



**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ
„СВЕТИ ИВАН РИЛСКИ”**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**НА ДИСЕРТАЦИОНЕН ТРУД
ЗА ПРИСЪЖДАНЕ НА ОНС «ДОКТОР»**

**ПЛАНИРАНЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ МИННИ РАБОТИ
ЗА ОПАЗВАНЕ НА ОБЕКТИТЕ РАЗПОЛОЖЕНИ НА
ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ**

**Катя Александрова Асенова-Георгиева
София, 2018**

**МИННО-ГЕОЛОЖКИ УНИВЕРСИТЕТ „СВЕТИ ИВАН РИЛСКИ”
МИННОТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА «МАРКШАЙДЕРСТВО И ГЕОДЕЗИЯ**

Катя Александрова Асенова-Георгиева



**ПЛАНИРАНЕ НА ПОДЗЕМНИТЕ МИННИ РАБОТИ ЗА ОПАЗВАНЕ НА
ОБЕКТИТЕ РАЗПОЛОЖЕНИ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ ЗА ПРИСЪЖДАНЕ НА ОНС «ДОКТОР»

Докторска програма: «Маркшайдерство»
Професионално направление: 5.7. «Архитектура, строителство и геодезия»
Област на висшето образование: «Технически науки»

Научен консултант: доц. д-р Станислав Йорданов Топалов

София, 2018

Дисертационният труд е обсъден и насрочен за защита на разширен катедрен съвет на катедра „Маркшайдерство и геодезия“ към Миннотехнологичен факултет на МГУ „Свети Иван Рилски“, София на 25 септември 2018 г., съгласно заповед № Р – 857 от 12. 09. 2018 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 12 декември 2018 г. от 11 часа в зала 204 – А „Минстрой“ на МТФ, на открито заседание на научното жури.

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията на сектор „Следдипломна квалификация“ на МГУ „Свети Иван Рилски“, София – Ректорат, ет. 3, стая № 79, тел. 02/ 80 60 209.

Научно жури, утвърдено със заповед № Р – 1042 от 19. 10. 2018 г.

Проф. д-тн Георги Вълев Димитров – външен;

Проф. д-р Койно Боев Йовков – външен;

Проф. д-р Кръстю Николов Дерменджиев – вътрешен;

Доц. д-р Евтим Димитров Николов – външен;

Доц. д-р Станислав Йорданов Топалов – вътрешен, **Председател**.

Рецензенти:

1. Проф. д-тн Георги Вълев Димитров – външен;

2. Проф. д-р Койно Боев Йовков – външен.

Автор: Катя Александрова Асенова-Георгиева

Заглавие: „Планиране на подземните минни работи за опазване на обектите разположени на земната повърхност“

Тираж: 25 броя

СЪДЪРЖАНИЕ

Увод.....	стр. 4
Глава I. Формулиране на целите и задачите на дисертационния труд.....	стр. 6
§I. 1. Основни термини, определения и означения използвани в дисертационния труд.....	стр. 6
§I. 2. Предимства и недостатъци на методите за прогнозиране на линейните и деформационни параметри на процеса движение на скалите.....	стр. 10
§I. 3. Намалване на деформациите на земната повърхност при подработване на обекти чрез оптимално разположение на добивните изработки.....	стр. 11
§I. 4. Цели и задачи на дисертационния труд.....	стр. 12
Глава II. Допълнение на метода на типовите криви.....	стр. 13
§II. 1. Алгоритъм за прогнозиране за главните сечения.....	стр. 14
§II. 2. Алгоритми за прогнозиране за произволни сечения, успоредни на главните..	стр. 18
§II. 3. Алгоритъм за прогнозиране за произволна точка от мулдата на движение....	стр. 20
Глава III. Разработване на математични модели за управление на деформациите при подработване на обекти, разположени на земната повърхност.....	стр. 23
§III. 1. Модели за определяне на разположението и размерите на един добивен фронт така ,че деформациите на земната повърхност да са по-малки от допустимите за опазвания обект.....	стр. 23
§III. 2. Модели за определяне разположението на един добивен фронт така, че подработваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации.....	стр. 34
§III. 3. Модели при подработване на обекти с два добивни фронта.....	стр. 38
Заклучение.....	стр. 51
Приноси.....	стр. 52
Бъдещо развитие на разглежданата тематика.....	стр. 53
Публикации.....	стр. 53
Използвана литература цитирана в автореферата.....	стр. 54

УВОД

Въглищата, като енергийна суровина на планетата, са природно богатство, което не подлежи на възстановяване. Този факт обуславя необходимостта от търсене и създаване на методи за тяхното най-пълно изземване от земните недра, като едновременно с това се прилагат и технически правилни решения на задачите, свързани с опазване на земната повърхност, на обектите и на инфраструктурата, разположени върху нея от вредното влияние на минните работи.

Изземването на въглища по подземен начин нарушава естественото равновесно състояние на определен участък от земния масив. В резултат на това, вместващите скали се деформират и преместват по посока на изработеното пространство, стремяйки се да го запълнят. При определени условия, този процес обхваща и земната повърхност и би могъл да предизвика сериозни повреди и дори разрушаване на обектите, разположени върху нея.

По своето значение, конструктивни особености и характер на деформациите, които могат да се получат в резултат от вредното влияние на подземните минни работи, опазваните обекти могат да се групират в четири категории.

Оценката на възможността за подработването им се извършва на етап проектиране на минните работи, въз основа на прогнозни стойности за линейните и деформационни параметри на процеса движение на скалите и съществуващите критерии за тях, съответстващи на категорията им по опазване.

Мерките за опазване на природните обекти, инженерните съоръжения и сградите от вредното влияние на подземните минни работи, се предприемат в зависимост от:

- ✓ Категорията на опазвания обект;
- ✓ Конструктивните му особености;
- ✓ Характера на експлоатацията му;
- ✓ Очакваните (прогнозни) стойности на движенията и деформациите на земната повърхност за конкретните природни и миннотехнически условия.

От съществено значение е надеждното и точно определяне на очакваните стойности на линейните и деформационни параметри. В България, прогнозирането им се извършва по метода на типовите криви.

Мерките за опазване на обектите и съоръженията се изразяват в:

- ✓ Миннотехнически мероприятия за намаляване на деформациите на земната повърхност и подработваните обекти;
- ✓ Конструктивни мероприятия;
- ✓ Временно изменение на характера на експлоатация на подработваните обекти през периода на опасните деформации;
- ✓ Оставяне на предпазни стълбове, когато другите мерки за опазване не могат да гарантират нормална експлоатация на конкретния обект или са икономически нецелесъобразни;
- ✓ Провеждане на специални инструментални наблюдения на подработваните обекти с оглед на своевременна намеса за предотвратяване на опасни деформации в тях.

Миннотехническите мероприятия за намаляване на деформациите на земната повърхност и подработваните обекти включват различни технически решения за намаляване на деформациите до безопасните им стойности:

- ✓ Пълно или частично запълване на изработеното пространство;
- ✓ Намаляване на изземваната мощност;
- ✓ Намаляване размерите на добивните изработки;
- ✓ Оптимизиране разположението на добивните фронтове с цел минимизиране или компенсиране на опъновите и натискови деформации.

Конструктивните мероприятия имат за основна цел да приспособят съществуващите или проектираните съоръжения към очакваните деформации.

Обект на настоящата разработка са:

- ✓ Оптимизиране разположението на добивните фронтове чрез математично моделиране с цел управление на деформационната картина на земната повърхност. Оптимизирането се извършва в сечение напречно на простирането на залежа, а създадените модели са приложими при разработването на полегати и наклонени пластови находища;
- ✓ Методът на типовите криви, по отношение разширяване на възможностите му за прогнозиране.

Актуалността на разглежданата тематика се определя от необходимостта:

- ✓ да се създават най-благоприятни и безопасни условия за подработваните обекти, намиращи се в зоната на влияние на подземните минни работи;
- ✓ да се причиняват минимални щети на земната повърхност с прилежащата ѝ инфраструктура и на природната среда като цяло;
- ✓ да се осигури възможност за пълно или частично изземване на запасите от въглища, разположени под различни съоръжения или обекти.

В съответствие с поставените цели и задачи е възприета е следната **структура**:

Глава I. Формулиране на целите и задачите на дисертационния труд.

Глава II. Допълнение на метода на типовите криви.

Глава III. Разработване на математични модели за управление на деформациите при подработване на обекти, разположени на земната повърхност.

Обща характеристика:

Дисертационния труд е с обем 116 страници. Съдържа увод, три глави, заключение, приноси, бъдещо развитие на разглежданата тематика, публикации и използвана литература. Текстът е онагледен със 155 номерирани формули, 75 фигури, 12 таблици, 3 приложения и 45 цитирани литературни източници. Номерата на формулите, фигурите, таблиците и ползваните източници в автореферата съответстват на тези в дисертацията.

Глава I. ФОРМУЛИРАНЕ НА ЦЕЛИТЕ И ЗАДАЧИТЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

§ I.1. Основни термини, определения и означения използвани в дисертационния труд

Област на движение на скалите се нарича частта от подработения и надработения скален масив, която е подложена на преместване и деформиране в резултат на воденето на подземни минни работи. При определени условия, областта на движение обхваща и земната повърхност.

Мулда на движение е онази част от земната повърхност, която е обхваната от областта на движение. Основни елементи на мулдата на движение (Фиг. I.1 и Фиг. I.2) са:

- ✓ Граница на мулдата на движение;
- ✓ Главни сечения;
- ✓ Точка с максимално слягане при непълно подработване или плоско дъно при пълно подработване на земната повърхност;
- ✓ Полумулди:
 - L_1 по западане;
 - L_2 по задигане;
 - L_3 по простиране.

Местоположението на основните елементи в мулдата на движение се определя чрез стойностите на **ъгловите параметри**.

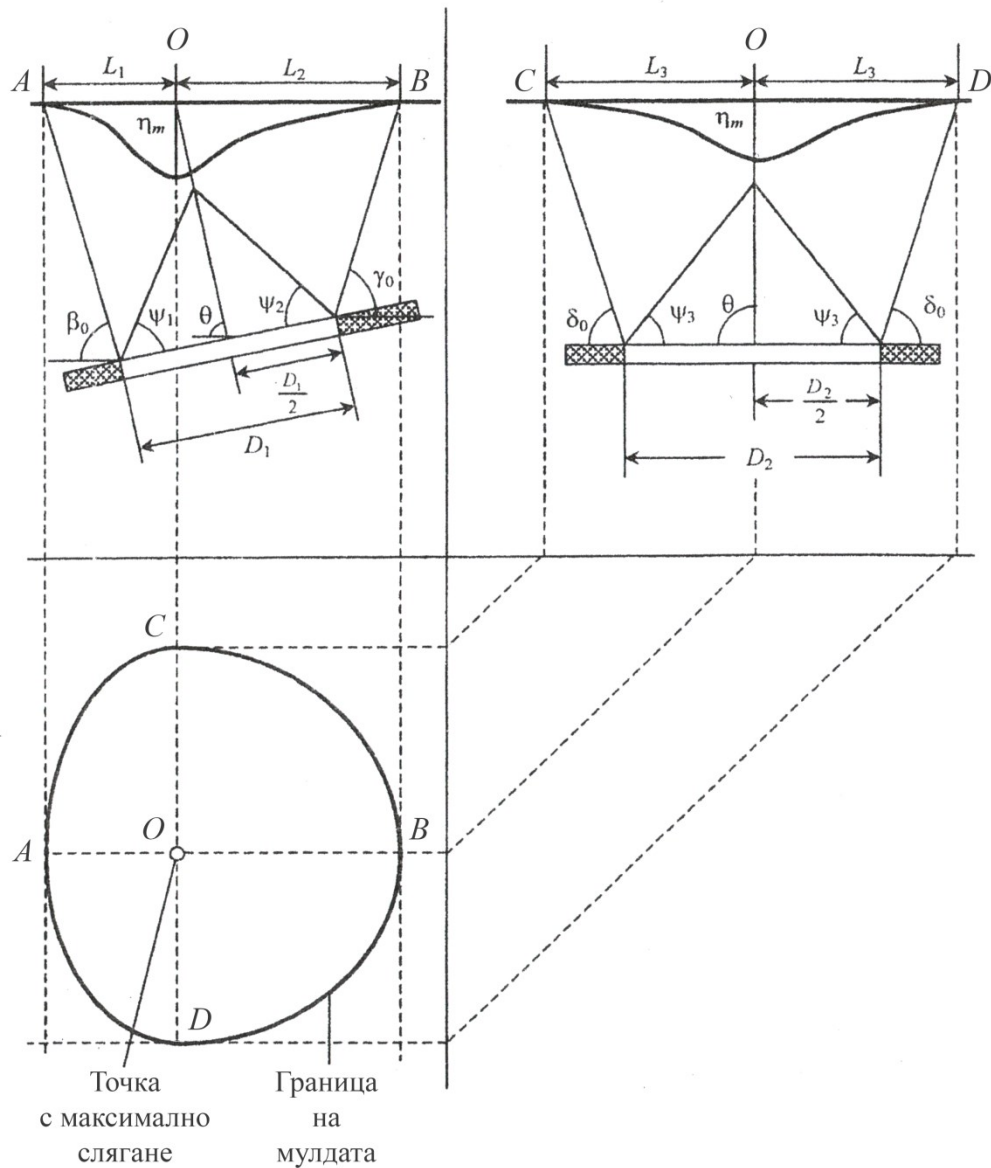
Главни сечения на мулдата на движение се наричат вертикалните сечения на мулдата на движение по простиране и по западане на въглищния пласт, преминаващи през точката с максимално слягане при непълно подработване или през центъра на плоското дъно при пълно подработване на земната повърхност (сечения А - В и С - D на Фиг. I.1 и Фиг. I.2).

Границата на мулдата на движение се определя върху главните сечения чрез стойностите на граничните ъгли.

Граничните ъгли са външни спрямо изработеното пространство и се намират в главните сечения на мулдата. Те се сключват между хоризонталната линия и линията съединяваща границата на изработеното пространство с граничните точки на движение на земната повърхност. Стойностите им се определят чрез геодезически измервания и са дадени в [4, стр. 149 - 151]. Видовете гранични ъгли са:

- ✓ по западане – β_0 ;
- ✓ по задигане – γ_0 ;
- ✓ по простиране – δ_0 (Фиг. I.1 и Фиг. I.2).

При определени съотношения между размерите на добивните изработки и дълбочината на разработване, в мулдата на движение се образува **плоско дъно**, т. е. участък с максимални по стойност слягания (Фиг. I.2). Условията, при които в мулдата на движение се образува плоско дъно се наричат условия на **пълно подработване на земната повърхност**. Границата на плоското дъно се определя чрез стойностите на ъглите на пълно подработване (Фиг. I.2).

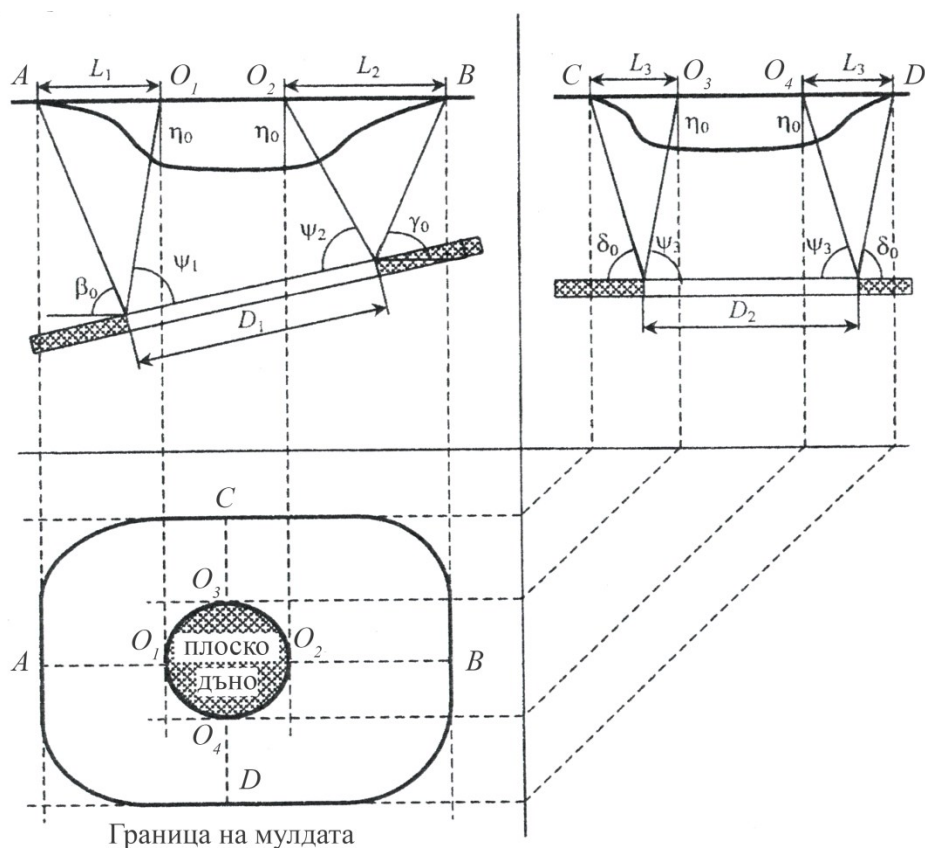


Фиг. 1.1 Основни елементи на мулдата на движение при непълно подработване за наклонени пластове.

Ъглите на пълно подработване са вътрешни ъгли спрямо изработеното пространство и се намират в главните сечения на мулдата на движение. Образуват се между горнището на въглищния пласт и линията, съединяваща границата на изработеното пространство с границата на плоското дъно на мулдата. Стойностите им се определят чрез геодезически измервания и са дадени в [4, стр. 149 - 151].

Видовете ъгли на пълно подработване са:

- ✓ по западане – ψ_1 ;
- ✓ по задигане – ψ_2 ;
- ✓ по простиране – ψ_3 (Фиг. 1.1 и Фиг. 1.2).



Фиг. 1.2 Основни елементи на мулдата при пълно подработване за наклонени пластове.

При непълно подработване, плоско дъно в мулдата на движение не се образува, а съществува **точка с максимално слягане**. Нейното местоположение се определя чрез **ъгъла на максимално слягане** – θ , в главното сечение по западане (Фиг. 1.1). Той се сключва между хоризонталната линия и линията, съединяваща средата на добивния фронт и точката с максимално слягане. Стойностите му се определят чрез геодезически измервания и са дадени в [4, стр. 149 - 151].

Критерии за подработеност на земната повърхност е **коэффициентът на подработване** n , който се определя по формула (1.1).

$$(1.1) \quad n = \sqrt{n_1 n_2}, \text{ където:}$$

n_1 е коэффициент на подработване по западане и се изчислява по формула (1.2).

$$(1.2) \quad n_1 = 0.5 \frac{D_1}{H} \tan \psi_3,$$

ако стойността му е по-голяма от единица, то тя се приравнява на 1.

n_2 е коэффициент на подработване по простиране и се изчислява по формула (1.3).

$$(1.3) \quad n_2 = 0.5 \frac{D_2}{H} \tan \psi_3,$$

ако стойността му е по-голяма от единица, то тя се приравнява на 1.

H е средна дълбочина на разработване за добивния фронт, [m];

D_1 и D_2 са ширина и дължина на добивния фронт, [m]

Когато $n = 1$ съществуват условия на пълно подработване на земната повърхност (Фиг. 1.2), а когато $n < 1$ на непълно подработване (Фиг. 1.1).

Линейни параметри на мулдата на движение са вертикалната и хоризонталната компоненти на вектора на преместване на точките.

✓ **Слягане** се нарича вертикалната компонента на вектора на преместване на точките от мулдата на движение и се означава с η .

✓ **Хоризонтално движение** се нарича хоризонталната компонента на вектора на преместване на точките от мулдата на движение и се означава с ζ .

За количествено и качествено характеризиране на процеса движение на земната повърхност се използват следните **деформационни параметри**:

✓ **Наклон** – i (интервална характеристика). Определя се като отношение, на което в числителя се изчислява разликата в сляганията на двете точки, които определят интервала, а в знаменателя разстоянието между тях или като първа производна на функцията на слягането.

✓ **Кривина** - k (точкова характеристика, отнасяща се за двата съседни интервала, които определя разглежданата точка). Определя се като отношение на разликата в наклоните на двата съседни интервала към средната дължина на двата интервала или като втора производна на функцията на слягането.

✓ **Радиус на кривината** – R (точкова характеристика, отнасяща се за двата съседни интервала, които определя разглежданата точка). Определя се като реципрочна стойност на кривината.

✓ **Хоризонтални деформации** – ε (интервална характеристика). Определят се като отношение на разликата в хоризонталните движения на точките, определящи интервала към разстоянието между тях след подработването им или като първа производна на функцията на хоризонталните движения. Деформациите на опън се означават като положителни, а тези на натиск като отрицателни.

Разпределението на линейните и деформационни параметри в главните сечения на мулдата са показани на Фиг. II.2 и Фиг. II.3.

Ъгловите, линейните и деформационните параметри на процеса движение на скалите и земната повърхност, се отнасят към основните изходни данни, необходими при проектирането и строителството на подземни и наземни обекти в миннодобивните райони.

За условията в България, техните стойности за всички въглищни басейни са дадени в „Инструкцията за опазване на обектите от вредното влияние на подземните минни работи при въглищни находища“ [4]. Въз основа на тези данни се решават задачи, свързани с планирането и воденето на минни работи под застроени територии, инфраструктурни комуникации, реки, водоеми и други обекти, разположени на земната повърхност.

Полумулди:

✓ **L_1 - по западане** - намира се в главното сечение по западане. Дължината ѝ се определя от границата на мулдата по западане до точката с максимално слягане, при непълно подработване (Фиг. I.1) или до границата на плоското дъно, при пълно подработване на земната повърхност (Фиг. I.2).

✓ **L_2 – по задигане** – намира се в главното сечение по западане. Дължината ѝ се определя от границата на мулдата по задигане до точката с максимално слягане, при непълно подработване (Фиг. 1.1) или до границата на плоското дъно, при пълно подработване на земната повърхност (Фиг. 1.2).

✓ **L_3 - по простиране** - намира се в главното сечение по простиране. Дължината ѝ се определя от границата на мулдата по простиране до точката с максимално слягане, при непълно подработване (Фиг. 1.1) или границата на плоското дъно, при пълно подработване на земната повърхност (Фиг. 1.2).

§ 1.2. Предимства и недостатъци на методите за прогнозиране на линейните и деформационни параметри на процеса движение на скалите

Явленията преместване, деформиране и разкъсване на земната повърхност, вследствие на подземния добив на въглища, могат да причинят екологични проблеми и щети на обектите, които са разположени върху нея. За да се защитят околната среда, сградите и съоръженията от тези щети е от съществено значение точното и надеждно прогнозиране на преместванията и деформациите в мулдата на движение.

В настоящия етап от развитието на научното знание в областта на движение на скалите липсва фундаментална теория, която да описва в пълнота процеса на деформиране и преместване на скалите в целия му обем – от добивните изработки до земната повърхност. Ето защо, съществуващите методи за прогнозиране се основават на допускания и хипотези и притежават различни техники на реализация.

В дисертационния труд са разгледани четири класификации на прилаганите методи за прогнозиране на линейните и деформационни параметри:

1. На Хелмут Кратч, [6. стр. 158 - 160].
2. На Бари Уитакър и Давид Редиш, [44 стр. 52 - 82].
3. На професор Н. Саксена и колектив, [17 стр. 369 - 382].
4. На професор К. Сингх и колектив, [34 стр. 13 - 19].

Въз основа на анализите на техните автори е обобщено, че:

- Емпиричните методи са локални по природа и изискват голям обем от измервания и изучаване на необходимите параметри за всеки регион;
- Механистичният подход е фундаментален, но съществува проблем с определянето на физико-механичните свойства на литоложките разновидности във всеки отделен случай, което обикновено не е по възможностите на минните предприятия. Случайното намаляване на резултатите от лабораторните изпитания за пробите го прави още по-ненадежден;
- Функционалните методи са лесни за прилагане и могат да включват ефекта от различните фактори, както и сложната минна ситуация.
- Изследванията трябва да бъдат насочени към механистичния подход, за да може той да стане по-съдържателен, надежден и практичен. До тогава, подобренията на емпиричните и функционалните методи следва да продължат.
- Основните недостатъци на метода на типовите криви са:

- Типовите криви за разпределение на линейните и деформационни параметри се получават чрез геодезически измервания, които продължават с години;
 - Получените резултати от наблюденията са приложими само за възлищното находище, за което са определени;
 - Областта на приложение е ограничена и включва само правоъгълни форми на добивните изработки;
 - Прогнозирането се извършва само за две профилни линии;
 - Методът е графоаналитичен, т. е. дължините на полумулдите се определят графично от вертикални сечения.
- За усъвършенстване на **метода на типовите криви** се предлага:

1. Аналитично определяне на дължините на полумулдите. Изчисляването на стойностите на L_1 , L_2 и L_3 чрез формули го превръща от графоаналитичен в аналитичен метод за прогнозиране на линейните и деформационни параметри на мулдата на движение. Съществуването на тези формули е и една от основните предпоставки за създаване на математични модели за управление на деформационната картина на земната повърхност.

2. Допълване с алгоритми за прогнозиране за:

- произволно сечение успоредно на главно сечение и
- произволна точка от мулдата на движение,

като по този начин, отпада един от основните му недостатъци, а именно, че е приложим само за две направления – по посока на простирането на възлищния пласт и перпендикулярно на него.

§ 1.3. Намаляване на деформациите на земната повърхност при подработване на обекти чрез оптимално разположение на добивните изработки

Разработването и прилагането на мерки за намаляване на деформациите в масива и на земната повърхност е актуален проблем за възледобива в световен мащаб, тъй като милиарди тонове от висококачествени възлища се намират под заселени територии, под инженерни и природни обекти. По голямата част от тези запаси са разкрити и до известна степен подготвени за изземване.

Намаляването на деформациите на земната повърхност и подработваните обекти до безопасните им стойности чрез оптимално разположение на добивните фронтове е един от похватите на така наречените миннотехнически мероприятия. Прилаганите схеми на разработване са подробно разгледани в [5], [6], [8], [9], [10], [12], [13], [28] и [33].

Под безопасни стойности на деформациите се разбират такива стойности, които са по-малки от допустимите за всеки конкретен обект (Таблица III.1).

В световната практика са известни много случаи на подработване на обекти, разположени на земната повърхност. В това отношение, опитът в нашата страна е беден.

Анализиран и обобщен е опитът на Германия [6, стр.419 - 436], **Полша** [33, стр. 433 -446] и **Русия** [9, стр. 258 - 259] за намаляване на деформациите на земната повърхност чрез оптимално разположение на добивните изработки, с цел опазване на обектите или минимизиране на щетите, причинени от подземните минни работи:

1. В литературата се предлагат множество геометрични схеми за ситуиране на добивните изработки спрямо опазваните обекти, разположени на земната повърхност.

2. В по-голямата си част, тези схеми се отнасят за хоризонтални пластове, където е налице симетричност в разпределенията на линейните и деформационни параметри.

3. Схеми за наклонени пластове почти липсват.

4. Създадените схеми са приложими единствено за главните сечения по простиране, при наклонени пластове, където процесът протича подобно на този при хоризонтални пластове.

5. Най-често използваният критерий е разпределението на хоризонталните деформации.

6. Реализирането на схемите включва определяне на стойности на различни параметри чрез многовариантни изчисления и сравнителен анализ.

§ I.4. Цели и задачи на дисертационния труд

Въз основа на литературния обзор, направен в § I.2. и § I.3., са формулирани целите и задачите на дисертационния труд.

Усъвършенстване на метода на типовите криви чрез решаване на задачите:

1. Аналитично определяне на дължините на полумулдите. Изчисляването на стойностите на L_1 , L_2 и L_3 чрез формули превръща метода на типовите криви от графоаналитичен в аналитичен метод за прогнозиране на линейните и деформационни параметри на процеса движение на скалите. Съществуването на тези формули е важна предпоставка за създаване на математични модели за управление на деформационната картина на земната повърхност.

2. Допълване с алгоритми за прогнозиране на линейните и деформационни параметри:

а. за произволно сечение успоредно на главно сечение и

б. за произволна точка от мулдата на движение.

Така отпада един от основните недостатъци на метода, а именно, че той е приложим само за две направления – по посока на простирането на възлищния пласт и перпендикулярно на него.

Създаване на математични модели за оптимално определяне разположението и размерите на добивните изработки спрямо подработваните обекти с цел минимизиране на деформациите на земната повърхност, като алтернатива на предлаганите в литературата геометрични схеми. Моделите са приложими за полегати и наклонени пластове, а използваният критерий е разпределението на хоризонталните деформации в сечение, перпендикулярно на простирането на възлищния пласт при:

1. подработване с един добивен фронт;

2. подработване с два добивни фронта по един възлищен пласт.

Глава II. ДОПЪЛНЕНИЕ НА МЕТОДА НА ТИПОВИТЕ КРИВИ

В нашата страна, подработването на сгради, съоръжения и природни феномени, разположени на земната повърхност, с подземни минни работи при разработването на въглищни находища се извършва в съответствие с правила регламентирани в „Раздел XI” на съществуващата Инструкция [4, стр. 154 – 156]. Според тези правила, оценката на възможността за подработване на обектите се извършва въз основа на прогнозни стойности на линейните и деформационни параметри на процеса движение на скалите, определени по метода на типовите криви. Неговата същност, като метод за прогнозиране за главните сечения на мулдата на движение, е подробно изложена в [4, стр. 148 - 153] и [11, стр. 486 – 493].

Допълнението към метода на типовите криви включва:

- 1. Формули за аналитично определяне дължините на полумулдите – (II.4), (II.5), (II.6), (II.7), (II.8), (II.9), (II.10) и (II.11) в т. 3 на §II.1.;***
- 2. Алгоритъм за прогнозиране за произволно сечение, успоредно на главното сечение по простирание - §II.2. т. А;***
- 3. Алгоритъм за прогнозиране за произволно сечение, успоредно на главното сечение по западане - §II.2. т. Б;***
- 4. Алгоритъм за прогнозиране за произволна точка от мулдата на движение - §II.3.***

Методът на типовите криви използва следните параметри:

D_1 - широчина на добивния фронт, за който се прогнозира, [m];

D_2 – дължина на добивния фронт, за който се прогнозира, [m];

H – средна дълбочина на добивния фронт, определена за средата на D_1 , [m];

α – ъгъл на наклона на въглищния пласт, [deg];

m – мощност на въглищния пласт, [m];

$\beta_0, \gamma_0, \delta_0$ – стойности на граничните ъгли, които се определят от [4, стр. 149 – 150], [deg];

ψ_1, ψ_2, ψ_3 – стойности на ъглите на пълно подработване, [4, стр. 149 - 150], [deg];

θ – ъгъл на максимално слягане, който се определя от [4, стр. 149 – 150], [deg];

q_0 – коефициент на относително максимално слягане, който се определя от [4, стр. 151];

L_1 – полумулда по западане, [m];

L_2 – полумулда по задигане, [m];

L_3 – полумулда по простирание, [m];

$S(z)$ – типова крива за разпределение на слягането;

$S'(z)$ – типова крива за разпределение на наклона;

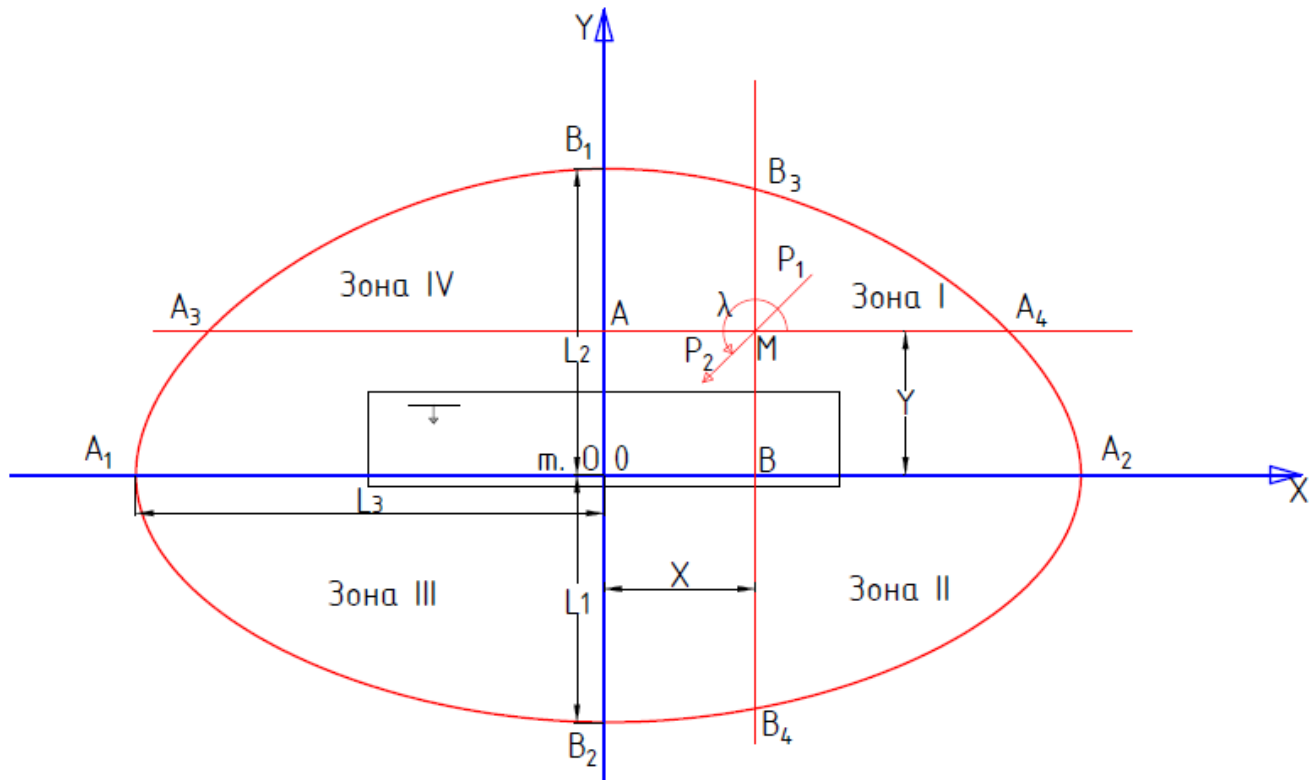
$S''(z)$ – типова крива за разпределение на кривината;

$F(z)$ – типова крива за разпределение на хоризонталните движения;

$F'(z)$ - типова крива за разпределение на хоризонталните деформации.

Типовите криви са дискретни функции, чиито стойности за различните въглищни находища са определени чрез геодезически измервания за 11 стойности на $z - 0, 0.1, 0.2 \dots 1.$, съответстващи на точки от полумулдата – $0L_j, 0.1L_j, 0.2L_j \dots 1L_j$ ($j = 1, 2, 3$). Те се определят от [4, Таблица 30].

За по-лесно описание на мулдата се предлага въвеждането на ос x по посока на простирането на пласта в главното сечение по простиране, по такъв начин, че посоката на западане на въглищния пласт остава в дясно и на ос y , перпендикулярно на простирането в главното сечение по западане (Фиг. II.1).



Фиг. II.1 Мулдата на движение изобразена в план.

§II.1. Алгоритъм за прогнозиране за главните сечения.

Главните сечения по западане и задигане са показани на Фиг. II.2 и Фиг. II.3.

1. Изчисляване стойностите на коефициентите на подработване:

а.) По западане:

$$(II.1) \quad n_1 = 0.5 \frac{D_1}{H} tg \psi_3$$

б.) По простиране:

$$(II.2) \quad n_2 = 0.5 \frac{D_2}{H} tg \psi_3$$

2. Изчисляване на максималното слягане:

$$(II.3) \quad \eta_m = q_0 m \cos \alpha \sqrt{n_1 n_2}, [mm]$$

3. Аналитично определяне дължините на полумулдите по формули (II.4... II.11):

а.) По простиране в началото на фронта:

$$(II. 4) \quad L_3 = H_{\text{пр}} \cotg \delta_0 + 0.5 D_2, [m] \text{ ако } n_2 < 1 \text{ и}$$

$$(II. 5) \quad L_3 = H_{\text{пр}} \cotg \delta_0 + H_{\text{пр}} \cotg \psi_3, [m] \text{ ако } n_2 = 1, \text{ където}$$

$H_{\text{пр}}, [m]$ е дълбочината на възглицния пласт в главното сечение по простиране в началото на фронта.

б.) По простиране в края на фронта:

$$(II. 6) \quad L_3 = H_{\text{пр}} \cotg \delta_0 + 0.5 D_2, [m] \text{ ако } n_2 < 1 \text{ и}$$

$$(II. 7) \quad L_3 = H_{\text{пр}} \cotg \delta_0 + H_{\text{пр}} \cotg \psi_3, [m] \text{ ако } n_2 = 1, \text{ където:}$$

$H_{\text{пр}}, [m]$ е дълбочината на възглицния пласт в главното сечение по простиране в края на фронта.

в.) По западане:

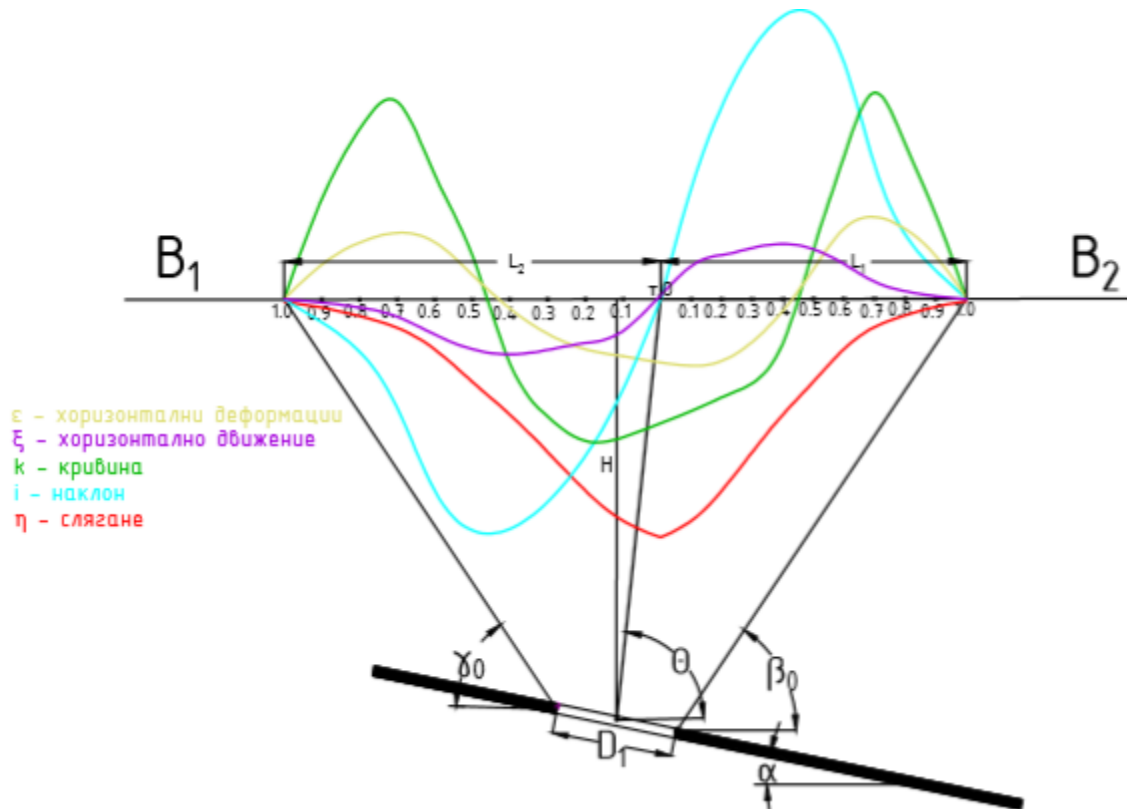
$$(II. 8) \quad L_1 = \frac{2H + D_1 \sin \alpha}{2 \tan \beta_0} + \frac{D_1 \cos \alpha}{2} - \frac{H}{\tan \theta}, [m] \text{ ако } n_1 < 1 \text{ и}$$

$$(II. 9) \quad L_1 = \frac{2H + D_1 \sin \alpha}{2 \tan \beta_0} + \frac{2H + D_1 \sin \alpha}{2 \tan(\psi_1 + \alpha)}, [m] \text{ ако } n_1 = 1.$$

г.) По задигане:

$$(II. 10) \quad L_2 = \frac{2H - D_1 \sin \alpha}{2 \tan \gamma_0} + \frac{D_1 \cos \alpha}{2} + \frac{H}{\tan \theta}, [m] \text{ ако } n_1 < 1 \text{ и}$$

$$(II. 11) \quad L_2 = \frac{2H - D_1 \sin \alpha}{2 \tan \gamma_0} + \frac{2H + D_1 \sin \alpha}{2 \tan(\psi_2 - \alpha)}, [m] \text{ ако } n_1 = 1.$$



Фиг. II.2 Главно сечение по западане.

4. Генериране на точките, в които са зададени типовите криви чрез разделяне на полумулдите на десет равни части – Фиг. II.2 и Фиг. II.3.

5. Прогнозиране на слягането по формулата:

$$(II.12) \quad \eta(x,y) = \eta_m S(z), [\text{mm}] \text{ за трите полумулди.}$$

а.) За полумулда по простиране:

$$z = z_x = \frac{x}{L_3}, \text{ където } x \text{ е разстоянието от точката с максимално слягане}$$

до разглежданата точка при непълно подработване или разстоянието от края на плоското дъно до разглежданата точка при пълно подработване.

б.) За полумулдата по западане:

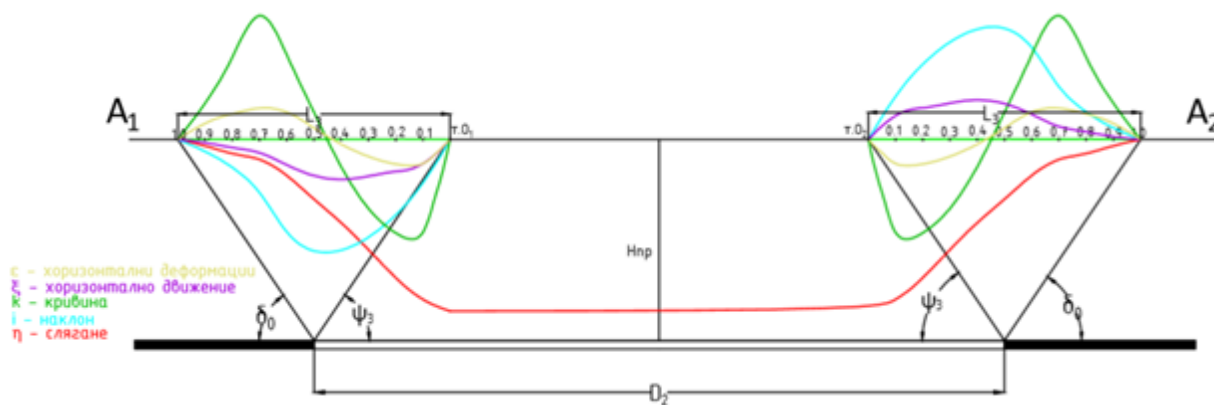
$$z = z_{y_1} = \frac{y_1}{L_1}, \text{ където } y_1 \text{ е разстояние от точката с максимално}$$

слягане до разглежданата точка при непълно подработване или разстояние от края на плоското дъно до разглежданата точка при пълно подработване.

в.) За полумулдата по задигане:

$$z = z_{y_2} = \frac{y_2}{L_2}, \text{ където } y_2 \text{ е разстояние от точката с максимално}$$

слягане до разглежданата точка при непълно подработване или разстояние от края на плоското дъно до разглежданата точка при пълно подработване.



Фиг. II.3 Главно сечение по простиране.

6. Прогнозиране на наклоните:

а.) По простиране за началото на фронта:

$$(II.13) \quad i(x, 0) = i_x = \frac{\eta_m}{L_3} S'(z_x), [\text{mm/m}]$$

б.) По простиране за края на фронта:

$$(II.14) \quad i(x, 0) = i_x = -\frac{\eta_m}{L_3} S'(z_x), [\text{mm/m}]$$

в.) По западане:

$$(II.15) \quad i(0, y_1) = i_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1} S'(z_{y_1}), [\text{mm/m}]$$

г.) По задигане:

$$(II.16) \quad i(0, y_2) = i_{y_2} = -\frac{\eta_m}{L_2} S'(z_{y_2}), [\text{mm/m}]$$

7. Прогнозиране на кривината:

а.) По простиране:

$$(II.17) \quad k(x, 0) = k_x = \frac{\eta_m}{L_3^2} S''(z_x), [1/\text{m}]$$

б.) По западане:

$$(II.18) \quad k(0, y_1) = k_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1^2} S''(z_{y_1}), [1/\text{m}]$$

в.) По задигане:

$$(II.19) \quad k(0, y_2) = k_{y_2} = \frac{\eta_m}{L_2^2} S''(z_{y_2}), [1/\text{m}]$$

8. Прогнозиране на хоризонталните движения:

а.) По простиране за началото на фронта:

$$(II.20) \quad \zeta(x, 0) = \zeta_x = \eta_m F(z_x), [\text{mm}]$$

б.) По простиране за края на фронта:

$$(II.21) \quad \zeta(x, 0) = \zeta_x = -\eta_m F(z_x), [\text{mm}]$$

в.) По западане:

$$(II.22) \quad \zeta(0, y_1) = \zeta_{y_1} = \eta_m F(z_{y_1}), [\text{mm}]$$

г.) По задигане:

$$(II.23) \quad \zeta(0, y_2) = \zeta_{y_2} = -\eta_m F(z_{y_2}), [\text{mm}]$$

9. Прогнозиране на хоризонталните деформации:

а.) По простиране:

$$(II.24) \quad \varepsilon(x, 0) = \varepsilon_x = \frac{\eta_m}{L_3} F'(z_x), [\text{mm/m}]$$

в.) По западане:

$$(II.25) \quad \varepsilon(0, y_1) = \varepsilon_{y_1} = \frac{\eta_m}{L_1} F'(z_{y_1}), [\text{mm/m}]$$

г.) По задигане:

$$(II.26) \quad \varepsilon(0, y_2) = \varepsilon_{y_2} = \frac{\eta_m}{L_2} F'(z_{y_2}), [\text{mm/m}]$$

10. Графично изобразяване на прогнозните стойности на линейните и деформационни параметри – Фиг. II.2 и Фиг. II.3.

§II.2. Алгоритми за прогнозиране за произволни сечения, успоредни на главните

Алгоритмите за прогнозиране за произволно сечение, успоредно на главно сечение, са логично продължение на метода на типовите криви. Те са описани в [9], но в [4] липсват.

А.) Алгоритъм за прогнозиране за произволно сечение, успоредно на главното сечение по простиране.

Например, сечението $A_3 - A_4$ на Фиг. II. 1 е произволно сечение, успоредно на главното сечение по простиране.

1. Определяне на максималното слягане за сечението. Слягането в т. А – $\eta_A = \eta(0, Y)$ се определя от разпределението на слягането в главното сечение по западане чрез интерполация за Y .

2. Прогнозиране на слягането по формула:

$$(II.27) \quad \eta(x, Y) = \eta_A S(z_x), [mm].$$

3. Прогнозиране на наклоните:

а.) По простиране за началото на фронта:

$$(II.28) \quad i(x, Y) = \frac{\eta_A}{L_3} S'(z_x), [mm/m]$$

б.) По простиране за края на фронта:

$$(II.29) \quad i(x, Y) = -\frac{\eta_A}{L_3} S'(z_x), [mm/m].$$

4. Прогнозиране на кривината:

$$(II.30) \quad k(x, Y) = \frac{\eta_A}{L_3^2} S''(z_x), [1/m]$$

5. Прогнозиране на хоризонталните движения:

а.) По простиране за началото на фронта:

$$(II.31) \quad \zeta(x, Y) = \eta_A F(z_x), [mm];$$

б.) По простиране за края на фронта:

$$(II.32) \quad \zeta(x, Y) = -\eta_A F(z_x), [mm]$$

6. Прогнозиране на хоризонталните деформации:

$$(II.33) \quad \varepsilon(x, Y) = \frac{\eta_A}{L_3} F'(z_x), [mm/m].$$

Б.) Алгоритъм за прогнозиране за произволно сечение, успоредно на главното сечение по западане.

Например, сечението $B_3 - B_4$ на Фиг. II. 1 е произволно сечение, успоредно на главното сечение по западане.

1. Определяне на максималното слягане за сечението. Слягането в т. В – $\eta_B = \eta(X, 0)$ се определя от разпределението на слягането в главното сечение по простиране чрез интерполация за X.

2. Прогнозиране на слягането:

а.) По западане:

$$(II.34) \quad \eta(X, y_1) = \eta_B S(z_{y_1}), [mm].$$

б.) По задигане:

$$(II.35) \quad \eta(X, y_2) = \eta_B S(z_{y_2}), [mm].$$

3. Прогнозиране на наклоните:

а.) По западане:

$$(II.36) \quad i(X, y_1) = \frac{\eta_B}{L_1} S'(z_{y_1}), [mm/m]$$

б.) По задигане:

$$(II.37) \quad i(X, y_2) = -\frac{\eta_B}{L_2} S'(z_{y_2}), [mm/m]$$

4. Прогнозиране на кривината:

а.) По западане:

$$(II.38) \quad k(X, y_1) = \frac{\eta_B}{L_1^2} S''(z_{y_1}), [1/m]$$

б.) По задигане:

$$(II.39) \quad k(X, y_2) = \frac{\eta_B}{L_2^2} S''(z_{y_2}), [1/m]$$

5. Прогнозиране на хоризонталните движения:

а.) По западане:

$$(II.40) \quad \zeta(X, y_1) = \eta_B F(z_{y_1}), [mm]$$

б.) По задигане:

$$(II.41) \quad \zeta(X, y_2) = -\eta_B S'(z_{y_2}), [mm].$$

6. Прогнозиране на хоризонталните деформации:

а.) По западане:

$$(II.42) \quad \varepsilon(X, y_1) = \frac{\eta_B}{L_1} F'(z_{y_1}), [mm/m]$$

б.) По задигане:

$$(II.43) \quad \varepsilon(X, y_2) = \frac{\eta_B}{L_2} F'(z_{y_2}), [mm/m]$$

§II.3. Алгоритъм за прогнозиране за произволна точка от мулдата на движение

Формулите, които участват в този алгоритъм, се извеждат чрез диференциране въз основа на зависимости, известни от математиката. Техниката на извеждане е дадена в [7, стр. 317 – 319]. Същият подход е приложен за българските типови криви.

1. Слягането в точката М (Фиг. II.1) с координати X и Y се определя по формула (II.44):

$$(II.44) \quad \eta_M = \eta_M S(z_X) S(z_Y), [\text{mm}], \text{ където:}$$

$S(z_X)$ е стойност на функцията $S(z)$, определена чрез интерполация за $z_X = \frac{X}{L_3}$;
 $S(z_Y)$ е стойност на функцията $S(z)$, определена чрез интерполация за $z_Y = \frac{Y}{L_1}$,
ако т. М принадлежи на полумулдата по западане или за $z_Y = \frac{Y}{L_2}$, ако т. М принадлежи на полумулдата по задигане (Фиг. II.1).

2. Прогнозиране на наклоните в точка М:

а.) За направление, успоредно на главното сечение по простиране:

$$(II.45) \quad i_{M_X} = i_X S(z_Y), [\text{mm/m}], \text{ където:}$$

i_X се изчислява по формула (II.13) или (II.14) за стойност X.

б.) За направление, успоредно на главното сечение по западане:

$$(II.46) \quad i_{M_Y} = i_Y S(z_X), [\text{mm/m}], \text{ където:}$$

i_Y се изчислява по формула (II.15) или (II.16) ако т. М принадлежи на полумулдата по западане или на полумулдата по задигане, за ст. Y.

в.) За произволно направление в мулдата, например $P_1 - P_2$ на Фиг. II.1:

$$(II.47) \quad i_\lambda = i_{M_X} \cos \lambda + i_{M_Y} \sin \lambda, [\text{mm/m}], \text{ където:}$$

λ е ъгълът, който описва оста x по посока обратна на часовниковата стрелка, докато се слее със зададеното направление – Фиг. II.1.

3. Прогнозиране на кривината в т. М:

а.) За направление, успоредно на главното сечение по простиране:

$$(II.48) \quad k_{M_X} = k_X S(z_Y), [1/\text{m}], \text{ където:}$$

k_X се изчислява по формула (II.17) за стойност X.

б.) За направление, успоредно на главното сечение по западане:

$$(II.49) \quad k_{M_Y} = k_Y S(z_X), [1/\text{m}], \text{ където:}$$

k_Y се изчислява по формула (II.18) или (II.19) ако т. М принадлежи на полумулдата по западане или на полумулдата по задигане, за ст. Y.

в.) За произволно направление в мулдата, например $P_1 - P_2$ на Фиг. II.1:

$$(II.50) \quad k_\lambda = k_{M_X} \cos^2 \lambda + k_{M_Y} \sin^2 \lambda + J_M \sin 2\lambda, [1/m], \text{ където:}$$

λ е ъгълът, който описва оста x по посока обратна на часовниковата стрелка, докато се слее със зададеното направление – Фиг. II.1.

Ако т. М е разположена в полумулдата по западане, J_M се определя по формулата:

$$(II.51) \quad J_M = \frac{i_X S'(z_Y)}{L_1}$$

Ако т. М е разположена в полумулдата по задигане, J_M се определя по формулата:

$$(II.52) \quad J_M = \frac{i_X S'(z_Y)}{L_2}, \text{ а}$$

i_X се изчислява по формула (II.13) за стойност X .

В [9, стр. 198], J_M се дефинира като стойност, характеризираща завъртането (посукването) на земната повърхност в точката М.

Знаците на $S'(z_Y)$ се определят от Таблица II.1 в зависимост от това в коя зона, означена на Фиг. II.1, принадлежи т. М.

Таблица II.1 Знаци на $S'(z_X)$ и $S'(z_Y)$.

Зона	$S'(z_X)$	$S'(z_Y)$
I	< 0	< 0
II	< 0	> 0
III	> 0	> 0
IV	> 0	< 0

4. Прогнозиране на хоризонталните движения в точка М:

а.) За направление, успоредно на главното сечение по простиране:

$$(II.53) \quad \zeta_{M_X} = \zeta_X S(z_Y), [mm], \text{ където:}$$

ζ_X се изчислява по формули (II.20) или (II.21), за стойност X .

б.) За направление, успоредно на главното сечение по западане:

$$(II.54) \quad \zeta_{M_Y} = \zeta_Y S(z_X), [mm], \text{ където:}$$

ζ_Y се изчислява за стойност Y , по формула (II.22), ако т. М принадлежи на полумулдата по западане или по формула (II.23), ако т. М принадлежи на полумулдата по задигане.

в.) За произволно направление в мулдата, например $P_1 - P_2$ на Фиг. II.1:

$$(II.55) \quad \zeta_\lambda = \zeta_{M_X} \cos \lambda + \zeta_{M_Y} \sin \lambda, [mm], \text{ където:}$$

λ е ъгълът, който описва оста x по посока обратна на часовниковата стрелка, докато се слее със зададеното направление – Фиг. II.1.

5. Прогнозиране на хоризонталните деформации в т. М:

а.) За направление, успоредно на главното сечение по простиране:

$$(II.56) \quad \varepsilon_{M_X} = \varepsilon_X S(z_Y), [\text{mm/m}], \text{ където:}$$

ε_X се изчислява по формула (II.24) за стойност X.

б.) За направление, успоредно на главното сечение по западане:

$$(II.57) \quad \varepsilon_{M_Y} = \varepsilon_Y S(z_X), [\text{mm/m}], \text{ където:}$$

ε_Y се изчислява по формула (II.25), ако т. М принадлежи на полумулдата по западане или по формула (II.26), ако т. М принадлежи на полумулдата по задигане, за стойност Y.

в.) За произволно направление в мулдата, например $P_1 - P_2$ на Фиг. II.1:

$$(II.58) \quad \varepsilon_\lambda = \varepsilon_{M_X} \cos^2 \lambda + \varepsilon_{M_Y} \sin^2 \lambda + 0.5 \Delta_M \sin 2\lambda, [\text{mm/m}], \text{ където:}$$

λ е ъгълът, който описва оста x по посока обратна на часовниковата стрелка, докато се слее със зададеното направление – Фиг. II.1.

Ако т. М е разположена в полумулдата по западане, Δ_M се определя по формулата:

$$(II.59) \quad \Delta_M = \frac{\zeta_X F(z_Y)}{L_1} + \frac{\zeta_Y F(z_X)}{L_3}, \text{ където}$$

ζ_X се изчислява по формули (II.20) или (II.21), за стойност X и
 ζ_Y се изчислява по формула (II.22), за стойност Y.

Ако т. М е разположена в полумулдата по задигане, Δ_M се определя по формулата:

$$(II.60) \quad \Delta_M = \frac{\zeta_X F(z_Y)}{L_2} + \frac{\zeta_Y F(z_X)}{L_3}, \text{ където:}$$

ζ_X се изчислява по формули (II.20) или (II.21), за стойност X и
 ζ_Y се изчислява по формула (II.23), за стойност Y.

В [9, стр. 199], Δ_M се дефинира като стойност, характеризираща скосяването (отместването) на земната повърхност в точката М.

Знаците на $F(z_Y)$ и $F(z_X)$ се определят от Таблица II.2 в зависимост от това в коя зона, означена на Фиг. II.1, принадлежи т. М.

Таблица II.2 Знаци на $F(z_Y)$ и $F(z_X)$.

Зона	$F(z_X)$	$F(z_Y)$
I	< 0	< 0
II	< 0	> 0
III	> 0	> 0
IV	> 0	< 0

Изложените алгоритми в §II.1. и §II.2. са използвани при създаването на компютърната програма „Протаб“ [1]. Тя е предназначена за изчисляване на очакваните премествания и деформации на земната повърхност по метода на типовите криви и оценка на възможността на подработване на сгради. Разработването ѝ е финансирано от Националния фонд за научни изследвания [2] – Приложение 1.

Глава III. РАЗРАБОТВАНЕ НА МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДЕФОРМАЦИИТЕ ПРИ ПОДРАБОТВАНЕ НА ОБЕКТИ, РАЗПОЛОЖЕНИ НА ЗЕМНАТА ПОВЪРХНОСТ

§ III.1. Модели за определяне разположението и размерите на един добивен фронт така, че деформациите на земната повърхност да са по-малки от допустимите за опазвания обект

Задачата за подработване на един обект, разположен на земната повърхност така, че той да запази своята цялост и нормален режим на експлоатация, не винаги има решение. Експертното решение за подработване се взема на етап проектиране на минните изработки въз основа на прогнозни стойности за линейните и деформационни параметри, описващи мулдата на движение. Тази мулда се формира след изземването на добивния фронт, подработващ обекта. В нашата страна, прогнозирането на линейните и деформационни параметри се извършва по метода на типовите криви, който е описан подробно в [4, стр. 148 – 153], [11, стр. 486 – 493] и [14].

Когато ъгълът на наклона на възлищния пласт е постоянен, задачата за определяне разположението на един добивен фронт е еквивалентна на задачата за определяне на неговата средна дълбочина на разработване H (Фиг. III.1).

Избор на критерий

В специализираната литература [6, стр. 435], [7, стр. 340 – 341] и [9, стр. 258], като необходимо и достатъчно условие за взимане на решение за подработване на даден обект е посочен критерий изискващ **прогнозните стойности за хоризонталните деформации, предизвикани от добивния фронт, да не превишават допустимите стойности за обекта.**

За да може да бъде подработен един обект, разположен на земната повърхност, както и да бъде запазен нормалният му режим на експлоатация, е необходимо:

(III.1) $\varepsilon_{\text{доп}} \geq \max \varepsilon (0, y)$, където:

$\varepsilon_{\text{доп}}$ се определя от Таблица III. 1 за категорията на опазвания обект;

Таблица III. 1 Стойности на хоризонталните деформации, [4, стр.154].

Показател	Допустими стойности на хоризонталните деформации за опазваните обекти			
Категория	първа	втора	трета	четвърта
Хор. деф., [mm/m]	1 – 3	3 – 5	5 – 8	8 – 12

$\max \varepsilon (0, y)$ е максималната стойност на хоризонталните деформации в главното сечение по западане. Ако опазваният обект се намира в полумулдата по западане, се определя по формула (III.2) или в полумулдата по задигане по (III.3).

(III.2) $\max \varepsilon (0, y) = \max \varepsilon (0, y_1) = \frac{\eta_m}{L_1} \max F'(y_1)$, [mm/m]

(III.3) $\max \varepsilon (0, y) = \max \varepsilon (0, y_2) = \frac{\eta_m}{L_2} \max F'(y_2)$, [mm/m], където:

$\max F'(y_1)$ и $\max F'(y_2)$ са максималните стойности на типовите криви в разпределението на хоризонталните деформации, съответно в полумулдите по западане – L_1 и по задигане – L_2 .

1. Когато опазваният обект е разположен в полумулдата по западане на добивен фронт с широчина D_1 – Модел 1 (Фиг. III.1).

Въвежда се означението $d = 0.5D_1$ и се замества в (II. 8).

$$(III.4) \quad L_1 = \frac{H + d \sin \alpha}{\tan \beta_0} + d \cos \alpha - \frac{H}{\tan \theta}, [m] \text{ или}$$

$$L_1 = \frac{H \tan \theta + d \tan \theta \sin \alpha + d \cos \alpha \tan \theta \tan \beta_0 - H \tan \beta_0}{\tan \beta_0 \tan \theta}, [m]$$

η_m е максималното слягане, което се определя по формула (II.3) и за $n_1 < 1$ и $n_2 = 1$ придобива вида:

$$(III.5) \quad \eta_m = q_0 m \cos \alpha \sqrt{\frac{\tan \psi_3 d}{H}}, [mm], \text{ където:}$$

H – средна дълбочина на фронта, [m];

m – изземвана мощност, [m];

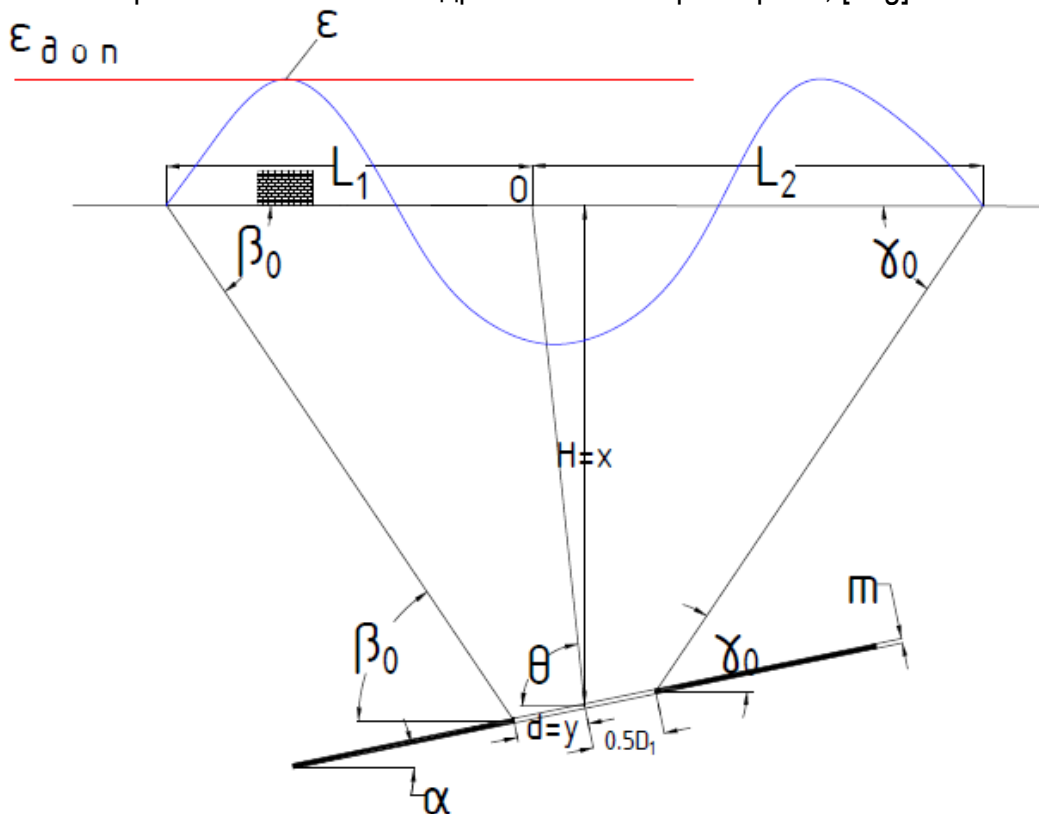
q_0 – коефициент на относително максимално слягане;

α – ъгъл на наклона на въглищния пласт, [deg];

θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];

β_0, γ_0 – гранични ъгли по западане и задигане на въглищния пласт, при първично или вторично подработване [deg];

ψ_3 – ъгъл на пълно подработване по простиране, [deg].



Фиг. III.1 Означения в Модел 1.

Замества се с (III.2) в неравенство (III.1):

$$(III.6) \quad \varepsilon_{\text{доп}} \geq \frac{\eta_m}{L_1} \max F'(y_1)$$

След преработка, неравенство (III.6) придобива вида:

$$(III.9) \quad C_1 H + C_2 d \geq C_3 \sqrt{\frac{\tan \psi_3 d}{H}}, \text{ където}$$

$$C_1 = \tan \theta - \tan \beta_0$$

$$C_2 = \tan \theta (\sin \alpha + \cos \alpha \tan \beta_0)$$

$$C_3 = \frac{\max F'(y_1)}{\varepsilon_{\text{доп}}} q_0 m \cos \alpha \tan \beta_0 \tan \theta.$$

Горното неравенство е функция на две неизвестни – d и H. От математиката е известно, че неравенства от този вид се решават като на едно от неизвестните се зададе конкретна стойност.

а. Дадена е широчината на добивния фронт D_1 и се търси средната дълбочина H, при която прогнозните хоризонтални деформации са по-малки от допустимите, т. е. $H=x$

Въвеждат се следните означения:

$$a_1 = C_1^2$$

$$b_1 = 2C_1 C_2 d$$

$$c_1 = C_2^2 d^2$$

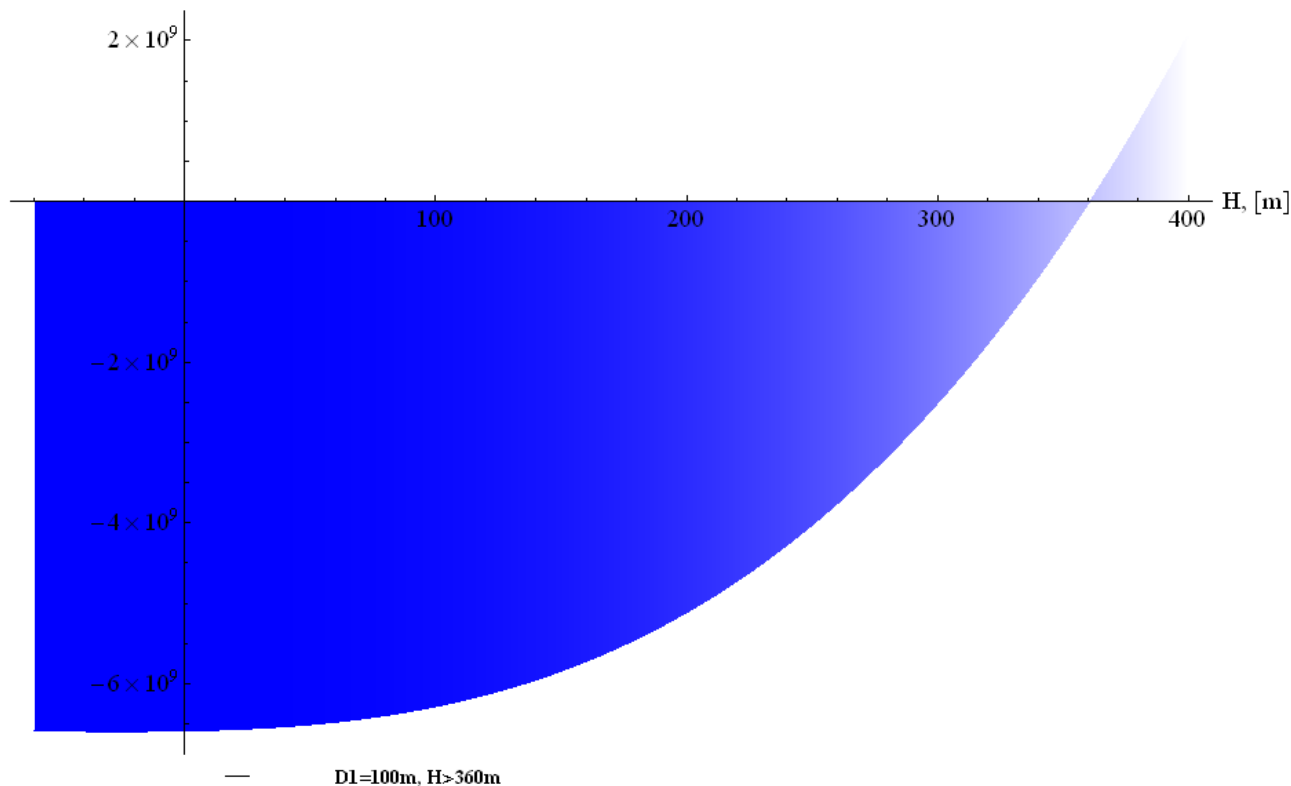
$$d_1 = C_3^2 \tan \psi_3 d \text{ и се замества в (III.9).}$$

$$(III.12) \quad a_1 x^3 + b_1 x^2 + c_1 x - d_1 \geq 0.$$

Следователно, математичният модел на задачата за определяне на минималната дълбочина, при която прогнозните стойности на хоризонталните деформации са по-малки от допустимите за опазвания обект, при зададена широчина на добивния фронт, представлява кубично неравенство (III.12).

Създаденият модел е тестван със софтуерния продукт Mathematica [45] и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ - $\beta_0=51.8^\circ$, $\gamma_0=57.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$ и $\psi_3=63^\circ$. Изземваната мощност е $m=5$ m. Стойността на коефициента на относително максимално слягане е $q_0=0.75$ [4, стр. 151]. Максималната стойност на типовата крива в разпределението на хоризонталните деформации в полумулдата по западане $\max F'(y_1)=0.79$ [4, Таблица 30]. $\varepsilon_{\text{доп}}=5$ mm/m – за обекти втора категория по опазване (Таблица III.1).

Определяне на средната дълбочина H , [m]



Фиг. III.2 Графично изображение на решението на кубично неравенство (III.12), за $D_1=100$ m и $m=5$ m.

- Решеното с горните данни кубично уравнение (III.12) има два ирационални и един реален корен. Решение на неравенство (III.12) са всички стойности по-големи от реалния корен – Фиг. III.2.
- Моделът (III.12) позволява определянето и сравняването на допустимите дълбочини на разработване за различни широчини на добивния фронт – Приложение 2, Фиг. 2.1.
- Изведеният модел (III.12) създава възможност за точен анализ на влиянието на изземваната мощност, която също както дълбочината на разработване и размерите на добивния фронт е определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации и е обект на проектно решение – Приложение 2, Фиг. 2.2.
- Създаденият модел (III.12) е предпоставка за определянето и сравняването на допустимите дълбочини на разработване за различни стойности на допустимите хоризонтални деформации – Приложение 2, Фиг. 2.3.
- Моделът (III.12) създава възможност за точен анализ на влиянието на ъгъла на наклона на въглищния пласт, който също както дълбочината на разработване, размерите на добивния фронт и изземваната мощност се явява определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации – Приложение 2, Фиг. 2.4.

б. Дадена е средната дълбочина на добивния фронт H и се търси неговата ширина D_1 , при която прогнозните хоризонтални деформации ще бъдат по-малки от допустимите, т. е. $d=y$.

Въвеждат се следните означения:

$$a_2 = HC_2^2$$

$$b_2 = 2C_1C_2H^2 - C_3^2 \tan \psi_3$$

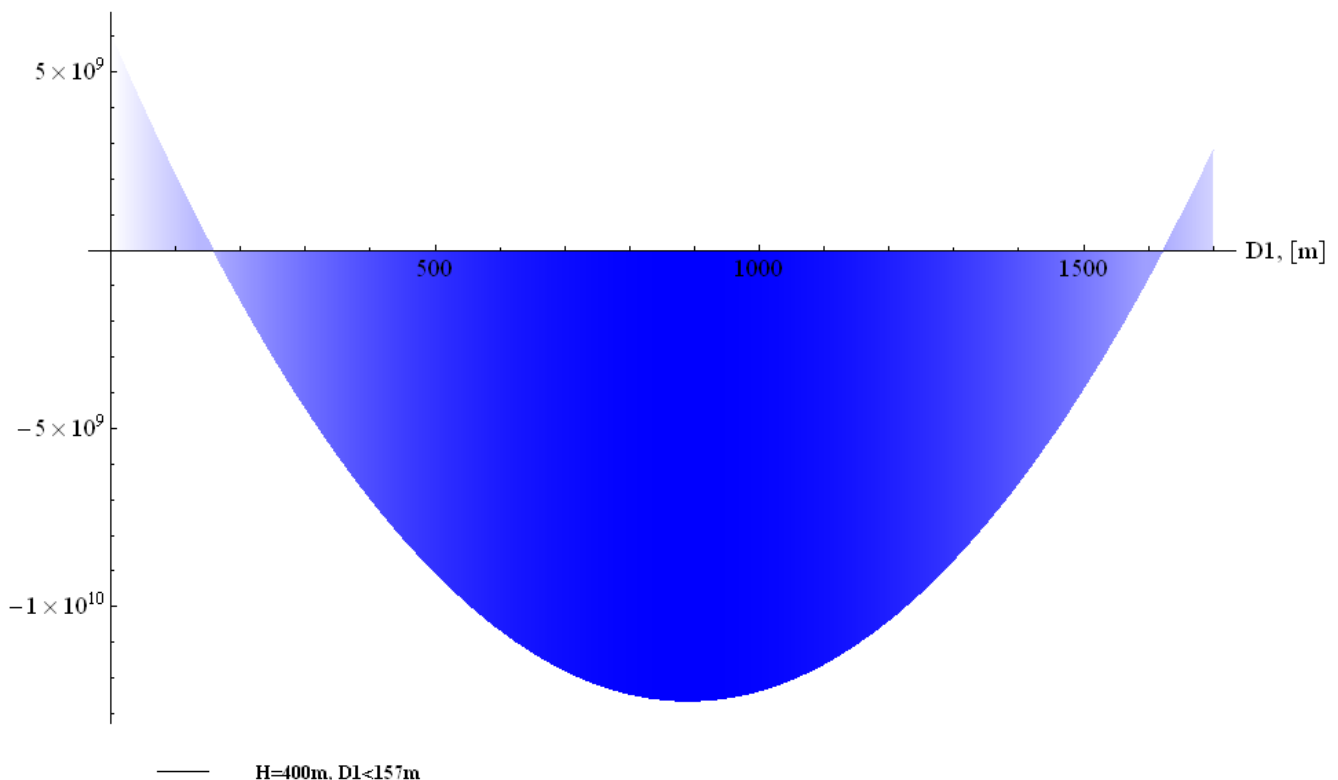
$$c_2 = C_1^2H^3 \text{ и се замества в (III.9).}$$

$$(III.15) \quad a_2y^2 + b_2y + c_2 \geq 0.$$

Следователно, математичният модел на задачата за определяне на широчината на добивния фронт, при която прогнозните стойности на хоризонталните деформации са по-малки от допустимите за опазвания обект, при зададена средна дълбочина на добивния фронт, представлява квадратно неравенство (III.15).

Създаденият модел е тестван със софтуерния продукт Mathematica [45] и данни за условията на Бобовдолския възлищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени за ъгъл на наклона на възлищния пласт $\alpha=8^\circ$ - $\beta_0=51.8^\circ$, $\gamma_0=57.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$ и $\psi_3=63^\circ$ [4, стр. 149]. Стойността на коефициента на относително максимално слягане $q_0=0.75$ [4, стр. 151]. Максималната стойност на типовата крива в разпределението на хоризонталните деформации в полумулдата по западане $\max F'(y_1)=0.79$ [4, Таблица 30]. $\varepsilon_{\text{доп}}=5 \text{ mm/m}$ – за обекти втора категория по опазване (Таблица III.1). Изземваната мощност е $m=5 \text{ m}$.

Определяне широчината на добивния фронт D_1 , [m]



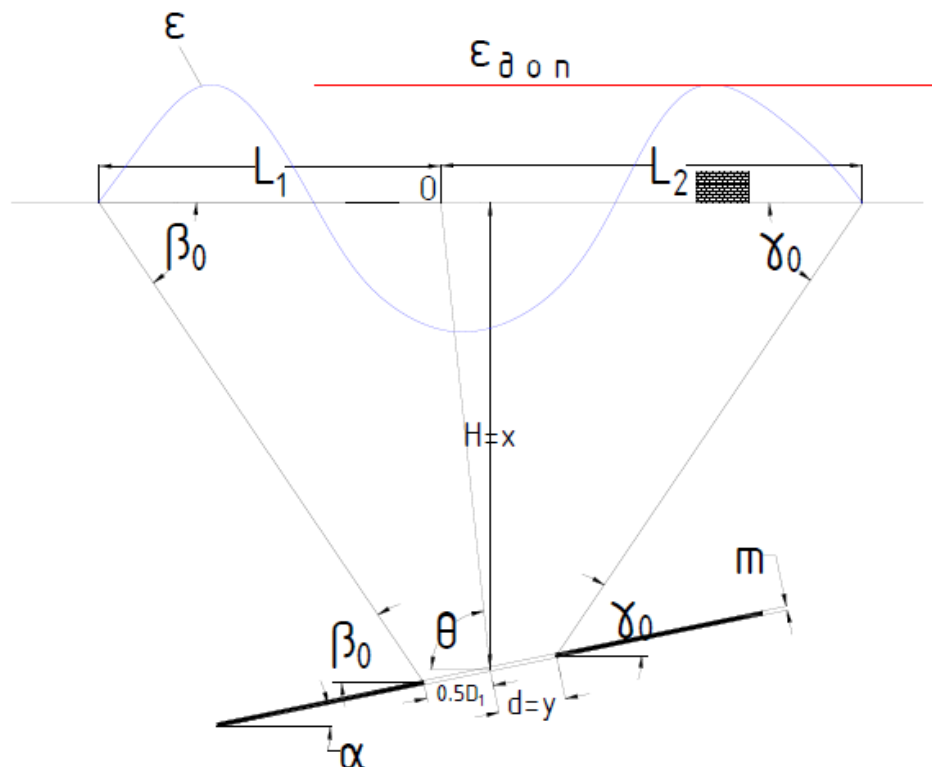
Фиг. III.3 Графично решение на квадратно неравенство (III.15), при $H=400 \text{ m}$ и $m=5 \text{ m}$.

- Квадратното уравнение (III.15), решено с конкретни данни за Бобовдолския въглищен басейн, има два реални корена. Решение на неравенство (III.15) са всички положителни стойности, по-малки от първия реален корен – Фиг. III.3. Стойностите по-големи от втория реален корен нямат инженерен смисъл.
- Моделът (III.15) създава възможност за определяне и сравняване на допустимите широчини на добивния фронт за различни дълбочини на разработване – Приложение 2, Фиг. 2.5.
- Създаденият модел (III.15) е предпоставка за точен анализ на влиянието на изземваната мощност, която също както дълбочината на разработване и размерите на добивния фронт се явява определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации – Приложение 2, Фиг. 2.6.
- Моделът (III.15) позволява определянето и сравняването на допустимите широчини на добивния фронт за различни стойности на допустимите хоризонтални деформации – Приложение 2, Фиг. 2.7.
- Моделът (III.15) създава възможност за точен анализ на влиянието на ъгъла на наклона на въглищния пласт, който е един от определящите фактори за стойностите на хоризонталните деформации – Приложение 2, Фиг. 2.8.

2. Когато опазваният обект е разположен в полумулдата по задигане на добивен фронт с широчина D_1 - Модел 2 (Фиг. III.4).

Въвежда се означението $d=0.5D_1$ и се замества в (II.10).

(III.16)
$$L_2 = \frac{H-d \sin \alpha}{\tan \gamma_0} + d \cos \alpha + \frac{H}{\tan \theta}, [m] \text{ или}$$



Фиг. III. 4 Означения в Модел 2.

Замества се с (III.3) в неравенство (III.1):

$$(III.17) \quad \varepsilon_{\text{ДОП}} \geq \frac{\eta_m}{L_2} \max F'(y_2)$$

След преработка неравенство (III.17) придобива вида:

$$(III.20) \quad C_4 H + C_5 d \geq C_6 \sqrt{\frac{\tan \psi_3 d}{H}}, \text{ където}$$

$$C_4 = \tan \theta + \tan \gamma_0$$

$$C_5 = \tan \theta (\cos \alpha \tan \gamma_0 - \sin \alpha)$$

$$C_6 = \frac{\max F'(y_2)}{\varepsilon_{\text{ДОП}}} q_0 m \cos \alpha \tan \gamma_0 \tan \theta.$$

Горното неравенство е функция на две неизвестни – d и H. От математиката е известно, че неравенства от този вид се решават като на едно от неизвестните се зададе конкретна стойност.

а. Дадена е широчината на добивния фронт D_1 и се търси средната дълбочина - H, при която прогнозните хоризонтални деформации ще бъдат по-малки от допустимите, т. е. $H=x$.

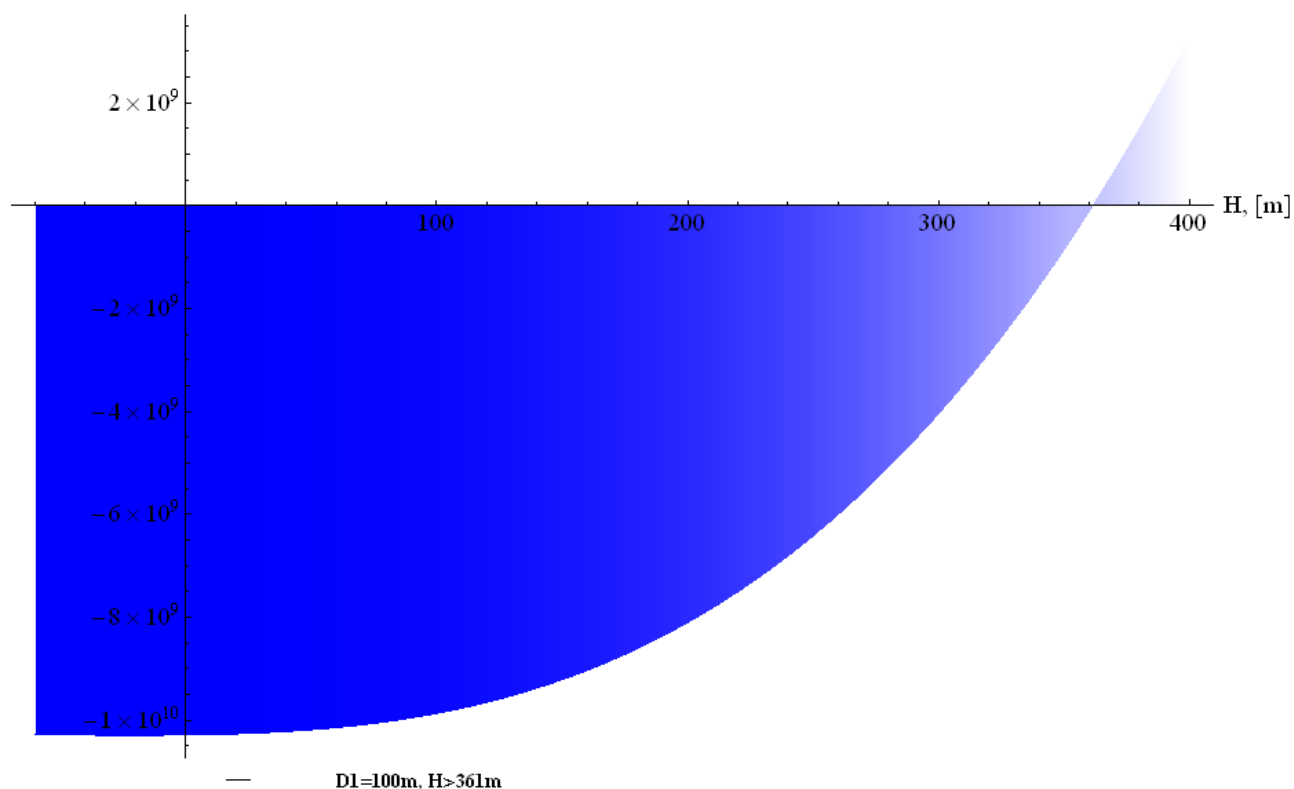
Въвеждат се следните означения:

$$(III.23) \quad \begin{aligned} a_3 &= C_4^2 \\ b_3 &= 2C_4 C_5 d \\ c_3 &= C_5^2 d^2 \\ d_3 &= C_6^2 \tan \psi_3 d \text{ и се замества в (III.20).} \\ a_3 x^3 + b_3 x^2 + c_3 x - d_3 &\geq 0. \end{aligned}$$

Следователно, математичният модел на задачата за определяне на минималната дълбочина, при която прогнозните стойности на хоризонталните деформации са по-малки от допустимите за опазвания обект, при зададена широчина на добивния фронт, представлява кубично неравенство (III.23).

Създаденият модел е тестван с помощта на софтуерния продукт Mathematica [45] и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ - $\beta_0=51.8^\circ$, $\gamma_0=57.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$ и $\psi_3=63^\circ$. Стойността на коефициента на относително максимално слягане $q_0=0.75$ [4, стр. 151]. Максималната стойност на типовата крива в разпределението на хоризонталните деформации в полумулдата по западане $\max F'(y_1)=0.79$ [4, Таблица 30]. $\varepsilon_{\text{ДОП}}=5 \text{ mm/m}$ – за обекти втора категория по опазване (Таблица III.1). Изземваната мощност е $m=5 \text{ m}$.

Определяне на средната дълбочина H , [m]



Фиг. III.5 Графично изображение на решението на кубично неравенство (III.23) за $D_1=100$ m и $m=5$ m.

- Решеното с горните данни кубично уравнение (III.23) има два ирационални и един реален корен. Решение на неравенство (III.23) са всички стойности по-големи от реалния корен – Фиг. III.5.
- Моделът (III.23) позволява определянето и сравняването на допустимите дълбочини на разработване за различни широчини на добивния фронт – Приложение 3, Фиг. 3.1.
- Изведеният модел (III.23) създава възможност за точен анализ на влиянието на изземваната мощност, която също както дълбочината на разработване и размерите на добивния фронт е определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации и е обект на проектно решение – Приложение 3, Фиг. 3.2.
- Създаденият модел (III.23) е предпоставка за определянето и сравняването на допустимите дълбочини на разработване за различни стойности на допустимите хоризонтални деформации – Приложение 3, Фиг. 3.3
- Моделът (III.23) създава възможност за точен анализ на влиянието на ъгъла на наклона на възлищния пласт, който също както дълбочината на разработване, размерите на добивния фронт и изземваната мощност се явява определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации – Приложение 3, Фиг. 3.4.

б. Дадена е средната дълбочина на добивния фронт – H и се търси неговата широчина D_1 , при която прогнозните хоризонтални деформации ще са по-малки от допустимите, т. е. $d=y$.

Въвеждат се следните означения:

$$\begin{aligned} a_4 &= HC_5^2 \\ b_4 &= 2C_4C_5H^2 - C_6^2 \tan \psi_3 \\ c_4 &= C_4^2H^3 \text{ и се замества в (III.20).} \\ (III.26) \quad a_4y^2 + b_4y + c_4 &\geq 0. \end{aligned}$$

Следователно, математичният модел на задачата за определяне на широчината на добивния фронт, при която прогнозните стойности на хоризонталните деформации са по-малки от допустимите за опазвания обект, при зададена средна дълбочина на добивния фронт, представлява квадратно неравенство (III.26).

Създаденият модел е тестван със на софтуерния продукт Mathematica [45] и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ - $\beta_0=51.8^\circ$, $\gamma_0=57.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$ и $\psi_3=63^\circ$. Стойността на коефициента на относително максимално слягане $q_0=0.75$ [4, стр. 151]. Максималната стойност на типовата крива в разпределението на хоризонталните деформации в полумулдата по западане $\max F'(y_1)=0.79$ [4, Таблица 30]. $\varepsilon_{\text{доп}}=5 \text{ mm/m}$ – за обекти втора категория по опазване (Таблица III.1). Изземваната мощност е $m=5 \text{ m}$.

- Квадратното уравнение (III.26), решено с конкретни данни за Бобовдолския въглищен басейн, има два реални корена. Решение на неравенство (III.26) са всички положителни стойности, по-малки от първия реален корен – Фиг. III.6. Стойностите по-големи от втория реален корен, които също са решение на неравенство (III.26), нямат инженерен смисъл.
- Моделът (III.26) създава възможност за определяне и сравняване на допустимите широчини на добивния фронт за различни дълбочини на разработване – Приложение 3, Фиг. 3.5.
- Създаденият модел (III.26) е предпоставка за точен анализ на влиянието на изземваната мощност, която също както дълбочината на разработване и размерите на добивния фронт се явява определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации – Приложение 3, Фиг. 3.6.
- Моделът (III.26) позволява определяне и сравняване на допустимите широчини на добивния фронт за различни стойности на допустимите хоризонтални деформации – Приложение 3, Фиг. 3.7.

- Моделът (III.26) създава възможност за точен анализ на влиянието на ъгъла на наклона на въглищния пласт, който също както дълбочината на разработване, размерите на добивния фронт и изземваната мощност е определящ фактор за стойностите на хоризонталните деформации – Приложение 3, Фиг. 3.8.



Фиг. III.6 Графично решение на квадратно неравенство (III.26), при $H=400$ m и $m=5$ m.

За да може да бъде подработен един обект, разположен на земната повърхност, както и да бъде запазен нормалният му режим на експлоатация, е необходимо и достатъчно $\varepsilon_{\text{доп}} \geq \max \varepsilon(0, y)$ (III.1) и $\varepsilon_{\text{доп}} \geq \max \varepsilon(0, x)$ т. е. прогнозните хоризонтални деформации в главните сечение по западане и по простиране да са по-малки от допустимата стойност. От приемането (в Модел 1 и Модел 2), че $n_2 = 1$ (стр. 57) следва, че решенията на Модел 1 и Модел 2 осигуряват удовлетворяването на неравенството $\varepsilon_{\text{доп}} \geq \max \varepsilon(0, x)$ за всички дължини на полумулдата по простиране, за които $n_2 = 1$.

Модел 1 и Модел 2 са създадени за определяне разположението (средната дълбочина) и размерите (широчината) на един добивен фронт така, че хоризонталните деформации на земната повърхност да бъдат по-малки от допустимите за опазвания обект, при първично или вторично подработване на скалния масив – Приложение 2 – Фиг. 2. 9 и Фиг. 2. 10, Приложение 3 – Фиг. 3. 9 и Фиг. 3. 10.

Моделите могат да бъдат прилагани и при определяне разположението и размерите на един добивен фронт, така че хоризонталните деформации на земната повърхност да бъдат по-малки от допустимите стойности, които биха съхранили нейните селскостопански качества, т. е. когато не съществува обект.

Например, в [6, стр. 432] за появата на водопроводящи пукнатини, които биха променили качествата на почвата се предлага критерия 7 тт/т. Този въпрос е особено актуален, когато концесионерът на възлищното находище и собственикът на земята са две различни юридически лица.

Традиционното решение на задачата за оценка на възможността за подработване на даден обект, разположен на земната повърхност, с подземни минни работи изисква изготвянето на проект, включващ следната процедура:

1. Определяне на различни логични варианти на подработване.
2. Прогнозиране на разпределението на линейните и деформационни параметри в мулдата на движение за всички набелязани варианти.
3. Отхвърляне на една част или на всички варианти (тогава процедурата продължава от т. 1.) въз основа на критерия за допустими хоризонтални деформации.
4. Избор на оптимален вариант на подработване.

Създадените математични модели позволяват горния алгоритъм да се оптимизира като:

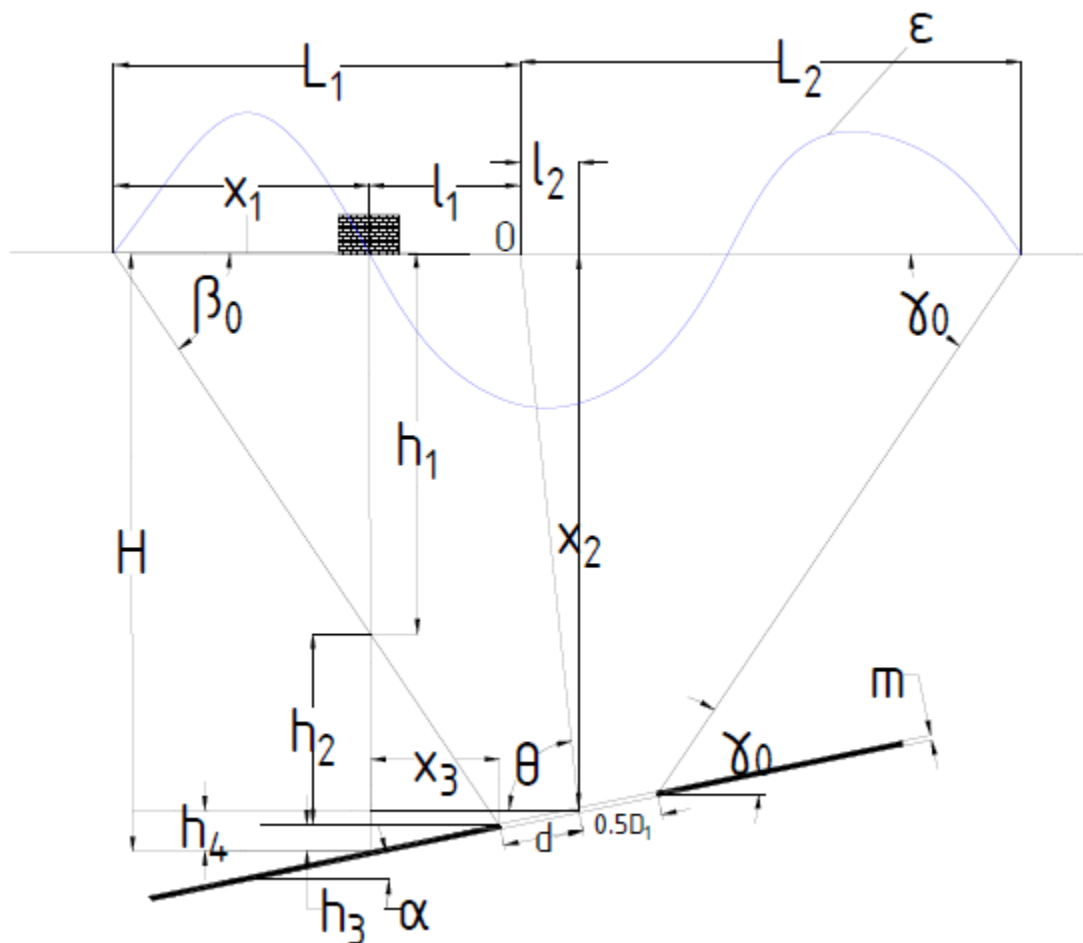
- 1) Определяне на допустимите области на параметрите H (средна дълбочина, която определя разположението на добивния фронт) и $D1$ (широчина на добивния фронт) така, че прогнозните хоризонтални деформации да бъдат по-малки от допустимите.
- 2) Генериране само на допустими варианти на подработване.
- 3) Избор на оптимален вариант на подработване.

Прилагането на създадените математични модели е предпоставка за повишаване ефективността и прецизността на проектантската и експертна дейност при проектиране на подземните минни работи.

§ III.2. Модели за определяне разположението на един добивен фронт така, че подработваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации

Анализът на характера на разпределение на хоризонталните деформации показва, че съществуват две възможности за разполагане на добивен фронт така, че опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации (Фиг. III.7 и Фиг. III.8).

1. Модел за определяне разположението на един добивен фронт по такъв начин, че подработваният обект да попада в полумулдата по западане и в зона с минимални хоризонтални деформации – Модел 3 (Фиг. III.7).



Фиг. III.7 Означения в Модел 3.

Въведени са следните неизвестни:

X_1 – разстояние от границата на мулдата по западане до центъра на обекта;

X_2 – средна дълбочина на добивния фронт;

X_3 – хоризонтално разстояние от границата на фронта по западане до центъра на обекта.

Въведени са следните означения:

H – дълбочина на възлищния пласт за центъра на опазвания обект, [m];

D_1 – широчина на добивния фронт [m];

α – ъгъл на наклона на възлищния пласт, [deg];

θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];

β_0 – граничен ъгъл по западане, при първично или при вторично подработване [deg];

$l_1 = k_1 x_1$, където k_1 се определя от типовата крива $F'(0, y_1)$;

$l_2 = \cot \theta x_2$;

$d = 0.5 D_1$;

$h_1 = \tan \beta_0 x_1$;

$h_2 = \tan \beta_0 x_3$;

$h_3 = \tan \alpha x_3$;

$h_4 = h_3 + d \sin \alpha = \tan \alpha x_3 + d \sin \alpha$

Между горните параметри съществуват следните зависимости:

$$(III.28) \quad \begin{cases} \tan \beta_0 x_1 + (\tan \beta_0 + \tan \alpha) x_3 = H \\ x_2 + \tan \alpha x_3 = H - 0.5 D_1 \sin \alpha \\ k_1 x_1 + \cot \theta x_2 - x_3 = 0.5 D_1 \cos \alpha \end{cases}$$

Математичният модел (III.28) е система от три линейни уравнения с три неизвестни.

Създаденият модел (III.28) е решен с помощта на софтуерния продукт *Microsoft Excel* и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ - $\beta_0=51.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$ и $\alpha=9^\circ$ - $\beta_0=51.4^\circ$, $\theta=84.1^\circ$. Стойността на коефициента k_1 е определена от типовата крива за разпределението на хоризонталните деформации в полумулдата по западане $k_1 = \frac{3}{7}$ [4, Таблица 30]. Изземваната мощност е $m=5$ m.

Линейната система (III.28) е решена за различни стойности на:

- ✓ ъгъла на наклона на въглищния пласт – α , [deg];
- ✓ дълбочината на въглищния пласт за центъра на опазвания обект – H , [m];
- ✓ широчината на добивния фронт – D_1 [m];

Получените резултати са показани в Таблица III.2.

Таблица III.2 Решения на линейната система (III.28).

α , [deg]	H , [m]	D_1 , [m]	X_1 , [m]	X_2 , [m]	X_3 , [m]
8	400	100	224,39	381,6	81,38
8	400	96	222,9	381,7	82,73
8	400	90	220,65	381,83	84,75
8	380	100	215,04	362,41	75,63
8	380	96	213,54	362,50	76,98
8	380	90	211,30	362,64	79,00
9	400	100	223,40	378,70	85,16
9	400	96	221,89	378,80	86,49
9	400	90	219,62	378,94	88,50
9	380	100	214,11	359,63	79,22
9	380	96	212,60	359,73	80,56
9	380	90	210,34	359,88	82,57

[illegible]

Въведени са следните неизвестни:

X_5 – средна дълбочина на добивния фронт;

Въведени са следните означения:

D_1 – ширина на добивния фронт [m];

θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];

$I_3 = k_2 x_4$, където k_2 се определя от типовата крива $F'(0, y_2)$;

$$d = 0.5 D_1$$
$$h_6 = \tan \gamma_0 x_6 - h_7 = (\tan \gamma_0 - \tan \alpha) x_6 ;$$
$$h_8 = 0.5D_1 \sin \alpha$$

Между горните параметри съществуват следните зависимости:

$$(III.33) \quad \begin{cases} \tan \gamma_0 x_4 + (\tan \gamma_0 - \tan \alpha) x_6 = H \\ x_5 - \tan \alpha x_6 = H + 0.5 D_1 \sin \alpha \\ k_2 x_4 - \cot \theta x_5 - x_6 = 0.5 D_1 \cos \alpha \end{cases}$$

Математичният модел (III.33) е система от три линейни уравнения с три неизвестни.

Създаденият модел (III.33) е тестван с помощта на софтуерния продукт *Microsoft Excel* и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ - $\gamma_0=57.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$ и $\alpha=9^\circ$ - $\gamma_0=58.2^\circ$, $\theta=84.1$. Стойността на коефициента k_2 е определена от типовата крива за разпределението на хоризонталните деформации в полумулдата по задигане $k_2 = \frac{3}{7}$ [4, Таблица 30]. Изземваната мощност е $m=5$ m.

Линейната система (III.33) е решена за различни стойности на:

- ✓ ъгъла на наклона на въглищния пласт – α , [deg];
- ✓ дълбочината на въглищния пласт за центъра на опазвания обект – H , [m];
- ✓ широчината на добивния фронт – D_1 [m];

Получените резултати са показани в Таблица III.3.

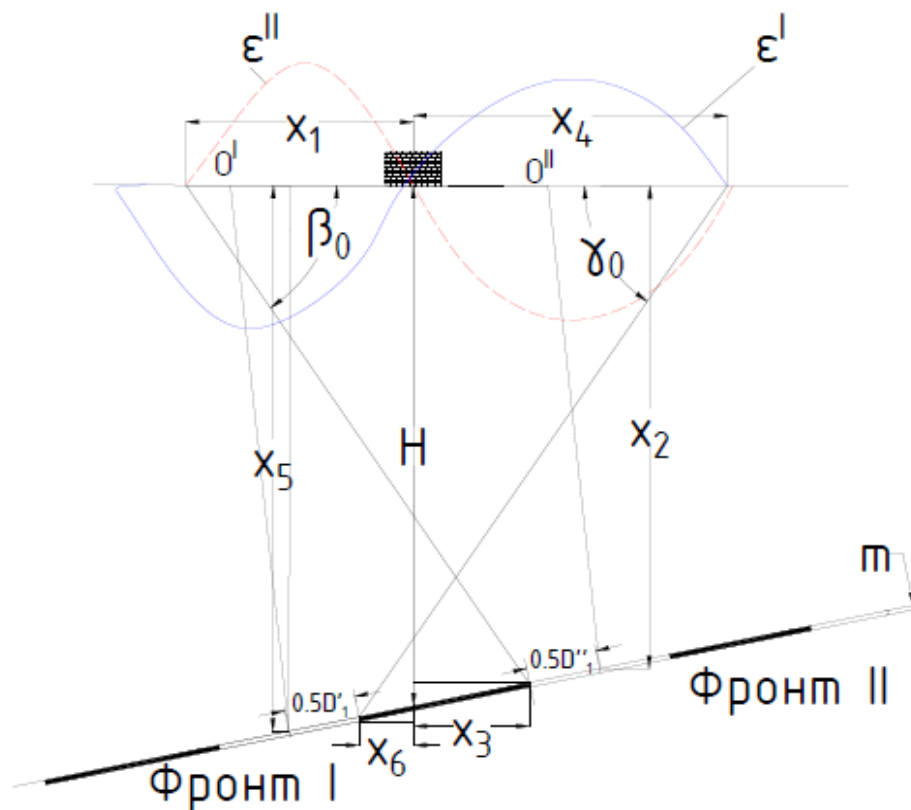
Таблица III.3 Решения на линейната система (III.33).

α , [deg]	H , [m]	D_1 , [m]	X_1 , [m]	X_2 , [m]	X_3 , [m]
8	400	100	237,99	409,1	15,25
8	400	96	236,69	409,02	16,68
8	400	90	234,73	408,91	18,82
8	380	100	227,72	388,74	12,70
8	380	96	226,42	388,67	14,13
8	380	90	224,46	388,55	16,27
9	400	100	238,64	409,55	10,93
9	400	96	237,35	409,47	12,36
9	400	90	235,42	409,34	14,51
9	380	100	228,32	389,18	8,59
9	380	96	227,03	389,10	10,02
9	380	90	225,10	388,97	12,17

Следователно, задачата за определяне разположението на един добивен фронт по такъв начин, че подработваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации притежава две точни решения (обектът попада в полумулдата по западане или по задигане). Същите се намират чрез решаване на две системи линейни уравнения с по три уравнения и с три неизвестни (III.28) и (III.33).

§ III.3. Модели при подработване на обекти с два добивни фронта

1. Модел за определяне на разположението на два добивни фронта със зададени широчини така, че подработваният обект да попада в зона с минимални деформации – Модел 5 (Фиг. III.9).



Фиг. III.9 Означения в Модел 5.

Въведени са следните неизвестни:

- X_1 – разстояние от границата на мулдата по западане до центъра на обекта за фронт II;
- X_2 – средна дълбочина на фронт II;
- X_3 – разстояние от границата на фронта по западане до центъра на обекта за фронт II;
- X_4 – разстояние от границата на мулдата по задигане до центъра на обекта за фронт I;
- X_5 – средна дълбочина на фронт I;
- X_6 – разстояние от границата на фронта по задигане до центъра на обекта за фронт I.

Въведени са следните означения:

- H – дълбочина на възлищния пласт за центъра на опазвания обект, [m];
- α – ъгъл на наклона на възлищния пласт, [deg];
- θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];
- β_0, γ_0 – гранични ъгли по западане и задигане, при първично или вторично подработване, [deg];
- D_1^I – широчина на добивен фронт I [m];
- D_1^{II} – широчина на добивен фронт II [m];
- k_1 – определя се от типовата крива $F'(0, y_1)$ за фронт II;
- k_2 – определя се от типовата крива $F'(0, y_2)$ за фронт I.

Между тези параметри съществуват следните зависимости:

$$(III.37) \quad \begin{cases} \tan \beta_0 x_1 + (\tan \beta_0 + \tan \alpha) x_3 = H \\ x_2 + \tan \alpha x_3 = H - 0.5 D_1^{II} \sin \alpha \\ k_1 x_1 + \cot \theta x_2 - x_3 = 0.5 D_1^{II} \cos \alpha \\ \tan \gamma_0 x_4 + (\tan \gamma_0 - \tan \alpha) x_6 = H \\ x_5 - \tan \alpha x_6 = H + 0.5 D_1^I \sin \alpha \\ k_2 x_4 - \cot \theta x_5 - x_6 = 0.5 D_1^I \cos \alpha \end{cases}$$

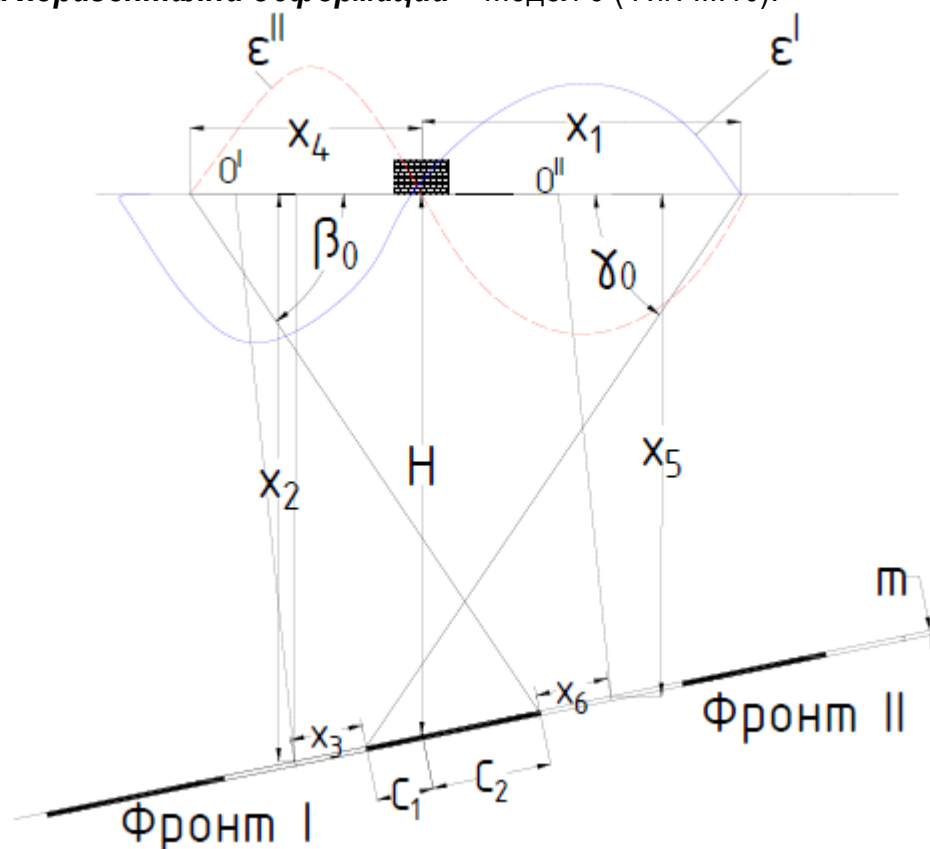
Създаденият модел (III.37) е тестван с помощта на софтуерния продукт *Mikrosoft Excel* и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ – $\gamma_0=57.8^\circ$, $\beta_0=51.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$. Стойностите на коефициентите k_1 и k_2 са определени от типовата крива за разпределението на хоризонталните деформации – $k_1 = \frac{3}{7}$ и $k_2 = \frac{3}{7}$ [4, Таблица 30]. Дълбочината на въглищния пласт за центъра на опазвания обект е $H=400$ m. Изземваната мощност е $m=5$ m. Линейните системи (III.37) са решени за различни стойности на широчината на добивен фронт I – D_1^I [m] и широчината на добивен фронт II – D_1^{II} [m]. Получените резултати са показани в Таблица III.4.

Таблица III.4 Решения на линейните системи (III.37).

D_1^I , [m]	D_1^{II} , [m]	X_1 , [m]	X_2 , [m]	X_3 , [m]	X_4 , [m]	X_5 , [m]	X_6 , [m]
100	100	224,39	381,60	81,38	237,99	409,10	15,25
100	95	222,52	381,71	83,06	237,99	409,10	15,25
100	90	220,65	381,83	84,75	237,99	409,10	15,25
100	80	216,91	382,05	88,12	237,99	409,10	15,25
95	100	224,39	381,60	81,38	236,36	409,01	17,04
95	95	222,52	381,71	83,06	236,36	409,01	17,04
95	90	220,65	381,83	84,75	236,36	409,01	17,04
95	80	216,91	382,05	88,12	236,36	409,01	17,04
90	100	224,39	381,60	81,38	234,73	408,91	18,82
90	95	222,52	381,71	83,06	234,73	408,91	18,82
90	90	220,65	381,83	84,75	234,73	408,91	18,82
90	80	216,91	382,05	88,12	234,73	408,91	18,82
80	100	224,39	381,60	81,38	231,48	408,71	22,40
80	95	222,52	381,71	83,06	231,48	408,71	22,40
80	90	220,65	381,83	84,75	231,48	408,71	22,40
80	80	216,91	382,05	88,12	231,48	408,71	22,40

Следователно, задачата за определяне разположението на два добивни фронта със зададени широчини така, че подработваният обект да попада в зона с минимални деформации се свежда до решаването на две системи линейни уравнения (III.37). Задачата има едно решение.

2. Модел за определяне широчините на два добивни фронта при определен целик, разположен под подработвания объект така, че обектът да попада в зона с минимални хоризонтални деформации – Модел 6 (Фиг. III.10).



Фиг. III.10 Означения в Модел 6.

Въведени са следните неизвестни:

X_1 – разстояние от границата на мулдата по задигане до центъра на обекта за фронт I;

X_2 – средна дълбочина на фронт I;

X_3 – половината от широчината на фронт I.

X_4 – разстояние от границата на мулдата по западане до центъра на обекта за фронт II;

X_5 – средна дълбочина на фронт II;

X_6 – половината от широчината на фронт II.

Въведени са следните означения:

H – дълбочина на възлищния пласт за центъра на опазвания обект, [m];

α – ъгъл на наклона на възлищния пласт, [deg];

θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];

β_0, γ_0 – гранични ъгли по западане и задигане, при първично или втор. подработване, [deg];

C – целик, разположен под опазвания обект, където $C = C_1 + C_2$, [m];

C_1 – част от целика - по западане спрямо центъра на опазвания обект, [m];

C_2 – част от целика - по задигане спрямо центъра на опазвания обект;

k_1 – се определя от типовата крива $F'(0, y_2)$ за фронт I;

k_2 – се определя от типовата крива $F'(0, y_1)$ за фронт II.

След изразяване на съществуващите зависимости, като функция на въведените променливи и дадените величини, се доказва, че:

$$(III.44) \quad \left\{ \begin{array}{l} \tan \gamma_0 x_1 = H - C_1 \tan \gamma_0 \cos \alpha + C_1 \sin \alpha \\ x_2 - \sin \alpha x_3 = H + C_1 \sin \alpha \\ k_1 x_1 - \cot \theta x_2 - \cos \alpha x_3 = C_1 \cos \alpha \\ \tan \beta_0 x_4 = H - C_2 \tan \beta_0 \cos \alpha + C_2 \sin \alpha \\ x_5 + \sin \alpha x_6 = H - C_2 \sin \alpha \\ k_2 x_4 + \cot \theta x_5 - \cos \alpha x_6 = C_2 \cos \alpha \end{array} \right.$$

Анализът на (III.44) показва, че това са две линейни системи с по три уравнения и три неизвестни.

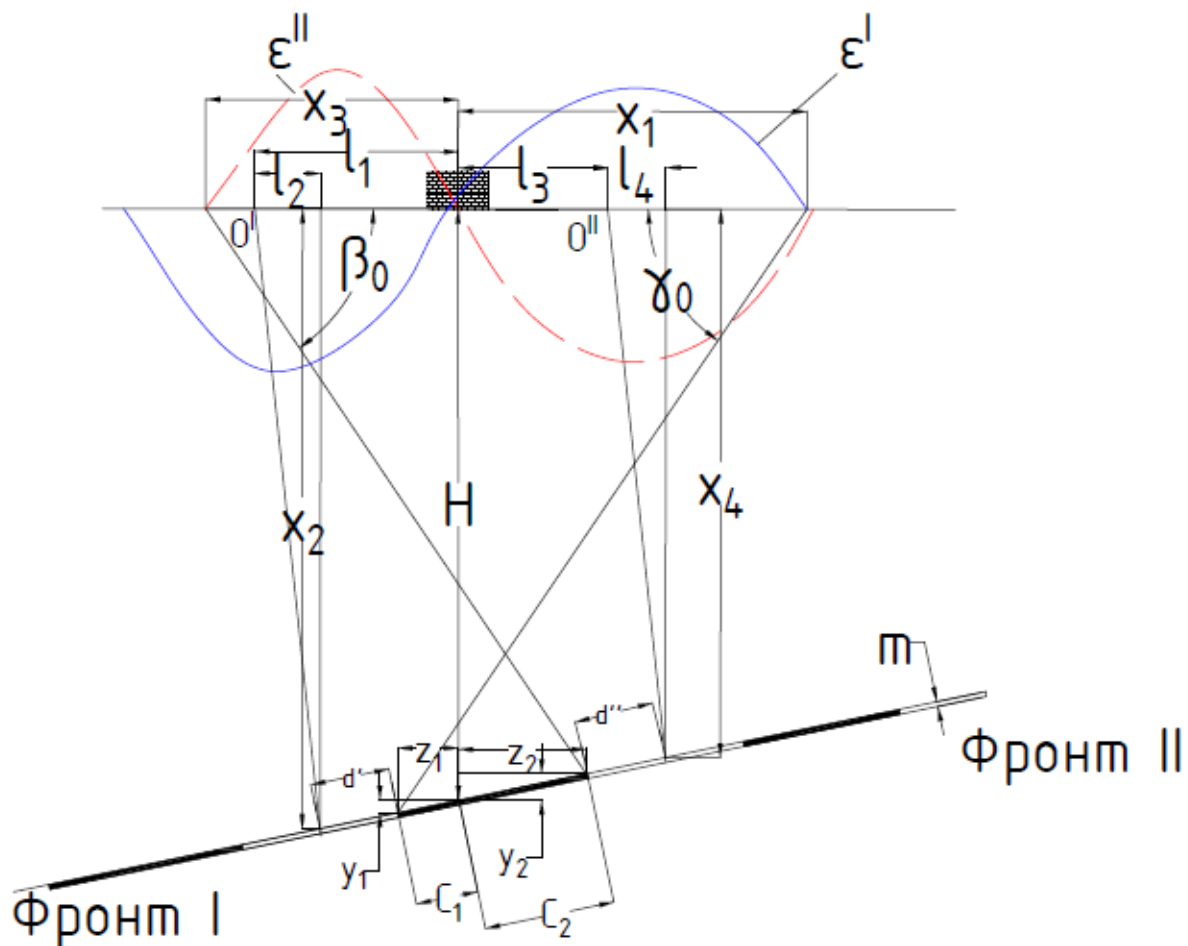
Създаденият модел (III.44) е тестван с помощта на софтуерния продукт *Mikrosoft Excel* и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ – $\gamma_0=57.8^\circ$, $\beta_0=51.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$. Стойностите на коефициентите k_1 и k_2 са определени от типовата крива за разпределението на хоризонталните деформации – $k_1 = \frac{3}{7}$ и $k_2 = \frac{3}{7}$ [4, Таблица 30]. Дълбочината на въглищния пласт за центъра на опазвания обект $H=400$ m, изземваната мощност е $m=5$ m и дължината на целика е 100 m. Линейните системи (III.44) са решени за различни стойности на C_1 – част от целика - по западане спрямо центъра на опазвания обект и C_2 – част от целика - по задигане. Получените резултати са показани в Таблица III.5.

Таблица III. 5 Решения на линейните системи (III.44).

C_1 , [m]	C_2 , [m]	X_1 , [m]	X_2 , [m]	X_3 , [m]	X_4 , [m]	X_5 , [m]	X_6 , [m]	D_1^I , [m]	D_1^{II} , [m]
10	90	242,87	409,39	57,49	215,79	382,12	38,51	114,98	77,02
11	89	241,96	409,34	56,10	216,89	382,05	39,98	112,20	79,96
12	88	241,06	409,28	54,71	217,99	381,98	41,45	109,42	82,90
13	87	240,16	409,23	53,33	219,09	381,92	42,92	106,66	85,84
14	86	239,26	409,18	51,94	220,19	381,85	44,39	103,88	88,78
15	85	238,35	409,12	50,56	221,29	381,79	45,86	101,12	91,72
16	84	237,45	409,07	49,17	222,39	381,72	47,33	98,34	94,66
17	83	236,55	409,02	47,79	223,49	381,66	48,80	95,58	97,60
18	82	235,64	408,96	46,40	224,59	381,59	50,27	92,80	100,54
19	81	234,74	408,91	45,01	225,69	381,53	51,74	90,02	103,48
20	80	233,84	408,86	43,63	226,79	381,46	53,21	87,26	106,42

Следователно, задачата за определяне широчините на два добивни фронта при определен целик, разположен под подработвания обект така, че обектът да попада в зона с минимални хоризонтални деформации се свежда до решаването на система линейни уравнения (III.44). Задачата има едно решение.

3. *Модел за определяне разположението на два добивни фронта със зададени широчини, при целик разположен под подработвания обект така, че целикът да е минимален и опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации* – Модел 7 (Фиг. III.11).



Фиг. III.11 Означения в Модел 7.

Въведени са следните неизвестни:

- X_1 – разстояние от центъра на обекта до границата на мулдата по задигане за фронт I;
- X_2 – средна дълбочина на фронт I;
- X_3 – разстояние от центъра на обекта до границата на мулдата по западане за фронт II;
- X_4 – средна дълбочина на фронт II;

Въведени са следните означения:

H – дълбочина на въглищния пласт за центъра на опазвания обект, [m];

d^I – половината от широчината на фронт I, [m];

d^{II} – половината от широчината на фронт II, [m];

α – ъгъл на наклона на въглищния пласт, [deg];

θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];

β_0, γ_0 – гранични ъгли по западане и задигане, при първично или втор. подработване, [deg];

C – целик разположен под опазвания обект, където $C = C_1 + C_2$, [m];

C_1 – част от целика, по западане спрямо центъра на опазвания обект, [m];

C_2 – част от целика, по задигане спрямо центъра на опазвания обект, [m];

k_1 – определя се от типовата крива $F'(0, y_2)$ за фронт I;

k_2 – определя се от типовата крива $F'(0, y_1)$ за фронт II.

$$y_1 = C_1 \sin \alpha$$

$$y_2 = C_2 \sin \alpha$$

$$z_1 = C_1 \cos \alpha$$

$$z_2 = C_2 \cos \alpha$$

$$l_1 = k_1 x_1$$

$$l_2 = \cot \theta x_2$$

$$l_3 = k_2 x_3$$

$$l_4 = \cot \theta x_4$$

Доказано е, че математичният модел на задачата за определяне разположението на два добивни фронта със зададени широчини, при целик разположен под подработвания обект така, че целикът да бъде минимален и опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации, представлява линейна оптимизационна задача:

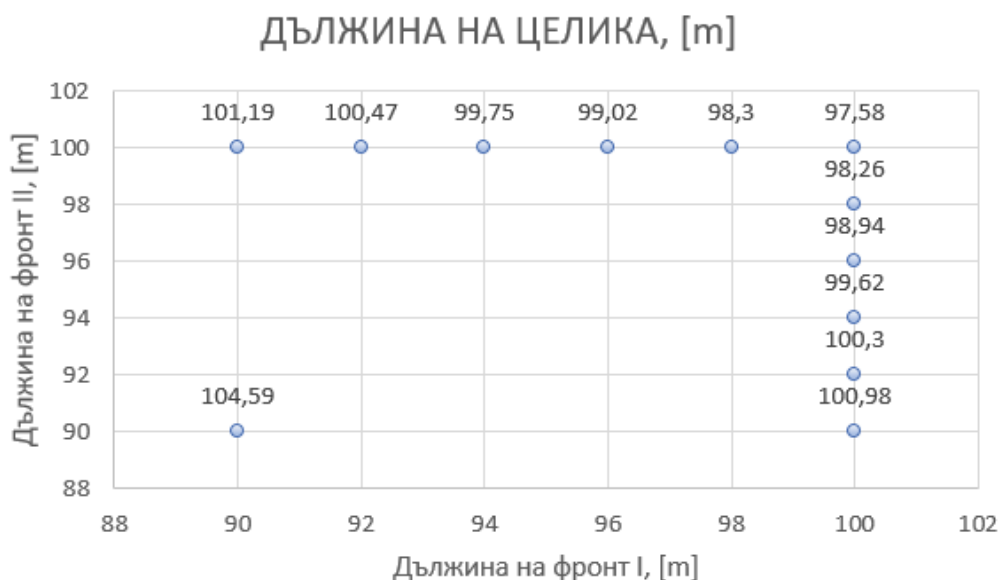
$$C = \frac{H - \tan \gamma_0 x_1}{\tan \gamma_0 \cos \alpha - \sin \alpha} + \frac{H - \tan \beta_0 x_3}{\tan \beta_0 \cos \alpha + \sin \alpha} \rightarrow \min$$

$$\begin{aligned} 1) & \left(k_1 + \frac{\tan \gamma_0}{\tan \gamma_0 - \tan \alpha} \right) x_1 - \cot \theta x_2 - d^I \cos \alpha - \frac{H}{\tan \gamma_0 - \tan \alpha} = 0 \\ 2) & \left(k_2 + \frac{\tan \beta_0}{\tan \beta_0 + \tan \alpha} \right) x_3 + \cot \theta x_4 - d^{II} \cos \alpha - \frac{H}{\tan \beta_0 + \tan \alpha} = 0 \\ 3) & \frac{\tan \gamma_0 x_1}{\tan \gamma_0 \cot \alpha - 1} + x_2 - \frac{H}{\tan \gamma_0 \cot \alpha - 1} - d^I \sin \alpha - H = 0 \\ 4) & \frac{\tan \beta_0 x_3}{\tan \beta_0 \cot \alpha + 1} - x_4 - \frac{H}{\tan \beta_0 \cot \alpha + 1} - d^{II} \sin \alpha + H = 0 \\ (III.58) \quad & 5) x_1 > 0 \\ & 6) x_1 \leq \frac{H}{\tan \gamma_0} \\ & 7) x_3 > 0 \\ & 8) x_3 \leq \frac{H}{\tan \beta_0} \\ & 9) x_2 > 0 \\ & 10) x_4 > 0; \end{aligned}$$

Създаденият модел (III.58) е тестван с помощта на софтуерния продукт Mathematica [45] и данни за условията на Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ – $\gamma_0=57.8^\circ$, $\beta_0=51.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$. Стойностите на коефициентите k_1 и k_2 са определени от типовата крива за разпределението на хоризонталните деформации – $k_1 = \frac{3}{7}$ и $k_2 = \frac{3}{7}$ [4, Таблица 30]. Дълбочината на въглищния пласт за центъра на опазвания обект е $H=400$ m. Изземваната мощност е $m=5$ m. Задачата е решена за различни стойности на D_1^I – ширина на първия добивен фронт и D_1^{II} – ширина на втория добивен фронт. Получените резултати са показани в Таблица III.6 и на Фиг. III. 12.

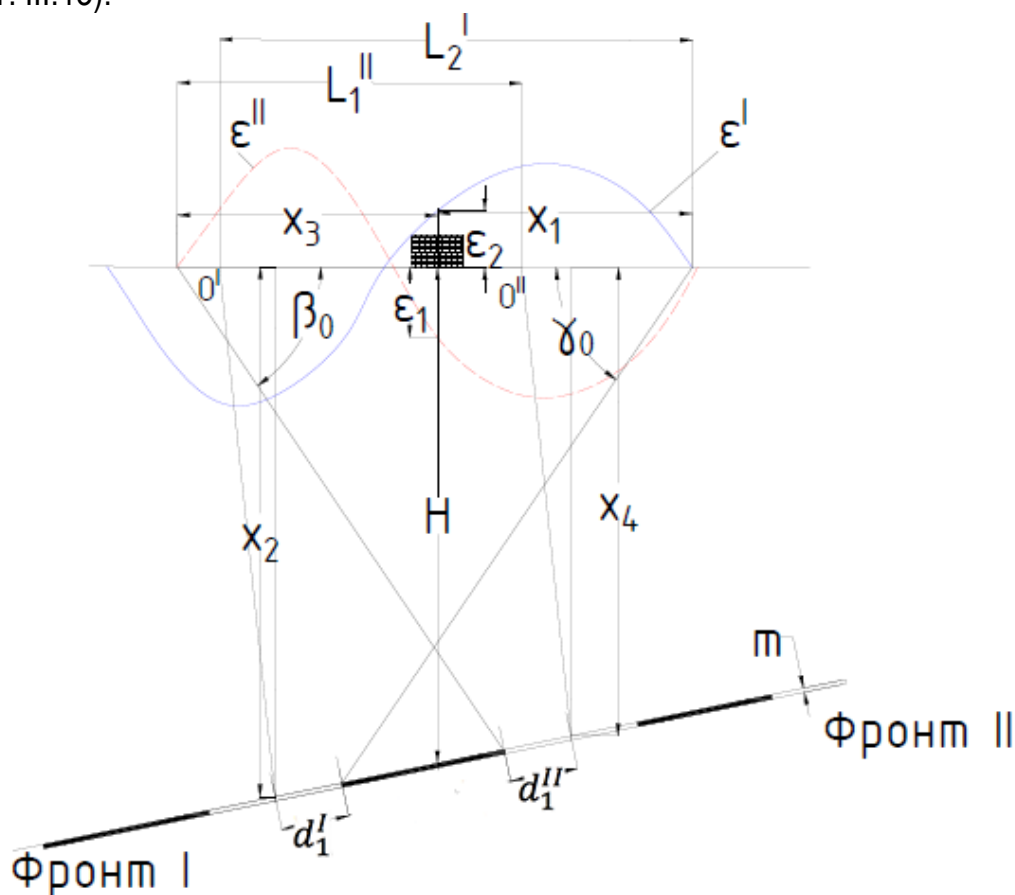
Таблица III. 6 Решения на линейната оптимизационна задача (III.58).

D_1^I , [m]	D_1^{II} , [m]	X_1 , [m]	X_2 , [m]	X_3 , [m]	X_4 , [m]	C, [m]
100	100	237,99	409,1	224,38	381,6	97,58
98	100	237,34	409,06	224,38	381,6	98,3
96	100	236,69	409,03	224,38	381,6	99,02
94	100	236,04	408,99	224,38	381,6	99,75
92	100	235,39	408,95	224,38	381,6	100,47
90	100	234,74	408,91	224,38	381,6	101,19
100	98	237,99	409,1	223,64	381,65	98,26
100	96	237,99	409,1	222,89	381,69	98,94
100	94	237,99	409,1	222,14	381,74	99,62
100	92	237,99	409,1	221,4	381,78	100,3
100	90	237,99	409,1	220,65	381,83	100,98
90	90	234,74	408,91	220,65	381,83	104,59



Фиг. III.12 Решения на линейната оптимизационна задача (III.58).

4. Модел за определяне разположението на два добивни фронта така, че опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации – Модел 8 (Фиг. III.13).



Фиг. III.13 Означения в Модел 8.

Въведени са следните неизвестни:

- X_1 – разст. от центъра на опазвания обект до границата на мулдата по задигане, за фронт I;
- X_2 – средна дълбочина на фронт I;
- X_3 – разст. от центъра на опазвания обект до границата на мулдата по западане, за фронт II;
- X_4 – средна дълбочина на фронт II.

Въведени са следните означения:

- H – дълбочина на въглищния пласт за избрана точка от опазвания обект, [m];
- m – изземвана мощност, [m];
- d_1^I – половината от широчината на фронт I, [m];
- d_1^{II} – половината от широчината на фронт II, [m];
- α – ъгъл на западане на въглищния пласт, [deg];
- β_0, γ_0 – гранични ъгли по западане и задигане на въглищния пласт, при първично или вторично подработване, [deg];
- ψ_3 – ъгъл на пълно подработване по простиране, [deg];
- Θ – ъгъл на максимално слягане, [deg];
- q_0 – коефициент на относително максимално слягане;

$\max F'(0, x_1)$ – максимална стойност на типовата крива в разпределение на хоризонталните опънови деформации, използвана при прогнозирането за фронт I;

k_1 – определя се от типовата крива $F'(0, x_1)$ за фронт I;

$F'(0, x_3)$ – стойност на типовата крива за разпределение на хоризонталните деформации, използвана при прогнозирането за фронт II и определена за точката $\frac{L_1^{II} - x_3}{L_1^{II}}$;

ε^I – прогнозни хоризонтални деформации за фронт I, [mm/m];

ε^{II} – прогнозни хоризонтални деформации за фронт II, [mm/m];

L_2^I – полумулда по задигане за фронт I, [m];

L_1^{II} – полумулда по западане за фронт II, [m];

η_m^I – максимално слягане за фронт I [mm];

η_m^{II} – максимално слягане за фронт II [mm];

ε_1 – стойност на хоризонталните деформации, предизвикани от фронт I за избрана точка от опазвания обект с дълбочина на въглищния пласт H, [mm/m];

ε_2 – хоризонтални деформации, предизвикани от фронт II за избрана точка от опазвания обект с дълбочина на въглищния пласт H, [mm/m];

Създаденият математичният модел на задачата за определяне разположението на два добивни фронта така, че опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации, е нелинейна оптимизационна задача:

$$(III.75) \quad \varepsilon = \left| \frac{\max F'(0, x_1) m q_0 \cos \alpha \sqrt{\tan \psi_3 \frac{d_1^I}{x_2}}}{\frac{x_2 - \sin \alpha d_1^I}{\tan \gamma_0} + \cos \alpha d_1^I + \frac{x_2}{\tan \theta}} + \frac{F'(0, x_3) m q_0 \cos \alpha \sqrt{\tan \psi_3 \frac{d_1^{II}}{x_4}}}{\frac{x_4 + \sin \alpha d_1^{II}}{\tan \beta_0} + \cos \alpha d_1^{II} + \frac{x_4}{\tan \theta}} \right| \rightarrow \min$$

$$1) \left(k_1 + \frac{\tan \gamma_0}{\tan \gamma_0 - \tan \alpha} \right) x_1 - \cot \theta x_2 - d_1^I \cos \alpha - \frac{H}{\tan \gamma_0 - \tan \alpha} = 0$$

$$(III.76) \quad 2) \frac{\tan \gamma_0 x_1}{\tan \gamma_0 \cot \alpha - 1} + x_2 - \frac{H}{\tan \gamma_0 \cot \alpha - 1} - d_1^I \sin \alpha - H = 0$$

$$3) \frac{\tan \beta_0 x_3}{\tan \beta_0 \cot \alpha + 1} - x_4 - \frac{H}{\tan \beta_0 \cot \alpha + 1} - d_1^{II} \sin \alpha + H = 0$$

$$4) x_1 > 0$$

$$(III.77) \quad 5) x_2 > 0$$

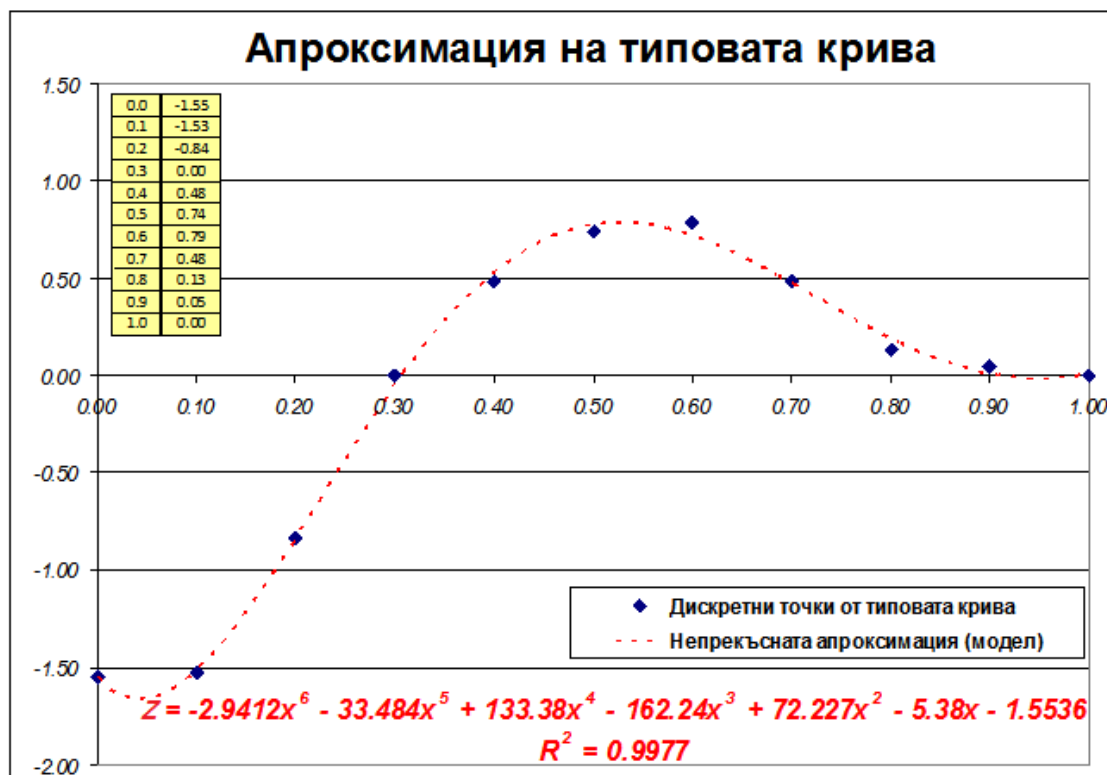
$$6) x_3 > 0$$

$$7) x_4 > 0$$

Моделът е тестван със софтуерния продукт Mathematica [45] и данни за Бобовдолския въглищен басейн. Стойностите на ъгловите параметри са определени от [4, стр. 149] за ъгъл на наклона на въглищния пласт $\alpha=8^\circ$ – $\gamma_0=57.8^\circ$, $\beta_0=51.8^\circ$, $\theta=84.8^\circ$. Стойностите на коефициента $k_1 = 1.5$ и на $\max F'(0, x_1) = 0,79$ са определени от типовата крива за разпределение на хоризонталните деформации – Таблица III.8. Типовата крива е апроксимирана с полином от шеста степен – Фиг. III.14. Дълбочината на въглищния пласт за центъра на опазвания обект е $H=400$ m, а изземваната мощност е $m=5$ m. Задачата е решена за различни стойности на D_1^I – широчина на първия добивен фронт, [m] и D_1^{II} – широчина на втория добивен фронт, [m]. Получените резултати са показани в Таблица III.9.

Таблица III. 8 Стойности на типовата крива за разпределение на хориз. деформации – F'.

z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
F'(z)	-1.55	-1.53	-0.84	+0.0	+0.48	+0.74	+0.79	+0.48	+0.13	+0.05	0

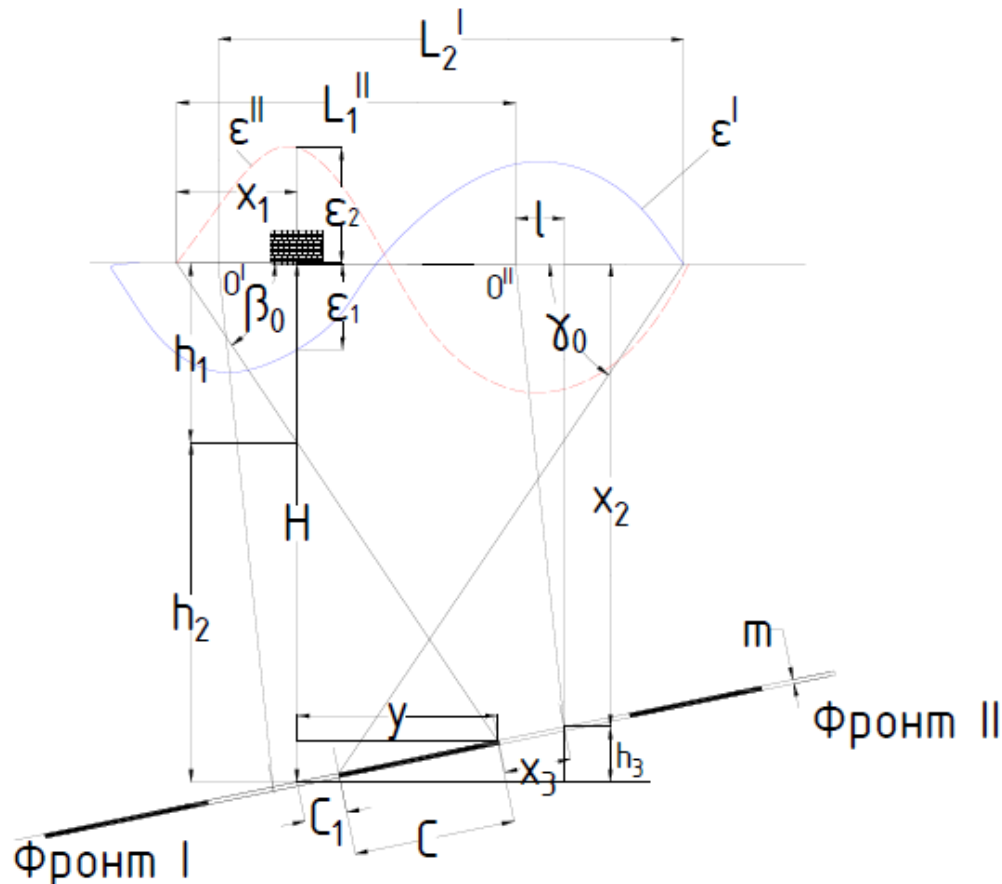


Фиг. III.14 Апроксимация на типовата крива за разпределение на хор. деформации.

Таблица III.9 Решения на нелинейната оптимизационна задача (III.75).

D_1^I , [m]	D_1^{II} , [m]	X_1 , [m]	X_2 , [m]	X_3 , [m]	X_4 , [m]	ε , [mm/m]	ε_1 , [mm/m]	ε_2 , [mm/m]	L_2^I , [m]	L_1^{II} , [m]
100	100	140,34	424,16	120,56	368,46	-0,003	4,02	-4,02	350,84	378,48
98	100	139,95	424,08	120,66	368,48	-0,003	3,99	-3,99	349,90	378,49
96	100	139,57	424,00	120,77	368,49	-0,003	3,96	-3,96	348,92	378,50
94	100	139,18	423,91	120,88	368,51	-0,003	3,93	-3,93	347,95	378,52
92	100	138,80	423,84	120,99	368,52	-0,003	3,90	-3,90	347,00	378,52
90	100	138,42	423,76	121,10	368,53	-0,003	3,87	-3,87	346,04	378,53
100	98	140,34	424,16	120,13	368,55	-0,003	4,02	-4,02	350,84	377,45
100	96	140,34	424,16	119,70	368,63	-0,003	4,02	-4,02	350,84	376,42
100	94	140,34	424,16	119,26	368,72	-0,003	4,02	-4,02	350,84	375,40
100	92	140,34	424,16	118,82	368,80	-0,003	4,02	-4,02	350,84	374,37
100	90	140,34	424,16	118,38	368,89	-0,003	4,02	-4,02	350,84	373,35

5. Модел за определяне разположението и широчината на втори добивен фронт така, че опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации и количеството иззети въглища да бъде максимално – Модел 9 (Фиг. III.15).



Фиг. III.15 Означения в модел 9.

Този модел е приложим, когато разположението и размерите на даден добивен фронт са фиксирани по някакви съображения и е необходимо да се проектира втори фронт, така че хоризонталните деформации, предизвикани от него, да компенсират деформациите, предизвикани от първия фронт.

Въведени са следните неизвестни:

X_1 – разстояние от центъра на опазвания обект до границата на мулдата по западане за фронт II;

X_2 – средна дълбочина на фронт II;

X_3 – половината от широчината на фронт II.

Въведени са следните означения:

H – дълбочина на въглищния пласт за избрана точка от опазвания обект, [m];

m – изземвана мощност, [m];

α – ъгъл на западане на въглищния пласт, [deg];

β_0 – граничен ъгъл по западане на въглищния пласт, при първично или при вторично подработване, [deg];

ψ_3 – ъгъл на пълно подработване по простирание, [deg];

Θ – ъгъл на максимално слягане, deg];

q_0 – коефициент на относително максимално слягане;

C – неиззети въглища, целик, [m];

C_1 – наклонено разстояние от избрана точка от опазвания обект, за която е определена H до границата по задигане за фронт I, [m];

C_m – минимална стойност на целика, [m];

$F'(0, x_1)$ – стойности на типовата крива за разпределение на хор. деформации, използвана при прогнозирането за фронт II, определяни за точката $\frac{L_1^{II} - x_1}{L_1^{II}}$;

ε^I – прогнозни хоризонтални деформации за фронт I, [mm/m];

ε^{II} – прогнозни хоризонтални деформации за фронт II, [mm/m];

L_1^{II} – полумулда по западане за фронт II, [m];

η_m^{II} – максимално слягане за фронт II, [mm];

ε_1 – хоризонтални деформации, предизвикани от фронт I за избрана точка от опазвания обект с дълбочина на въглищния пласт H , mm/m];

ε_2 – хоризонтални деформации, предизвикани от фронт II за избрана точка от опазвания обект с дълбочина на въглищния пласт H , [mm/m];

$$l = \cot \theta x_2$$

$$h_1 = \tan \beta_0 x_1$$

$$h_2 = H - h_1$$

$$Y = \frac{h_2}{\tan \alpha + \tan \beta_0}$$

$$h_3 = \tan \alpha (Y + \cos \alpha x_3$$

Математичният модел на задачата за определяне разположението и широчината на втори добивен фронт така, че опазваният обект да попада в зона с минимални хоризонтални деформации и количеството иззети въглища да бъде максимално, е двукритериална нелинейна оптоимизационна задача (III.91):

$$C = \frac{H - \tan \beta_0 x_1}{\tan \alpha + \tan \beta_0} - C_1 \rightarrow \min$$

$$\varepsilon = \left| \varepsilon_1 + \frac{F'(0, y_1) m q_0 \cos \alpha \sqrt{\tan \psi_3 \frac{x_3}{x_2}}}{\frac{x_2 + \sin \alpha x_3}{\tan \beta_0} + \cos \alpha x_3 - \frac{x_2}{\tan \theta}} \right| \rightarrow \min$$

$$1) \frac{\tan \alpha \tan \beta_0 x_1}{\tan \alpha + \tan \beta_0} - x_2 - \sin \alpha x_3 + H - \frac{H \tan \alpha}{\tan \alpha + \tan \beta_0} = 0$$

$$2) x_1 \leq \frac{H - \cos \alpha (\tan \alpha + \tan \beta_0) (C_1 + C_m)}{\tan \beta_0}$$

$$3) x_1 > 0$$

$$(III.91) \quad 4) x_2 > 0$$

$$5) x_3 \geq R_{min}, \text{ където } R_{min} \text{ е минимална широчина на добивния фронт.}$$

$$6) x_3 \leq R_{max}, \text{ където } R_{max} \text{ е максимална широчина на добивния фронт.}$$

Модел (III.91) е тестван с данни за Пернишкия въглищен басейн [15]. Стойностите на ъгловите параметри за ъгъл на наклона на в. пласт $\alpha=15^\circ$ са $\beta_0=56^\circ$ и $\theta=82.5^\circ$ [4, стр. 149], $F'=0.7$ [4, Таб. 30]. Дълбочината на в. пласт е $H=250$ m. Разстояние от центъра на обекта до границата по задигане за фронт I е $C_1=50$ m. Ограничения за мин. и макс. широчина на добивния фронт са $R_{\min}=20$ m и $R_{\max}=120$ m. Х. деформации, предизвикани от фронт I за центъра на обекта са $\varepsilon_1=-1.2$ mm/m. Изземваната мощност на в. пласт е $m=1.8$ m. Коеф. на относително максимално слягане е $q_0=0.65$. Резултати са показани в Таблица III.10.

Таблица III. 10 Решение на двукритериалната оптимизационна задача (III.91).

$X_1, [m]$	$X_2, [m]$	$X_3, [m]$	$C, [m]$	$\varepsilon, [mm/m]$	$D_1^{II}, [m]$
89,06	216,6732	59	19,76	0,38	118
96,09	218,7861	57	13,61	0,79	114
108,98	221,4525	58	2,29	1,35	116
84,67	215,9357	58	23,61	0,17	116
101,07	220,1751	56	9,23	1,05	112
22,55	209,0855	30	78,07	0,006	60
83,49	215,668	58	24,64	0,10	116
99,31	220,2933	54	10,77	1,02	108
95,80	218,2027	59	13,85	0,72	118
110,59	223,1120	53	0,88	1,54	106
81,30	215,9474	55	26,18	0,10	110
93,45	218,7047	55	15,91	0,72	110
91,55	217,2382	59	17,57	0,51	118
103,85	220,2883	58	6,79	1,12	116
86,27	216,8165	56	22,21	0,32	112
79,24	215,7388	54	28,37	0,10	108
102,68	220,0228	58	7,82	1,07	116
98,87	219,417	57	11,16	0,92	114
73,09	217,1901	43	33,76	0,007	86
59,61	219,5662	22	45,57	0,0069	44
107,08	220,7625	59	3,97	1,28	118

Създадените модели са приложими за управление на деформационната картина в главното сечение по западане. Цялостното решаване на задачата изисква и съставянето на модели за управление на деформационната картина по простиране на въглищния пласт. В тази връзка е необходимо да се изтъкне, че:

1. В специализираната литература се подчертава, че максималните стойности на хоризонталните деформации в главното сечение по западане винаги са по-големи от максималната стойност на хоризонталните деформации по простиране [6, стр. 424 – 425].

2. Процесът движение на скалите в направление по простиране на въглищния пласт се развива по подобен начин на този при хоризонтални пластове. Следователно, за управление на деформационния процес по простиране са приложими всички цитирани схеми.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на съществуващите класификации на методите за прогнозиране на линейните и деформационни параметри на процеса движение на скалите е направен критичен анализ по отношение възможностите на метода на типовите криви, прилаган в нашата страна.

В съответствие с основните му недостатъци са изведени формули за аналитично определяне дължините на полумулдите при непълно и пълно подработване, което превръща метода на типовите криви от графоаналитичен в аналитичен метод. Този факт е предпоставка за създаване на математични модели за управление на деформационната картина на земната повърхност.

Методът на типовите криви е допълнен с:

- Алгоритми за прогнозиране за произволни сечения, успоредни на главно сечение;
- Алгоритъм за прогнозиране за произволна точка от мулдата на движение.

Създадените алгоритми разширяват обхвата на прогнозиране - не само за главните сечения на мулдата, а също така и за всяка точка от нея.

Прилага се математично моделиране за минимизиране или компенсиране на опъновите и натисковите деформации при подработване на обекти, разположени на земната повърхност, с подземни минни работи. Създадени са девет модела. Четири при подработване с един добивен фронт и пет при подработване с два добивни фронта, разположени по един въглищен пласт. От математична гледна точка, моделите се свеждат до решаването на:

- Квадратно неравенство;
- Кубично неравенство;
- Система линейни уравнения;
- Линейна оптимизационна задача;
- Нелинейна оптимизационна задача;
- Двукритериална нелинейна оптимизационна задача.

Всички модели са тествани и приложението им е илюстрирано с числени примери.

Предложени са различни идеи за визуализация, които увеличават възможностите за интерпретация на получените резултати.

Два от моделите (Модел 1 и Модел 2) могат да бъдат прилагани за определяне разположението и размерите на един добивен фронт така, че хоризонталните деформации на земната повърхност да са по-малки от допустимите стойности, които биха съхранили нейните селскостопански качества, т. е. когато не съществува обект.

Прилагането на създадените модели при проектиране на минните работи за подработване на обекти, разположени на земната повърхност, позволява обективизиране на евристичния процес при избор на предпочитан вариант.

Математичното моделиране е алтернатива за управление на деформационната картина на земната повърхност на многовариантното прогнозиране за различни схеми, приложими в конкретна минна ситуация. То е и предпоставка за повишаване ефективността и прецизността на проектантската и експертна дейност при проектиране и планиране на подземните минни работи.

ПРИНОСИ

Въз основа на направения литературен обзор в Глава I и в съответствие с поставените цели и задачи, приносите на дисертационния труд биха могли да се определят, както следва:

1. Изведени са формули за аналитично определяне дължините на полумулдите (по западане, по задигане и по простиране), при непълно и пълно подработване на земната повърхност (II.4...II.11).

2. Българската версия на метода на типовите криви е допълнена с алгоритми и формули за прогнозиране за:

- произволно сечение, успоредно на главно сечение (II.27...II.43);
- произволна точка от мулдата на движение (II.44...II.60).

3. Решена е задачата за определяне на разположението и размерите на добивните изработки, с цел минимизиране на хоризонталните деформации на земната повърхност, при наклонени въглищни пластове.

4. Предлага се прилагане на математично моделиране като алтернатива на многовариантното прогнозиране за различни схеми при проектиране разположението и размерите на добивните изработки с цел опазване на земната повърхност и обектите, разположени върху нея от вредното влияние на подземните минни работи.

5. Разработени са математични модели за управление на деформационната картина на земната повърхност чрез определяне разположението и размерите на:

- Един добивен фронт, по такъв начин, че деформациите на земната повърхност да са по-малки от допустимите;
- Един добивен фронт така, че подработваните обекти да попадат в зона с минимални хоризонтални деформации;
- Два добивни фронта така, че подработваните обекти да попадат в зона с минимални хоризонтални деформации.

БЪДЕЩО РАЗВИТИЕ НА РАЗГЛЕЖДАНАТА ТЕМАТИКА

Намеренията за бъдещо развитие на разглежданата тематика, в съответствие с възприетата структура на дисертационния труд, са както следва:

1. Предложените формули и алгоритми в Глава II са едно съществено допълнение към метода на типовите криви. Без тяхното прилагане е невъзможно генерирането на необходимите данни за създаване на различни визуализации на мулдата на движение. Например, изобразяването ѝ с изослягания и изодеформати в равнината или в пространството. В този аспект, би било полезно, при написване на учебно помагало по изучаваната дисциплина движение на скалите, те да бъдат отразени, заедно с числени примери за тяхното приложение.

2. Допълване на съществуващите модели и създаване на нови такива за условията на подработване – с два добивни фронта по един въглищен пласт, с цел изчерпване на цялото многообразие от задачи.

3. Създаване на математични модели при хармонично подработване на обекти, разположени на земната повърхност, когато добивът се извършва по два въглищни пласта.

ПУБЛИКАЦИИ

Някои от основните моменти в настоящата разработка са отразени в следните публикации:

1. Асенова К. А. Определяне на допустими условия за опазване на обекти разположени на земната повърхност при проектиране на подземни минни работи. 6^{та} национална научно-техническа конференция с международно участие, Технологии и практики при подземен добив и минно строителство, Девин, 1 – 4 Октомври, 2018, стр. 214 - 221.

2. Assenova K. A. Subsidence and Strain Prediction for an Arbitrary Point Located on the Earth's Surface. VIIIth International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria, 2 – 6 July, 2018, pp. 285 - 291.

3. Assenova K. A. & T. V. Georgiev. Multiobjective Approach for Solving the Problem of Minimizing the Horizontal Surface Deformations Caused by Underground Excavation of Coal Seams. 14th Mining Congress of Turkey, Ankara, 6 – 9 June, 1995, pp. 231 - 237.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА ЦИТИРАНА В АВТОРЕФЕРАТА

- [1] Асенова К. А. Протаб – програма за прилагане метода на типовите криви. Списание „Минно дело и геология“, 1 – 2, 1997, стр. 27 – 29.
- [2] Асенова К. А. Опазване на земната повърхност при разработване на подземни въглищни находища. НФНИ - Договор №436, Министерство на образованието, София, 1997.
- [3] Асенова К. А. Определяне на допустими условия за опазване на обекти разположени на земната повърхност при проектиране на подземни минни работи. 6^{та} национална научно-техническа конференция с международно участие, Технологии и практики при подземен добив и минно строителство, Девин, 1 – 4 Октомври, 2018, стр. 214 - 221.
- [4] Инструкция за опазване на обектите и съоръженията от вредното влияние на подземните минни работи във въглищни басейни. Министерство на енергетиката, Техника, София, 1983.
- [5] Ковальски, А. Горные способы минимализации деформации поверхности и горных пород под влиянием подземной разработки каменного угля. VII Международный конгресс по маркшейдерскому делу. Ленинград, 1988, 211 – 215.
- [6] Кратч Г. Сдвигание горных пород и защита подрабатываемых сооружений, Недра, Москва, 1978.
- [7] Маркшейдерское дело – Част 2. Недра, Москва, 1989.
- [8] Николов Е. Безопасная подработка водных объектов и поверхностных сооружений при подземной разработке угольных пластов. НИТИ Минпроект, София, 2000.
- [9] Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях. ВНИМИ, Санкт-Петербург, 1998.

- [10] Рекомендации по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горных выработок в основных угольных бассейнах. Стройиздат, Ленинград, 1967.
- [11] Справочник по маркшейдерство. Техника, София, 1978.
- [12] Турчанинов И. А., М. А. Йофис, Э. В. Каспарьян. Основы механики горных пород. Недра, Ленинград, 1977.
- [13] Шагалов С. Е., Р. А. Муллер, В. В. Марков и др. Защита и подработка зданий и сооружений. Недра, Москва, 1974.
- [14] Assenova K. A. Subsidence and Strain Prediction for an Arbitrary Point Located on the Earth's Surface. VIII-th International Geomechanics Conference, Varna, Bulgaria, 2 – 6 July 2018, pp. 285 - 291.
- [15] Assenova K. A. & T. V. Georgiev. Multiobjective Approach for Solving the Problem of Minimizing the Horizontal Surface Deformations Caused by Underground Excavation of Coal Seams. 14th Mining Congress of Turkey, Ankara, 6 – 9 June, 1995, pp. 231 – 237.
- [17] Bahuguna P. P., A. M. C. Srivastava, N. C. Saxena, A critical review of mine subsidence prediction methods. Mining Science and Technology № 13 Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1991, pp. 369 - 382.
- [28] Knothe S. Prognozowanie wptywow eksploatacji gorniczej. Slask, Warszawie, 1984.
- [33] Ochrana powierzchni przed szkodami gorniczymi. Slask, Warszawie, 1980.
- [34] Sahu S. P., A. Prakash, K. B. Singh, A Critical Review on Subsidence Prediction Models for Stowed Workings in Indian Coalfields and Their Assessment Through a Comparative Study. The Indian Mining and Engineering Jurnal, Vol. 53 No 11, November 2014, pp. 13 - 19.
- [44] Whittaker B. N., D. J. Reddish, Subsidence: Occurrence, Prediction and Control. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1989.
- [45] Wolfram Research, Inc., Mathematica, Version 8.0, Champaign, Illinois, 2011.