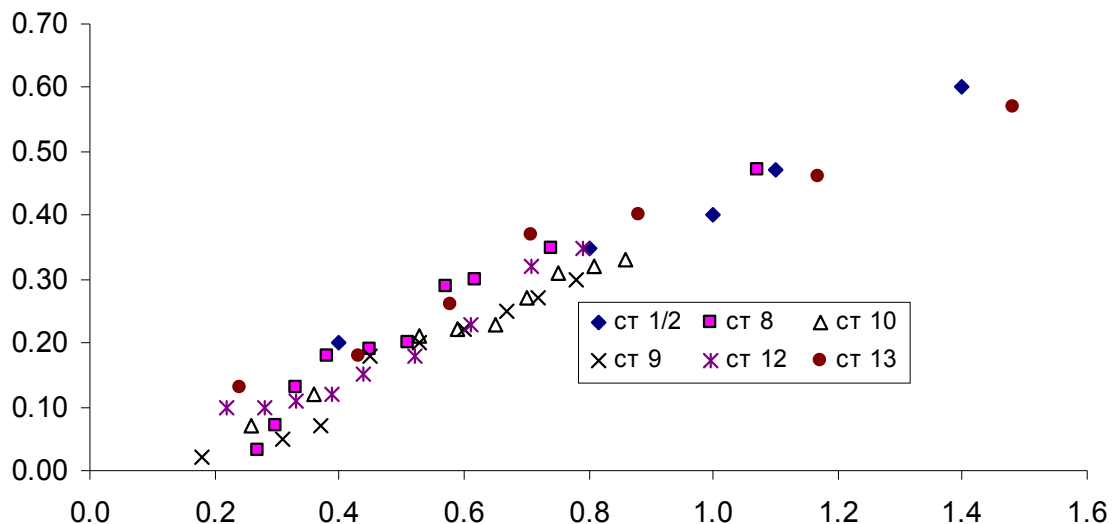


Рис. 4.5. Распределение  $L_{mt}/H$  от  $D_t/H$  по наблюдательным станциям

Среднеквадратические погрешности, которые дают вычисления по выражению (4.3) составляют  $\pm 0,034$  от значения глубины разработки.

Ранее нами были выполнены исследования, касающиеся закономерностей изменения величин и расположения максимальных оседаний в мульде над движущимся очистным забоем. Эти исследования показали, что положение максимального оседания описывается уравнением (3.2).

На рис. 4.6 приведены графики зависимостей положение точек максимального оседания (3.2) и нулевых наклонов (4.3) в мульде над движущимся очистным забоем. Как видно, они практически совпадают, что подтверждает известные закономерности расположения характерных точек кривых сдвижений и деформаций в мульде сдвижения.

#### 4.3. Исследование закономерностей изменения максимальных отрицательных наклонов земной поверхности в формирующейся мульде сдвижения

Для анализа максимальных отрицательных наклонов земной поверхности на графиках рис. А.1-А.8 на каждой кривой наклонов фиксируется точка середины интервала, имеющего максимальное отрицательное значение наклона  $i_{-mt}$  и замеряется горизонтальное расстояние  $L_{-mt}$  от забоя до точки с максимальным отрицательным

наклоном. Положение забоя определяется расстоянием  $D_t$  от разрезной печи до забоя на дату наблюдения  $t$  (рис. 4.7).

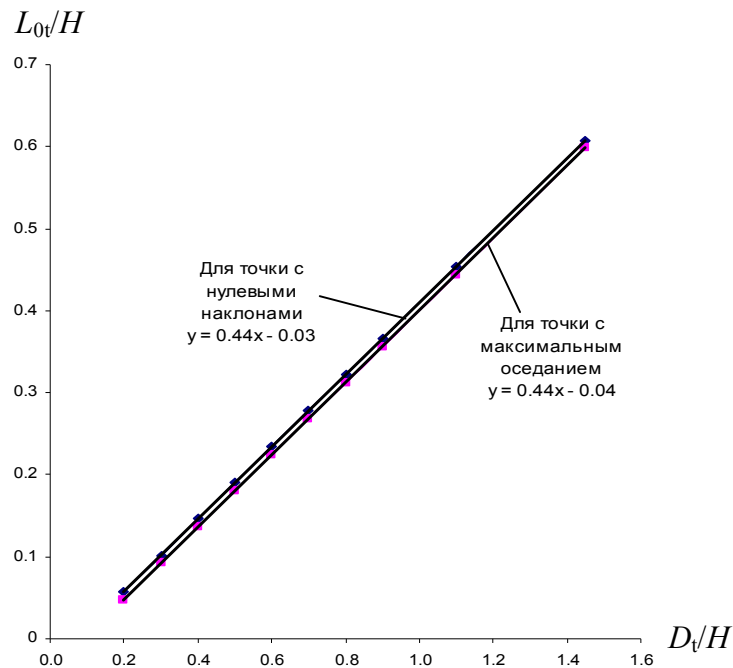


Рис. 4.6. Графики, характеризующие положение точек максимального оседания и нулевых наклонов в мульде над движущимся очистным забоем

После приведения линейных параметров всех графиков наклонов земной поверхности и, соответственно, параметров  $D_t$  и  $L_{-mt}$  к единичному виду и адаптации величин наклонов для каждой из наблюдательных станций была сформирована база данных, состоящая из  $n$ -го числа относительных безразмерных величин  $D_t/H$ ,  $L_{-mt}/H_t$  и относительных наклонов  $i'_{-mt}$ .

Параметры  $D_t/H$ ,  $L_{-mt}/H$  и  $i'_{-mt}$ , полученные в результате приведения графиков к единичному виду, сведены в табл. 4.3, а их распределения показаны на рис. 4.8.

Из рис. 4.8, а видно, что зависимость  $L_{-mt}/H$  от  $D_t/H$  имеет четко выраженный прямолинейный характер. Эта зависимость описывается уравнением

$$L_{-mt}/H = 0,81 D_t/H. \quad (4.4)$$

Среднеквадратическое отклонение отношений  $L_{-mt}/H$ , рассчитанных по (4.4), от величин, приведенных в табл. 4.3, составляет  $\pm 0,054$ .

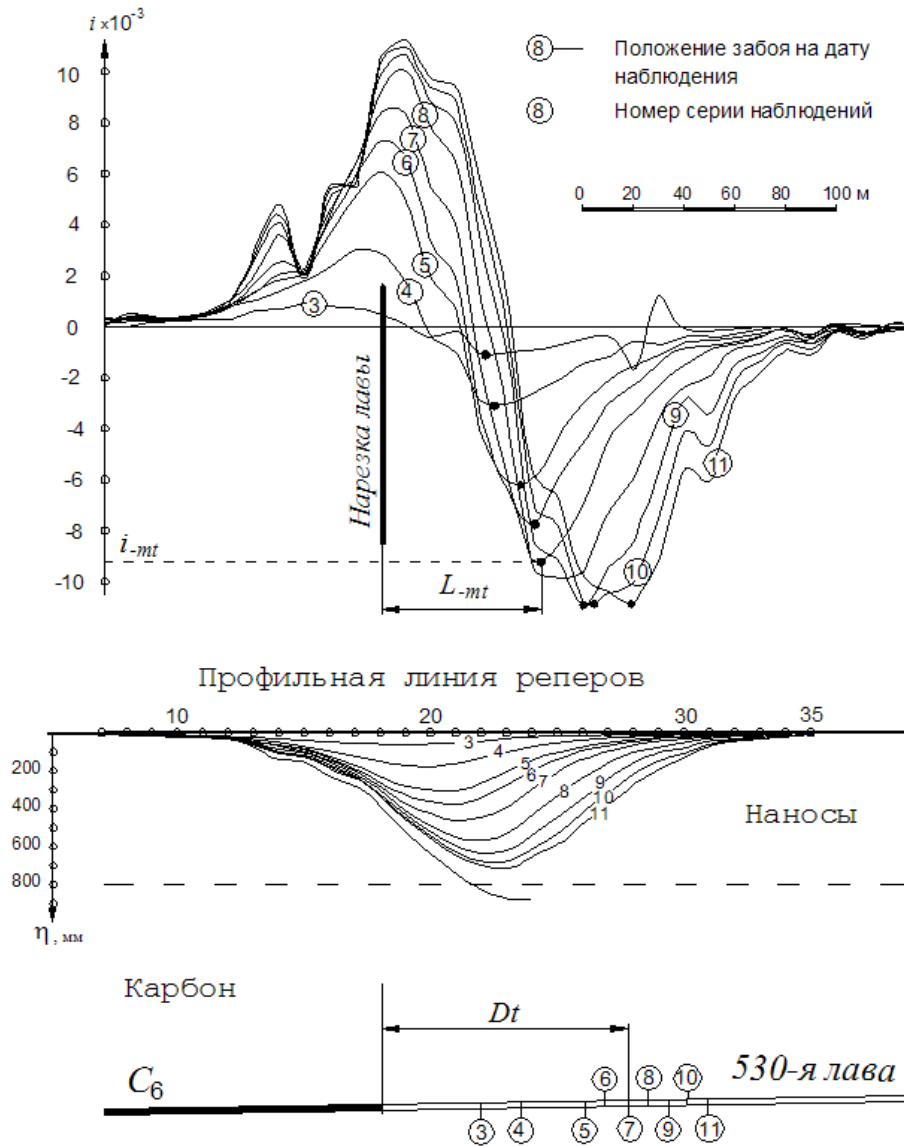


Рис. 4.7. Схема фиксации максимальных отрицательных наклонов интервалов профильной линии

Таблица 4.3

Приведенные значения  $D_t/H$ ,  $L_{-mt}/H$  и  $i'_{-mt}$

Станция 10			Станция 9			Станция 8		
$D_t/H$	$L_{-mt}/H$	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$	$D_t/H$	$L_{-mt}/H$	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$	$D_t/H$	$L_{-mt}/H$	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$
0.3	0.27	1.9	0.2	0.37	1.8	0.2	0.27	0.8
0.4	0.29	5.1	0.3	0.32	3.2	0.3	0.38	1.6
0.5	0.37	10.3	0.4	0.32	4.5	0.3	0.39	2.2
0.6	0.40	12.8	0.5	0.39	7.1	0.3	0.32	3.1

Продолжение табл. 4.3

Станция 10			Станция 9			Станция 8		
0.7	0.41	15.3	0.5	0.42	10.7	0.4	0.44	5.4
0.7	0.47	16.4	0.6	0.47	14.4	0.5	0.43	7.1
0.8	0.52	18.2	0.7	0.50	16.6	0.5	0.51	10.7
0.8	0.55	18.2	0.7	0.55	17.0	0.6	0.57	13.5
0.9	0.65	18.1	0.8	0.60	18.4	0.7	0.64	16.3
						1.0	0.95	19.8
Станция 1			Станция 12			Станция 13		
$D_t$ /H	$L_{-mt}$ /H	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$	$D_t$ /H	$L_{-mt}$ /H	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$	$D_t$ /H	$L_{-mt}$ /H	$i'_{-mt} \times 10^{-1}$
0.3	0.48	5.6	0.2	0.22	2.9	0.2	0.35	1.5
0.7	0.66	15.0	0.3	0.22	3.0	0.4	0.40	8.2
0.9	0.78		0.4	0.23	6.1	0.6	0.47	15.1
1.0	0.85		0.4	0.38	9.4	0.7	0.67	18.7
1.3			0.5	0.39	13.4	0.9	0.77	19.2
			0.6	0.40	18.4	1.2	0.93	19.7
			0.7	0.42	19.2	1.5	1.37	20.0
			0.8	0.57	18.8			
			0.9	0.72	18.8			

Из графика на рис. 4.8, б следует, что изменение величин наклонов земной поверхности начинает реально (в пределах точности маркшейдерских инструментальных измерений) проявляться при отношении размера очистной выработки к глубине, равном 0,2. На интервале изменения  $D_t / H$  от 0,2 до 0,8 происходит интенсивный рост максимальных наклонов по закону, близкому к линейному (величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,95$ )

$$i'_{-mt} = 35D_t/H - 7,3$$

и начиная от  $D_t / H = 0,8$  величина  $i'_{-mt}$  стремится к своему максимальному значению, равному 20.

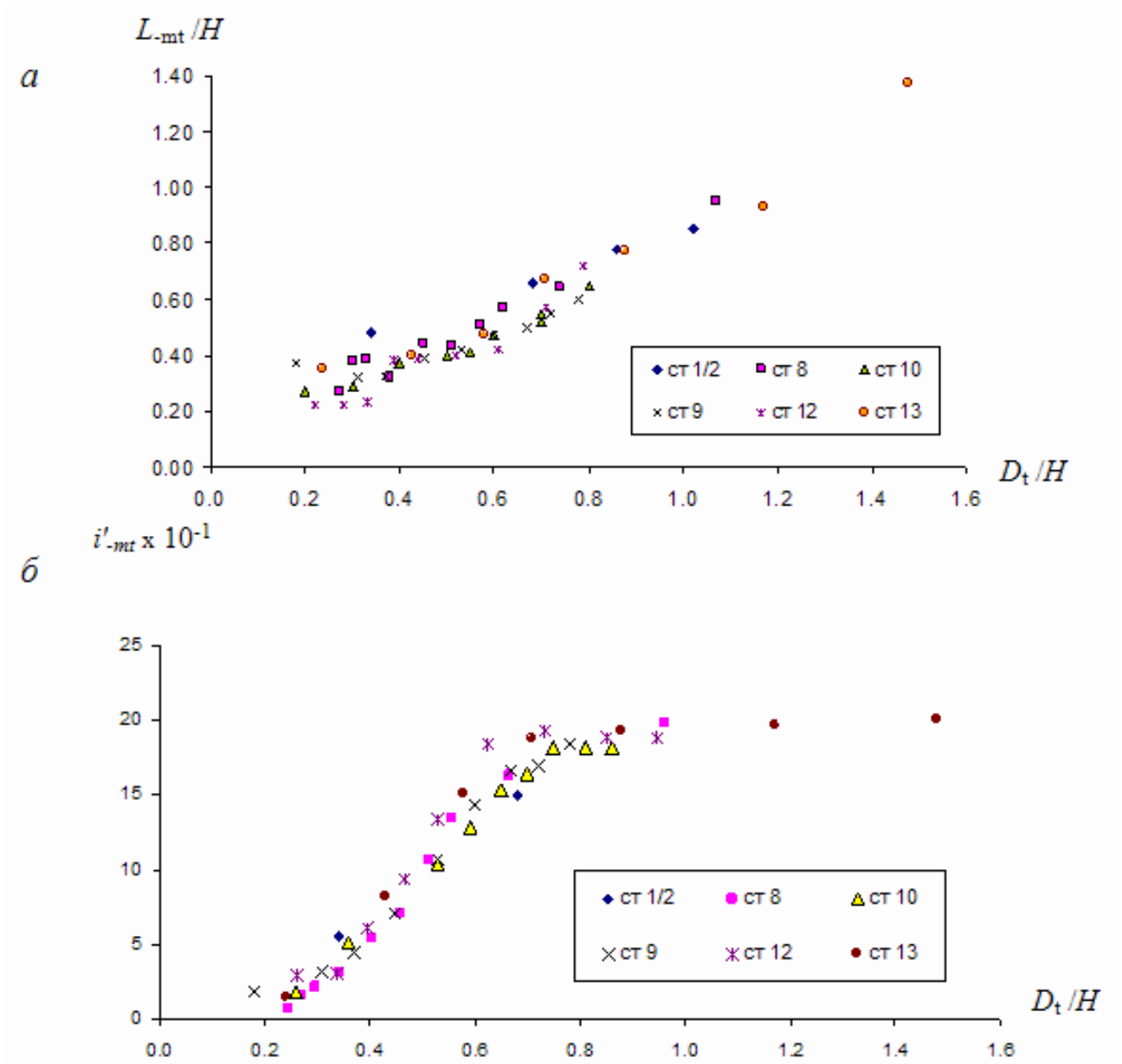


Рис. 4.8. Распределение  $L_{-mt}/H$  от  $D_t/H$  (а) и  $i'_{-mt}$  от  $D_t/H$  (б) по наблюдательным станциям

В результате соответствующего математического анализа распределения величин  $L_{-mt}/H$  и  $i'_{-mt}$  от  $D_t/H$  и их совместной обработки получен результирующий график, характеризующий положение и величины максимальных отрицательных наклонов земной поверхности над движущимся очистным забоем на стадии формирования мульды сдвижения (рис. 4.9).

С учетом выражения (4.2) и графика, приведенного на рис. 4.9, величина текущего значения максимального отрицательного наклона

$i_{-mt}$  в мульде над движущимся очистным забоем может быть определена по формуле

$$i_{-mt} = i'_{-mt} \frac{\eta_m}{H},$$

где  $i'_{-mt}$  – единичное значение максимального наклона, определяемое из графика на рис. 4.9;  $\eta_m$  – максимальное оседание в данных условиях подработки земной поверхности.

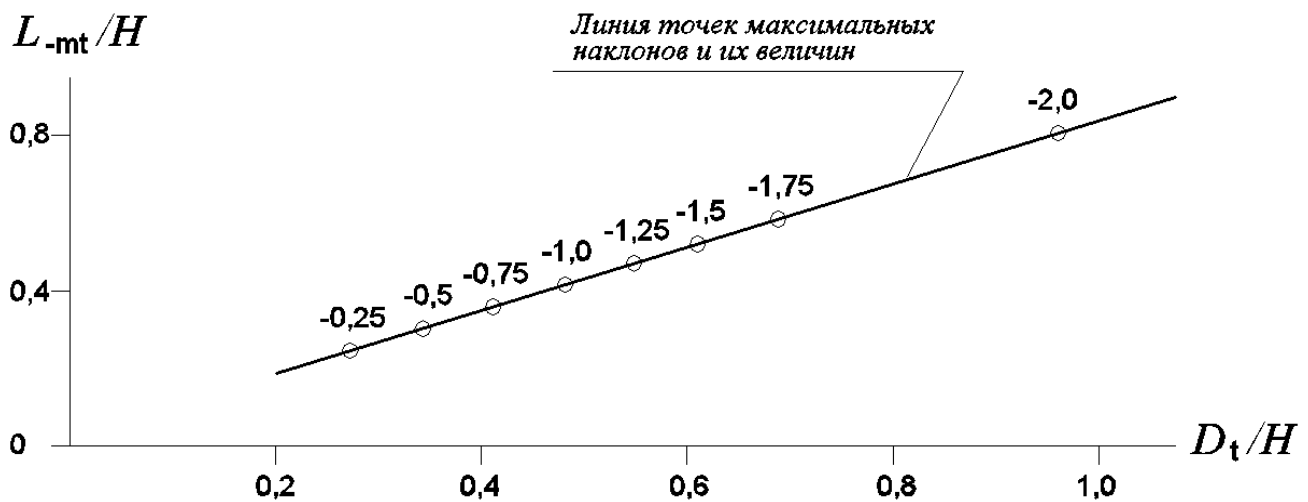


Рис. 4.9. Сводный график расположения и величин максимальных отрицательных наклонов  $i'_{-mt}$  в мульде на стадии ее формирования

4.4. Общие закономерности изменения максимальных наклонов земной поверхности в формирующейся мульде сдвижения

Максимальные положительные и отрицательные наклоны земной поверхности в формирующейся мульде сдвижения, как и точки перехода от положительных наклонов к отрицательным, являются характеристиками единого процесса. Поэтому имеет смысл рассмотреть их изменение во времени и пространстве в комплексе.

Для начала мы свели воедино данные о величинах  $i'_{+mt}$  и  $i'_{-mt}$  из табл. 4.1 и 4.3 и отобразили их на одном графике (рис. 4.10).

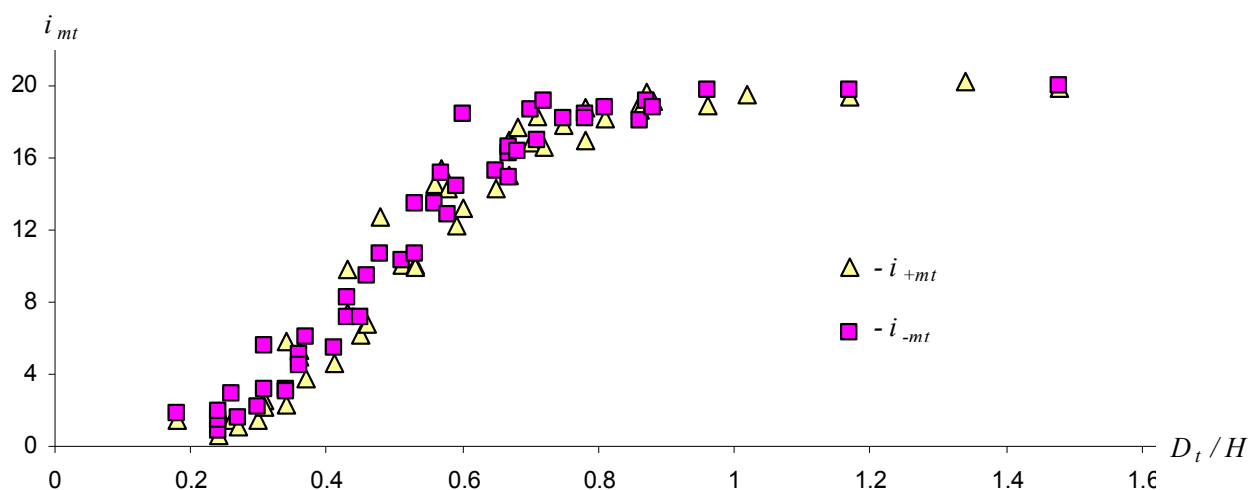


Рис. 4.10. Распределение  $i'_{mt}$ ,  $i'_{-mt}$  от  $D_t/H$

В результате оказалось, что положительные и отрицательные наклоны земной поверхности практически адекватны для и одинаково зависят от величины подвигания очистного забоя.

Оба распределения свидетельствуют о том, что изменение наклонов земной поверхности начинает реально проявляться (в пределах точности маркшейдерских инструментальных измерений) при отношении размера очистной выработки к глубине, равном 0,2. На интервале изменения  $D_t/H$  от 0,2 до 0,8 происходит интенсивный рост максимальных наклонов (как положительных, так и отрицательных) по закону, близкому к линейному. С достоверностью аппроксимации  $R^2 = 0,94$  распределения  $i'_{mt}$  и  $i'_{-mt}$  от  $D_t/H$  описывается одним выражением

$$i'_{mt} = i'_{-mt} = 1,75D_t/H - 0,36,$$

и начиная от  $D_t/H = 0,8$  величины  $i'_{mt}$  и  $i'_{-mt}$  стремятся к своим предельным значениям, равным соответственно 2 и -2.

Если учесть выражение (4.2), то можно утверждать, что в мульде сдвижения в условиях Западного Донбасса максимально возможное значение наклона земной поверхности может достигнуть величины  $\pm 2\eta_m/H$ .

На основании установленных нами распределений, показанных на рисунках 4.3, 4.6, 4.9 построен результирующий график, характеризующий положение и величины максимальных



(положительных и отрицательных) наклонов, так же точки перегиба кривой наклонов земной поверхности над движущимся очистным забоем на стадии формирования мульды сдвижения (рис. 4.11). Здесь же показано распределение относительных максимальных оседаний.

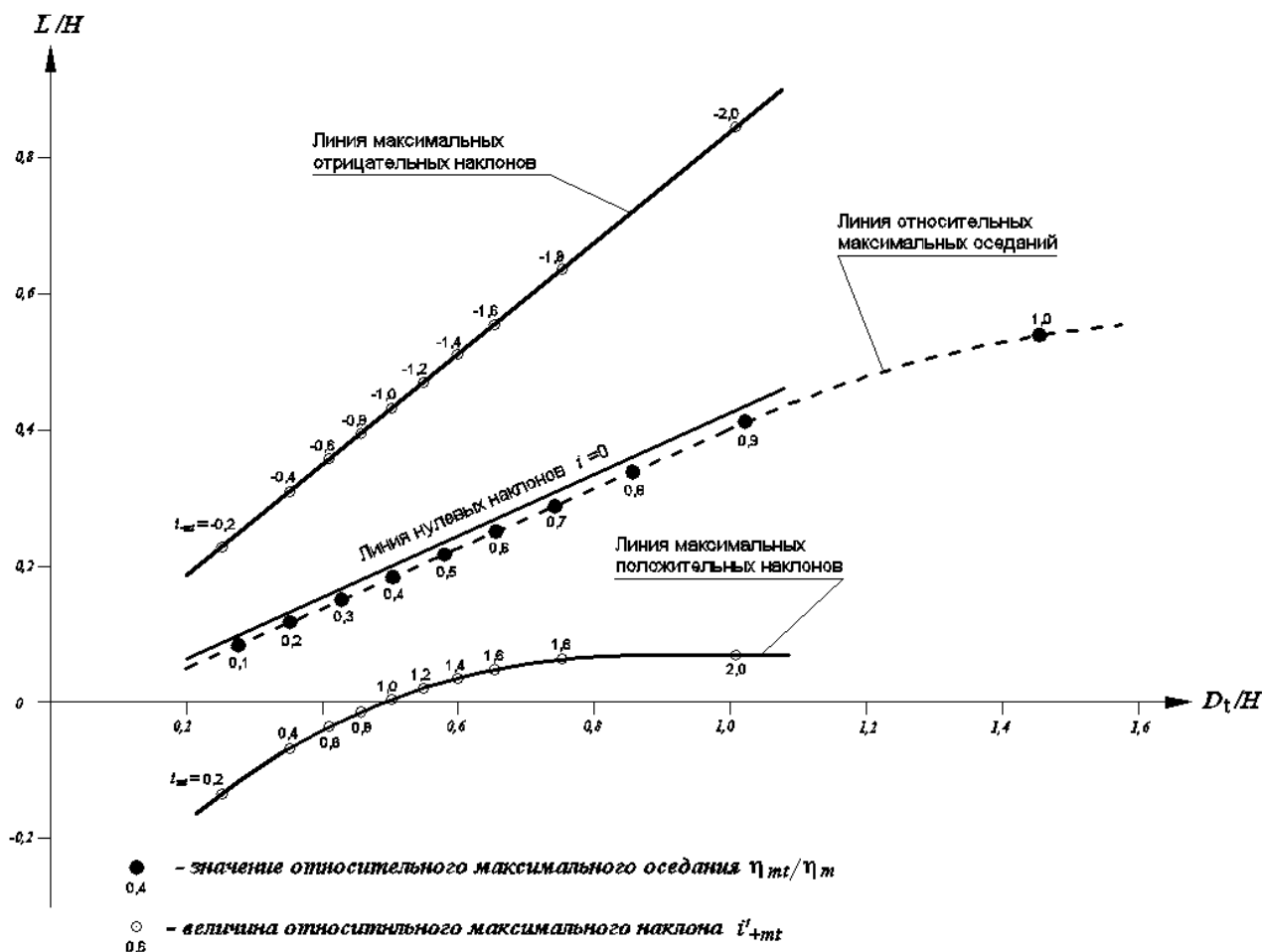


Рис. 4.11. Сводный график распределения максимальных наклонов и относительных оседаний

Анализ сводного графика, характеризующего развитие максимальных наклонов и оседаний земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения, показывает, что при отношении размера выработанного пространства (по направлению движения очистного забоя)  $D_t/H < 0,5$  точка максимального положительного наклона (она же – точка перегиба кривой оседания) располагается за пределами проекции очистной выработки. При  $D_t/H = 0,5$  положение максимума положительных наклонов совпадает с проекцией разрезной печи.

По мере увеличения размеров очистной выработки точка максимума положительных наклонов перемещается в сторону забоя, а величины наклонов продолжают увеличиваться. При  $D_t/H=0,75$  положение точки положительного максимума стабилизируется и она останавливается на расстоянии  $0,07 L/H$  от разрезной печи. При этом максимальный наклон составляет 90% от предельного значения. Предельного значения, равного 2 максимальный наклон достигает при отношении размера выработки к глубине близком 1.

Точка нулевых наклонов (она же – точка максимальных оседаний) независимо от размера выработанного пространства располагается исключительно над очистной выработкой.

Точки отрицательных максимальных наклонов перемещаются вслед за забоем по прямолинейной траектории до достижения выработкой размера, равного глубине разработки. До этого момента и максимальные оседания земной поверхности образуют в пространстве прямую линию, а величина  $\eta_{mt}/\eta_m$  составляет 90% от максимума. При достижении отношения размера выработки к глубине равного 1, максимальный отрицательный наклон достигает максимума ( $i'_{-mt} = -2$ ) и больше не изменяется. Точка отрицательного максимума продолжает перемещаться в пространстве параллельно очистному забою.

После достижения наклонами максимальных значений максимальные оседания продолжают медленно расти до предельного значения, которого достигают при  $D_t/H = 1,45$ .

Общий анализ графиков на рис 4 приводит к важному выводу о том, что положительные и отрицательные максимальные наклоны земной поверхности при одном и том же положении очистного забоя одинаковы по величине и равноудалены от точки перегиба кривой наклонов (точки максимальных оседаний). Это свидетельствует о том, что положительные и отрицательные наклоны развиваются симметрично, а это указывает на симметрию мульды сдвижения в стадии ее формирования. Этот факт противоречит устоявшемуся представлению о том, что мульда сдвижения развивается не симметрично – крыло мульды со стороны целика круче, чем крыло, движущееся за очистным забоем.

## ВЫВОДЫ

Исследования расположения максимальных наклонов земной поверхности в мульде сдвижения в стадии ее формирования в условиях Западного Донбасса показали, что положение точек, имеющих максимальный наклон, зависит от текущего размера очистной выработки и эта зависимость не подчиняется линейному закону распределения.

По мере развития очистной выработки максимум положительных наклонов постоянно перемещается в сторону движения очистного забоя, но при отношении размера выработанного пространства  $D_t/H < 0,5$  точка максимального наклона располагается над целиком разрабатываемого угольного пласта.

При достижении очистной выработкой размера  $D_t/H = 0,75$  положение точки максимума стабилизируется, она останавливается на расстоянии  $0,07 L/H$  от разрезной печи. При этом максимальный наклон составляет 90% от предельного значения.

При отношении размера выработки к глубине  $D_t/H = 1,05$  наклон достигает своего предельного значения, равного  $+2\eta_m/H$ .

Горизонтальное расстояние от проекции разрезной печи на земную поверхность до точки, в которой наклон поверхности мульды меняется с положительного на отрицательный, зависит от текущего размера очистной выработки и изменяется по линейному закону.

Положение точек, имеющих максимальный отрицательный наклон, так же зависит от текущего размера очистной выработки и эта зависимость подчиняется линейному закону распределения. По мере развития очистной выработки максимум отрицательных наклонов постоянно перемещается в сторону движения очистного забоя, а величина наклона интенсивно растет и линейно зависит от размера выработанного пространства. Это наблюдается до момента достижения размера выработки, равного 0,8 от глубины разработки угольного пласта, после чего рост наклонов резко уменьшается и достигает своего предельного значения  $-2\eta_m/H$  при размере очистной выработки, близком к глубине разработки.

Положительные и отрицательные максимальные наклоны земной поверхности при одном и том же положении очистного забоя одинаковы по величине и равноудалены от точки перегиба кривой наклонов (точки максимальных оседаний). Это свидетельствует о том, что положительные и отрицательные наклоны развиваются симметрично, а это указывает на симметрию мульды сдвижения в стадии ее формирования.

## 5. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

### 5.1. Общие положения

Методика прогнозирования максимальных вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения при отработке пологих угольных пластов Западного Донбасса, называемая в дальнейшем Методика прогнозирования, предназначена для расчета параметров процесса сдвижения земной поверхности над очистными выработками шахт Западного Донбасса в малоизученной области зоны влияния очистных работ – области формирования мульды сдвижения.

Область формирования мульды сдвижения охватывает период с момента начала процесса сдвижения земной поверхности до момента, когда максимальное оседание в мульде достигло предела (максимума) и крыло мульды сдвижения со стороны выработанного пространства перестает изменять свою геометрию и начинает совершать плоскопараллельное перемещение совместно с забоем очистной выработки. С этого момента развитие мульды сдвижения переходит в стадию синхронного сдвижения, которая характеризуется постоянством формы мульды, ее размеров и значений максимальных деформаций.

Методика прогнозирования предусматривает расчет следующих параметров процесса сдвижения:

- максимальное оседание земной поверхности в мульде сдвижения на момент окончания процесса сдвижения земной поверхности;
- время и место начала процесса сдвижения с момента начала отработки лавы (лав);
- максимальное оседание земной поверхности над движущимся очистным забоем (забоями) на заданный момент времени с начала отработки лавы (лав) или при заданном положении забоя лавы;
- максимальные значения наклонов земной поверхности в

динамической мульде сдвижения над движущимся очистным забоем (забоями) на заданный момент времени с начала отработки лавы (лав) или при заданном положении забоя лавы;

- общую продолжительность процесса сдвижения земной поверхности со стороны со стороны разрезной выработки при удалении лавы от нее;

- продолжительность начальной стадии процесса сдвижения земной поверхности со стороны со стороны разрезной выработки при удалении лавы от нее;

- продолжительность активной стадии процесса сдвижения земной поверхности со стороны со стороны разрезной выработки при удалении лавы от нее;

- скорость изменения максимальных оседаний земной поверхности над движущимся очистным забоем (забоями) на стадии формирования мульды сдвижения.

## 5.2. Условия применения методики

Методику прогнозирования следует применять в следующих горно-геологических условиях:

- участки земной поверхности, относящиеся к области формирования мульды сдвижения;

- первичная подработка земной поверхности одним пластом;

- отработка лав без длительных остановок и оставления целиков;

- отработка обособленных лав или смежных лав при условии, что мульда сдвижения на земной поверхности от влияния этих лав формируется как от одной очистной выработки, имеющей размер, равный суммарной длине смежных лав;

- ненарушенное залегание подрабатываемых пород;

- управление кровлей – полное обрушение;

- скорость подвигания очистных забоев до 100 м/мес.

## 5.3. Подготовка исходных горно-геологических данных

Для расчета параметров процесса сдвижения земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения необходимы следующие горно-геологические данные:

– календарный план ведения горных работ с указанием месячного подвигания очистного забоя;

– геологический разрез по линии, совпадающей с главным сечением мульды сдвижения по направлению движения очистного забоя.

С указанных чертежей определяются следующие параметры:

– размер очистной выработки вкrest простирания пласта (вкrest направления движения лавы) –  $D_1$ , м;

– размер очистной выработки по простиранию пласта (по направлению движения лавы) –  $D_2$ , м;

– скорость подвигания очистного забоя –  $c$ , м/мес.;

– глубина в районе разрезной выработки –  $H$ , м.

#### 5.4. Исходные параметры для расчета вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности

##### 5.4.1. Относительная величина максимального оседания

– для условий закончившегося процесса сдвижения принимается равной  $q_0 = 0,9$ ;

– для условий развивающегося процесса сдвижения  $q_{0t} = 0,85$ .

5.4.2. Степень подработанности земной поверхности. Условные коэффициенты  $N_1$ ,  $N_2$ , характеризующие степень подработанности земной поверхности, соответственно вкrest простирания и по простиранию пласта определяются в зависимости от отношения размера очистной выработки  $D_1$  или  $D_2$  к глубине разработки  $H$  и приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Коэффициенты  $N_1$  и  $N_2$

$D/H$	0,28	0,36	0,45	0,51	0,58	0,66	0,74	0,85	1,01	1,50
$N_1$ и $N_2$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

5.4.3. Текущий размер выработанного пространства  $D_t$  по простиранию пласта (по направлению движения лавы) на конкретную дату с момента начала очистных работ определяется либо с календарного плана, либо по формуле

$$D_t = t \frac{c}{30}, \text{ м,}$$

где  $t$  – число дней с начала очистных работ до интересующей даты.

## 5.5. Расчет параметров процесса сдвижения земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения

5.5.1. Максимальное оседание земной поверхности в мульде сдвижения на момент окончания процесса сдвижения земной поверхности рассчитывается по формуле

$$z_m = q_0 m N_1 N_2,$$

где  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м.

5.5.2. Время начала процесса сдвижения  $t_0$  с момента начала отработки лавы (лав) определяется из выражения

$$t_0 = \frac{6H}{c}, \text{ сутки.}$$

Точка начала процесса сдвижения  $s$  в главном сечении по простиранию пласта (по направлению движения лавы) находится над выработанным пространством на расстоянии  $0,05H$  от проекции разрезной печи на земной поверхности.

5.5.3. Максимальное оседание земной поверхности над движущимся очистным забоем (забоями) на заданный момент времени с начала отработки лавы (лав) рассчитывается по формуле

$$z_{mt} = q_{0t} m N_1 N_{2t},$$

где  $N_{2t}$  – безразмерный коэффициент, характеризующий степень подработанности земной поверхности в динамической мульде на момент  $t$  по простиранию пласта, определяется по табл. 5.1 в зависимости от отношения текущего размера очистной выработки по простиранию пласта  $D_t$  к глубине разработки  $H$ .

5.5.4. Максимальные значения положительных  $i_{+mt}$  и отрицательных  $i_{-mt}$  наклонов земной поверхности в динамической мульде сдвижения над движущимся очистным забоем (забоями) на заданный момент времени  $t$  с начала отработки лавы (лав) или при

заданном размере очистной выработки по простиранию пласта  $D_t$  определяется по формуле

$$i_{mt} = \pm i'_{mt} \frac{\eta_m}{H},$$

где  $i'_{mt}$  – величина, определяемая из табл. 5.2 в зависимости от отношения текущего размера очистной выработки по простиранию пласта  $D_t$  к глубине разработки  $H$ .

Таблица 5.2

Значения величин  $i'_{mt}$

$D_t/H$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$i'_{mt}$	0,3	0,56	0,99	1,41	1,70	1,85	1,93	1,99	2,0

5.5.5. Общая продолжительность процесса сдвижения земной поверхности со стороны разрезной выработки при удалении лавы от нее составляет

$$T = \frac{1,45H}{c}, \text{ мес.}$$

5.5.6. Продолжительность начальной стадии процесса сдвижения земной поверхности со стороны со стороны разрезной выработки при удалении лавы от нее. Если взять за основу положение Правил [7] о том, что оседание земной поверхности за начальный период достигает  $0,15\eta_m$ , то начальной стадии процесса сдвижения длится

$$t_n = \frac{9,5H}{c}, \text{ суток.}$$

5.5.7. Активная стадия процесса сдвижения земной поверхности со стороны разрезной выработки при удалении лавы от нее длится период, за который оседание земной поверхности увеличится от  $0,15\eta_m$  до  $0,85\eta_m$  и определяется по формуле

$$t_a = \frac{18,5H}{c}, \text{ суток.}$$



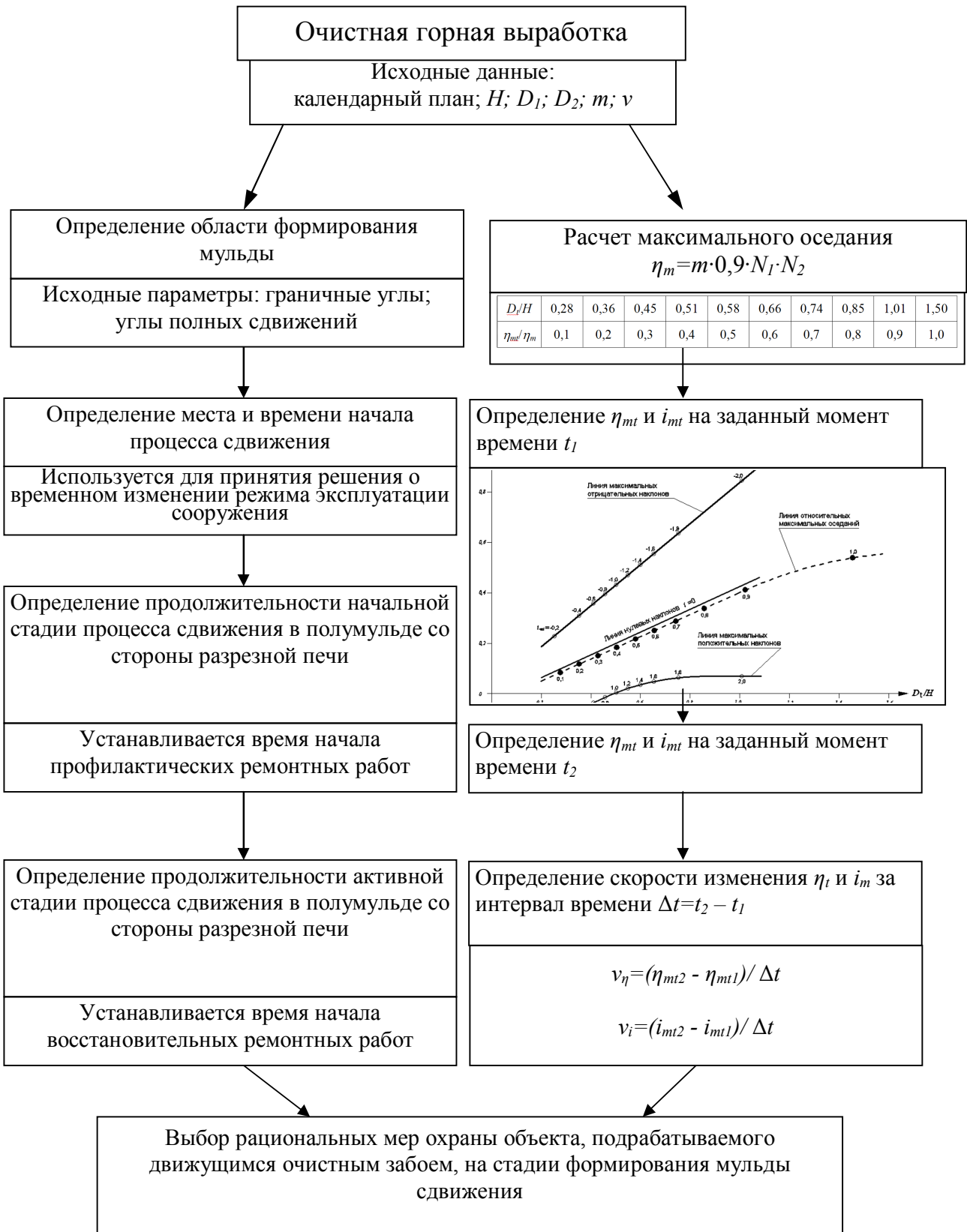
5.5.8. Скорость изменения максимальных оседаний земной поверхности над движущимся очистным забоем (забоями) на стадии формирования мульды сдвижения. Максимальная скорость изменения максимальных оседаний земной поверхности наблюдается на интервале изменения  $D_1/H$  от 0,3 до 0,65. На этом интервале скорость оседания поверхности остается постоянной и равняется

$$V_{\eta} = 44 \frac{c}{H} \eta_m, \text{ мм/сутки.}$$

В общем виде схема реализации методики прогнозирования максимальных оседаний и наклонов земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения показана на рис. 5.1.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

В данной работе обобщены исследования развития вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности над движущимися очистными забоями лав шахт Западного Донбасса. Отличительной особенностью полученных результатов являются установленные авторами закономерности развития максимальных оседаний и наклонов поверхности на мало изученной стадии формирования мульды сдвижения. Зависимости размещения в мульде максимальных оседаний и наклонов и их величин от глубины разработки и изменяющегося во времени размера выработанного пространства дополняют знания о процессе сдвижения земной поверхности в условиях Западного Донбасса и создают предпосылки к разработке более надежной методики прогнозирования влияния очистных горных работ на подрабатываемые поверхностные объекты.



*Рис. 5.1 Структурно-логическая схема реализации методики прогнозирования максимальных оседаний и наклонов земной поверхности на стадии формирования мутьды сдвижения*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галахов Ф.В. К методике предрасчета сдвижений поверхности в связи с рудничными разработками // Известия Центр. научн.-иссл. маркш. бюро / ЦНИМБ. – 1935. – Вып. 2. – С. 77-83.
2. Авершин С.Г. Расчет сдвижений горных пород. – М.: Металлургиздат, 1950. – 230 с.
3. Муллер Р.А. Параметры теоретического метода расчета деформаций земной поверхности // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1964. – Сб. 52. – С. 24-40.
4. Колбенков С.П., Павлов А.Н. К вопросу расчетов деформаций земной поверхности // Труды по вопросам горного давления, сдвижения горных пород и методики маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 114-130.
5. Ершов Н.М. Аналитическое исследование поверхности мульды сдвижения // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1958. – Сб. 32. – С. 18-31.
6. Иофис М.А., Черняев В.И. Аналитико-экспериментальный метод расчета сдвижений и деформаций // Изв. вузов. Горный журнал. – 1972. – № 11. – С. 53-56.
7. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. Видання офіційне // Галузевий стандарт. – К.: Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с.
8. Вопросы расчета сдвижений поверхности под влиянием горных разработок / Будрык В., Литвинишин Е., Кнотте С., Салустович А.; Пер. с польск. под ред. С.Г. Авершина. – М.: Углетехиздат, 1956. – 64 с.
9. Колбенков С.П. Аналитическое выражение типовых кривых сдвижения поверхности // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1961. – Сб. 43. – С. 46-49.
10. Новокшенов В.Н. Аналитический метод расчета сдвижений земной поверхности под влиянием горных работ // Колыма. – 1983. – № 4. – С. 18-19.
11. Морин С.В. Распределение вертикальных сдвижений и деформаций в мульде // Изв. вузов. Горный журнал. – 1986. – № 7. – С. 52-54
12. Акимов А.Г. Определение размеров краевой части мульды сдвижения // Сдвигение горных пород / ВНИМИ – 1975. – Сб. 96. – С. 28-36.
13. Акимов А.Г., Давыдович А.Н. Экспериментально-аналитический способ расчета деформаций в краевой части мульды сдвижения // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ – 1972. – Сб. 86. – С. 17-25.
14. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных

пород. – Л.: Недра, 1989. – 488 с

15. Авершин С.Г. Обработка и использование результатов наблюдений за сдвижением поверхности. – М.: Гос. научн.-техн. изд. нефтяной и горно-топл. лит., 1941. – 39 с.
16. Иофис М.А. Научные основы управления деформационными и дегазационными процессами при разработке полезных ископаемых. – М.: Изд. ИПКОН, 1984. – 230 с.
17. Кульбах О.Л., Коротков М.В. Первые итоги систематических наблюдений сдвижений дневной поверхности под влиянием каменноугольных разработок в Донбассе //Тр. маркшейдерской комиссии – М.: Горгеолнефтеиздат, 1934. – Вып. 2. – С. 114-140.
18. Кратч Г. Сдвигение горных пород и защита подрабатываемых сооружений; Пер. с нем. под ред. Р.А. Муллера и И.А. Петухова. – М.: Недра, 1978. – 494 с
19. Батугин С.А. Сдвигения и деформации земной поверхности и горных пород над движущимся забоем // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвигения горных пород / ВНИМИ – 1962. – Сб. 47. – С. 159-199.
20. Гавриленко Ю.Н., Папазов Н.М., Морозова Т.В. Динамика оседаний земной поверхности при большой глубине разработки и высокой скорости подвигания забоя / Проблемы гірського тиску.– Вып. 4.– Донецк: ДонГТУ, 2000.– С. 108-119.
21. Иофис М.А., Фастов Г.А. Характер развития деформаций в полумульде над движущимся забоем // Горное давление, сдвигение горных пород и методика маркшейдерских работ / ВНИМИ. – 1965. – Сб. 55. – С. 143-149.
22. Муллер Р.А. Определение мульды сдвигения и скорости деформаций земной поверхности при движущемся забое // Сдвигение горных пород / ВНИМИ. – Л.: Изд. ВНИМИ, 1975. – Сб. 96. – С. 13-27.
23. Ларченко В.Г. Закономерности сдвижений и деформаций земной поверхности при отработке свиты пологих пластов // Сборник научных трудов НГА Украины. – 2001. – № 12, Том 2. – С. 36-39.
24. Мякенький В.И. Расчет деформаций земной поверхности при равномерно движущемся забое // Проектирование и строительство угольных предприятий / Реф. сб. – М.: Недра, 1971. – № 3. – С. 76-83
25. Назаренко В.А. Влияние скорости подвигания очистного забоя на сдвигение земной поверхности / Науковий вісник НГА України. Дніпропетровськ. №8, 2002.
26. Сдвигение горных пород при подземной разработке угольных и сланцевых месторождений / Акимов А.Г., Земисев В.Н., Кацнельсон Н.Н. и др. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
27. Казаковский Д.А. Сдвигение земной поверхности под влиянием горных разработок. – М.: Углетехиздат, 1953. – 288 с.
28. Медянецев А.Н. Сдвигение горных пород и земной поверхности под

- влиянием горных выработок. – Новочеркасск: Изд-во Новочеркасского политехн. ин-та, 1976. – 83 с.
29. Авершин С.Г. Сдвигение горных пород при подземных разработках. – М.: Углетехиздат, 1947. – 245 с.
  30. Акимов А.Г., Хакимов Х.Х. Обеспечение безопасной эксплуатации шахтных стволов. – М.: Недра, 1988. – 216 с.
  31. Батугин С.А. Влияние скорости подвигания очистного забоя на сдвигения и деформации земной поверхности // Труды по вопросам горного давления, сдвигения горных пород и методики маркшейдерских работ / ВНИМИ. – Л.: Изд. ВНИМИ, 1963. – Сб. 50. – С. 83-90.
  32. Земисев В.Н. Расчет деформаций горного массива. – М.: Недра, 1973. – 144 с.
  33. Коротков В.М. Выемка угля под сооружениями в Донбассе. – М.: Углетехиздат, 1953. – 219 с.
  34. Муллер Р.А. Расчет сдвигения горных пород под влиянием подземных разработок при горизонтальном и пологом залегании пород // Исследования по вопросам горного и маркшейдерского дела/ ВНИМИ. – 1957. – Сб. 31. – С. 31-57.
  35. Петрук Е.Г. Исследование деформаций земной поверхности в мульде сдвигения по времени // Изв. вузов. Горный журнал. – 1969. – № 1. – С. 40-43.
  36. Сдвигение горных пород и земной поверхности в главнейших угольных бассейнах СССР / Колбенков С.П., Петухов И.А. и др. – М.: Углетехиздат, 1958. – 250 с.
  37. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / В.И. Борщ-Компаниец, И.М. Батугина, В.М. Варлашкин и др.; Под ред. В.А. Букринского и Г.В. Орлова. – М.: Недра, 1984. – 247 с.
  38. Фисенко Г.Л. Некоторые вопросы сдвигения горных пород при разработке глубоких горизонтов угольных шахт // Исследование проявлений горного давления на глубоких горизонтах шахт / ВНИМИ. – 1971. – Сб. 88. – С. 337-346.
  39. Земисев В.Н., Мурашов А.Н. Определение сдвижений и деформаций земной поверхности в заданной точке мульды в условиях Карагандинского угольного бассейна // Горное давление, сдвигение горных пород и методика маркшейдерских работ / ВНИМИ. – Л.: Изд. ВНИМИ, 1961. – Сб. 71. – С. 62-78.
  40. Кузнецов Г.Н. Роль и задачи моделирования методом эквивалентных материалов в исследованиях вопросов механики горных пород // Труды ВНИМИ. – М.: ВНИМИ, 1971. – Сб. 76. – С. 56-72.
  41. Акимов А.Г. Общие закономерности деформирования и сдвигения горных пород при разработке глубоких горизонтов // Исследование проявлений горного давления на глубоких горизонтах шахт / ВНИМИ. – 1971. – Сб. 88. – С. 317-326.

42. Акимов А.Г. Определение размеров краевой части мульды сдвижения // Сдвижение горных пород / ВНИМИ – 1975. – Сб. 96. – С. 28-36.
43. Медянцеv А.Н., Гевелюк Е.Н. Радиусы кривизны мульды сдвижения // Разработка месторождений полезных ископаемых / Сб. тр. – Киев: Техника, 1972. – Вып. 28. – С. 14-21.
44. Барсуков И.В., Голотвин А.Д. Расчет деформаций в краевой части мульды сдвижения при выемке пологих пластов угля // Изв. вузов. Горный журнал. – 1986. – № 3. – С. 42-45
45. Варлашкин В.М. Определение максимальных деформаций земной поверхности в зависимости от длины интервала // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1959. – Сб. 36. – С. 41-45
46. Ковальски А. Деформация поверхности над быстро двигающимся фронтом горных работ // Proceedings IX Congress ISM, Praha 18.4-22.4. 1994. – С. 320-329.
47. Иофис М.А. Расчет деформаций земной поверхности во Львовско-Волынском бассейне // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 131-138.
48. Петрук Е.Г. Управление деформационными процессами в динамической мульде сдвижения при подземной разработке пологих угольных пластов / Автореф. докт. дисс. – Днепропетровск: ВПОП "Дніпро", 1994. – 34 с.
49. Медянцеv А.Н., Иофис М.А. Углы сдвижения горных пород в Донецком и Карагандинском угольных бассейнах // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1959. – Сб. 36. – С. 87-93.
50. Гвирцман Б.Я. Определение углов сдвижения по допустимым деформациям земной поверхности // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – 1972. – Сб. 86. – С. 65-68.
51. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. – Л.: Недра, 1977. – 503 с.
52. Шклярский М.Ф. Исследование кривых скоростей опускания кровли // Сборник статей по вопросам исследования горного давления и сдвижения горных пород / ВНИМИ. – Л.: Изд. ВНИМИ, 1961. – Сб. 40. – С. 136-150
53. Антипенко Г.А., Назаренко В.А. О некоторых терминах и определениях процесса сдвижения земной поверхности // Уголь Украины – 2001 – № 9 – С. 44-45.
54. Петрук Е.Г., Ларченко В.Г. Расчет горизонтальных деформаций земной поверхности при движущемся забое // Изв. вузов. Горный журнал. – 1976. – № 7. – С. 75-78.
55. Назаренко В.А., Кучин А.С. О максимальных значениях горизонтальных сдвижений земной поверхности в западном Донбассе / Науковий вісник

- НГА України.– Дніпропетровськ, 2003.– № 4.– С. 13-17.
56. Кучин О.С. Вплив напрямку руху очисного вибою на процес зрушення у Західному Донбасі // Вісник ЖДТУ. – 2003. – №3. – С. 196-200.
  57. Гавриленко Ю.Н. Деформирование массива горных пород и земной поверхности при подработке поперечных тектонических нарушений пологими пластами // Разработка месторождений полезных ископаемых: Респ. межвед. научн.-техн. сб. – 1988. – Вып. 79. – С. 60-67.
  58. Гавриленко Ю.Н. Исследование сдвижения земной поверхности при нарушенном залегании пород в Донецко-Макеевском районе Донбасса // Изв. вузов. Горн. журн. – 1991. – №3. – С. 55-60.
  59. В.А. Назаренко. Геометризация процесса сдвижения земной поверхности над движущимся очистным забоем при разработке пологих угольных пластов // Автореф. докт. дисс. – Д.: РВК НГУ, 2004. – 32 с.
  60. Акимов А.Г. Величины сдвижений и деформаций земной поверхности в зависимости от мощности наносов // Охрана сооружений от вредного влияния горных работ и расчет устойчивости бортов угольных разрезов / Тр. ВНИМИ – 1983. – С. 37-49.
  61. Мякенький В.И., Онищенко А.В., Назаренко В.А. Методика определения угловых параметров сдвижения горных пород на месторождениях с большой мощностью наносов / Республ. межвед. научн–техн. Сб. "Разработка месторождений полезных ископаемых", вып. 91, Киев, 1992.– 4 с
  62. Петухов И.А. Влияние наносов на процесс сдвижения горных пород // Уголь. – 1951. – № 2. – С. 28.
  63. Лисица И.Г., Онищенко А.В., Василенко Г.Т. Расчет углов сдвижения в наносах и каменноугольных породах Западного Донбасса // Технология добычи угля подземным способом. – М.: Недра, 1967. – С. 26-30. – /Реф. сб. ЦНИЭИуголь/.
  64. Костенич В.С., Зелепукин А.М. Результаты наблюдений за сдвижением и деформацией поверхности при большой скорости подвигания забоя и прирывной рабочей неделе // Сдвигения и деформации массива при разработке месторождений с учетом структуры и механических свойств горных пород / ВНИМИ. – 1966. – Сб. 58. – С. 137-146.
  65. Сдвигение горных пород и земной поверхности при подземных разработках / В.И. Борщ-Компаниец, И.М. Батугина, В.М. Варлашкин и др.; Под ред. В.А. Букринского и Г.В. Орлова. – М.: Недра, 1984. – 247 с.
  66. Мякенький В.И. Сдвигение и дегазация пород и угольных пластов при очистных работах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 99 с.
  67. Назаренко В.А., Петрук Е.Г., Кучин А.С. О влиянии свойств подрабатываемого массива на сдвигение земной поверхности в Западном Донбассе / Сборник научных трудов НГА Украины.– №15. - Днепропетровск: РИК НГА Украины, 2002.– С.
  68. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности

- при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1965.
69. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1966.
  70. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1967.
  71. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1968.
  72. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1969.
  73. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.– Днепропетровск, ДГИ, 1970.
  74. Исследования процесса сдвижения горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе/ Отчет по НИР 645.–Днепропетровск, ДГИ, 1971.
  75. Разработать и внедрить методику расчета деформаций земной поверхности во времени с целью с целью совершенствования мер охраны сооружений и природных объектов в Западном Донбассе (промежуточный)/ Отчет по НИР 724-1/010301 (760.61860).– Днепропетровск, ДГИ, 1976
  76. Разработать и внедрить методику расчета деформаций земной поверхности во времени с целью с целью совершенствования мер охраны сооружений и природных объектов в Западном Донбассе (промежуточный)/ Отчет по НИР 724-1 (760.61860).–Днепропетровск, ДГИ, 1977
  77. Разработать и внедрить методику расчета деформаций земной поверхности во времени с целью совершенствования мер охраны сооружений и природных объектов в Западном Донбассе (промежуточный)/ Отчет по НИР 724-1 (760.61860).–Днепропетровск, ДГИ, 1978
  78. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок в Донецком угольном бассейне. – М.: Недра, 1972. – 128 с.
  79. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на угольных месторождениях. – М.: Недра, 1981. – 288 с.
  80. Методические указания по расчету деформаций земной поверхности во времени и горногеометрическому прогнозированию охраны пойм рек при



- подземной разработке угольных пластов в Западном Донбассе / Е.Г. Петрук, А.В. Онищенко, А.И. Воронкин. – Донецк : ЦБНТИ, 1986. – 55 с.
81. Авершин С.Г. О наибольших значениях характеристик мульды сдвижения// Тр. ВНИМИ. – 1952. – Сб. 26. – С. 3-20.
  82. Акимов А.Г. К расчету наибольших горизонтальных сдвижений земной поверхности при разработке пологих пластов// Тр. ВНИМИ. – 1960. – Сб. 34. – С. 294-304.
  83. Медянецв А.Н. Максимальные деформации земной поверхности// Тр. ВНИМИ. – 1963. – Сб. 50. – С. 190-193.
  84. Назаренко В.О., Йощенко Н.В., Кашина Н.С. Пространственно-временное моделирование процесса сдвижения земной поверхности при формировании мульды сдвижения / Форум гірників-2006. – Д.: НГУ, 2006. – С. 52-57 .
  85. Назаренко В.О., Йощенко Н.В., Стельмашук Е.В. Закономерности расположения максимальных оседаний земной поверхности в мульде сдвижения / Науковий вісник НГУ – Д.: 2006. – №10 – С. 18-24.
  86. Назаренко В.О., Бака Н.Т., Беличенко Е.В., Йощенко Н.В. Закономерности позиционирования максимальных оседаний при формировании мульды сдвижения / Вісник ЖДТУ. Технічні науки. – 2006. – №2 (37). – С. 112-117.
  87. Назаренко В.О., Усик И.И., Стельмашук Е.В., Йощенко Н.В., Изменение максимальных оседаний земной поверхности при формировании мульды сдвижения / Збірник наукових праць НГУ – №25. – Д.: НГУ, 2006. – С 38-43.
  88. Назаренко В.О., Йощенко Н.В., Кашина Н.С. О расположении максимальных оседаний земной поверхности в мульде сдвижения / Междунар. научн.-техн. конф. "Актуальные проблемы современных наук: Теория и практика-2006". – Д.: 2006. – С 26-31.
  89. Назаренко В.О., Йощенко Н.В. Закономерности формирования максимальных оседаний земной поверхности над очистным забоем / ИГТМ, 2007 – С. 122-28 .

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ГОРНЫМИ РАЗРАБОТКАМИ ОТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ .....	5
2. АДАПТАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОДРАБОТКИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ШАХТАХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА .....	18
2.1. Факторы, влияющие на процесс сдвижения земной поверхности .....	21
2.2. Обоснование адаптации отличающихся параметров условий подработки земной поверхности очистными работами шахт Западного Донбасса .....	23
2.3. Основные положения методики адаптации параметров горно-геологических условий подработки земной поверхности и результатов натуральных наблюдений .....	31
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕДАНИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАД ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ .....	36
3.1. Краткая характеристика экспериментальных исследований сдвижения земной поверхности в Западном Донбассе .....	36
3.2 . Исследование закономерностей расположения максимальных оседаний земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения .....	42
3.3. Исследование закономерностей изменения максимальных оседаний земной поверхности во времени .....	48
4. ИССЛЕДОВАНИЕ НАКЛОНОВ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТ НАД ДВИЖУЩИМСЯ ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ .....	58

4.1. Исследование положительных наклонов земной поверхности в мульде сдвижения .....	58
4.2. Исследование переходных точек кривых распределения наклонов земной поверхности в мульде сдвижения .....	64
4.3. Исследование закономерностей изменения максимальных отрицательных наклонов земной поверхности в формирующейся мульде сдвижения .....	66
4.4. Общие закономерности изменения максимальных наклонов земной поверхности в формирующейся мульде сдвижения ..	71
5. ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СДВИЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СТАДИИ ФОРМИРОВАНИЯ МУЛЬДЫ СДВИЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОТРАБОТКИ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА .....	76
5.1. Общие положения .....	76
5.2. Условия применения методики .....	77
5.3. Подготовка исходных горно-геологических данных .....	77
5.4. Исходные параметры для расчета вертикальных сдвижений и деформаций земной поверхности .....	78
5.5. Расчет параметров процесса сдвижения земной поверхности на стадии формирования мульды сдвижения .....	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	83

Наукове видання

**Назаренко Валентин Олексійович**  
**Йощенко Надія Володимирівна**

**Закономірності розвитку максимальних  
осідань і уклонів поверхні у мульді зрушення**  
(російською мовою)

Монографія

Авторська редакція

Підписано до друку . Формат 30×42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 5,1.  
Обл.-вид. арк. 5,1. Тираж 300 прим. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
в Державному вищому навчальному закладі  
"Національний гірничий університет"  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1482

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.