

**XXVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON  
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE  
IN GEODESY AND RELATED FIELDS**

**Sofia, 08 - 09 November 2018**

**XXVIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ  
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБУЧЕНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА  
ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”**

**София, 08 - 09 Ноември 2018**

---

**ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕЗУЛТАТИ ОТ МАРКШАЙДЕРСКИ  
ИЗМЕРВАНИЯ ЗА СЛЕДЕНЕ УСТОЙЧИВОСТТА  
НА СТЕНАТА НА ШЛАМОХРАНИЛИЩЕ,  
ПОДРАБОТВАНА С МИННИ РАБОТИ**

**Александър Цонков (BG)**

**РЕЗЮМЕ:**

Изследва се възможността за използване на резултати от маркшайдерски измервания за определяне на елементите на деформации за обект, подложен на различни геомеханични процеси. Изчислени са стойностите на главните деформации и техните посоки, на относителното изменение на площта и на интензивността на формоизменението в равнината на наблюдавания обект. Определени са зони с хоризонтални деформации, надвишаващи условно допустими стойности за стената на шламоохранилището.

**Въведение**

При строителството и експлоатацията на подземни и надземни съоръжения, при добив на минерални суровини по открит или подземен начин, при сеизмични или повърхностни геодинамични явления, се предизвикват непрекъснати изменения на вместищата среда. Такава среда може да бъде земната повърхност, скалният масив около и над подземни и тунелни изработки, бортовете на откритите рудници и кариери, свлачищните зони, земната кора. Деформационни промени може да настъпят и в самите съоръжения (напр. язовирни и други стени).

Нуждата от прогнозиране на деформируемостта на средата и съоръженията налага прилагането на подходящи методи на наблюдение за установяване на съответните процеси и за провеждането на адекватни мероприятия за тяхното регулиране в определени граници.

Важна роля в тези изследвания имат методите за определяне на пространствените положения на избрани точки от обектите. В тях успешно се прилагат похватите както на класическата, така и на космическата геодезия. Използват се повторни или многократни измервания.

По резултатите от тях могат да се решат две задачи:

1. Математическо описание (моделиране, идентификация) на деформационния процес;
2. Прогнозиране на бъдещи стойности на изследваните величини за различни моменти от времето.

При правилна интерпретация на получените резултати може да се предприемат мерки относно безопасността и ефективността на работата на минното предприятие.

Съгласно [2] при изучаване на деформации се спазва следната последователност:

1. Организиране и извършване на измерванията;
2. Обработка на данните от измерванията;
3. Анализ на резултатите;
4. Интерпретация на крайните резултати.

В изложението на настоящия доклад се показват някои възможни начини на представяне и интерпретиране на резултати от извършени наблюдения за следене устойчивостта на стената на шламохранилище към мини “Бобов дол” ЕАД.

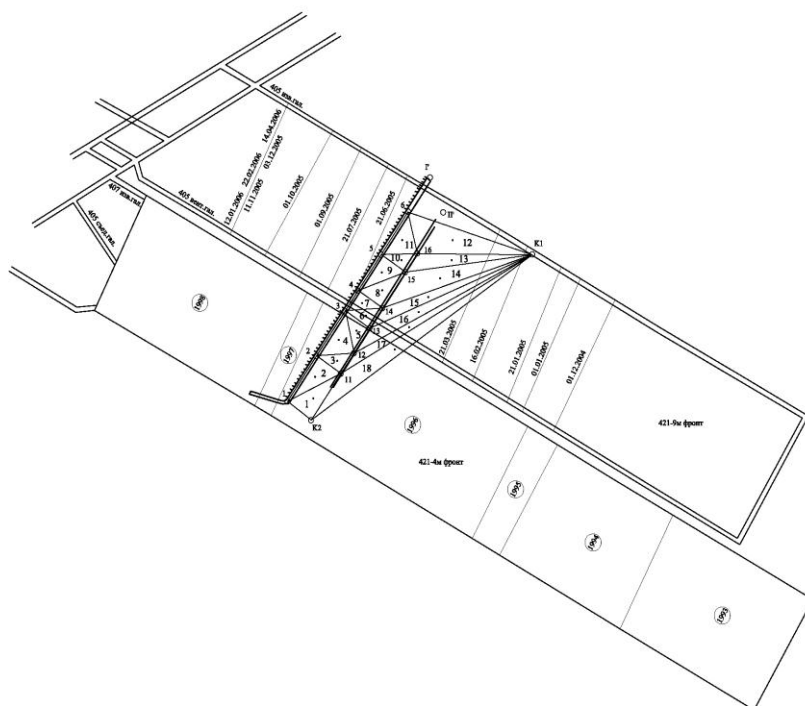
### ***Общи сведения за обекта***

Шламохранилището се намира западно от гр.Бобов дол и граничи с населеното място. Под съоръжението са се водели минни работи на дълбочина около 400 м. От 1986 до 1998 г. стената е подработвана по различно време от три добивни фронта, работещи по пласт IV на рудник “Бабино” в югозападна посока. В североизточна посока, в непосредствена близост, се намират вертикалните крила на пластовете, достигащи до земната повърхност. През 2003 г. започва работа нов фронт (421<sup>9м</sup>), разположен непосредствено под стената в същия пласт IV (фиг.1). В тази връзка е проектирана и изградена специална наблюдателна станция. Тя има за цел да осигури надеждно и точно определяне на пространственото положение на стабилизираните в стената реперни точки при подработването ѝ и след това. В периода на измерванията са извършени 14 наблюдения.

### ***Определяне на елементите на деформации за стената на шламохранилище към мини „Бобов дол” ЕАД***

Чрез извършените ъглови, линейни и височинни измервания са определени високоточно координатите и надморските височини на наблюдаваните, стабилизирани в стената, точки. Изчислени са хоризонталните и вертикалните им премествания спрямо първоначалното и спрямо предходното регулярно измерване. Построени са графики на тези премествания в пространството и времето, както и техните скорости на изменение.

В представения доклад се показва възможност резултатите от маркшайдерските наблюдения да се използват и за характеризиране на деформационното състояние на подработваната с минни работи стена на шламохранилището.



фиг.1. План на минните работи и стената на шламохранилището

Формирана е мрежа от триъгълници, върховете на които са наблюдаваните репери (фиг.1). От проведените наблюдения са определени разстоянията между тях за интервала от време между всеки две последователни измервания, както и между първото и всяко друго. Чрез техните изменения в различните интервали, се изчислени елементите на деформации за всеки триъгълник:

- относително изменение на площта – дилатация  $\theta$ ;
- формоизменение – максимално преместване  $\gamma_m$ ;
- главни стойности на деформациите  $E_1$  и  $E_2$  и посоките  $T_1$  и  $T_2$  на главните оси.

Тъй като се приема хипотезата за локално еднородно деформиране на всяка елементарна фигура, получените резултати се отнасят за цялата площ на конкретния триъгълник в неговата равнина [1], но се отбелязват в центъра на тежестта му. Начините за изчисляването на елементите на деформациите са показани в [6].

Стойностите на главните деформации представляват относителните изменения на дължините по направление на главните оси за периода между две измервания. Дилатацията и максималното преместване характеризират относителното изменение на площта и на формата на изследваната елементарна фигура.

Посоките на главните деформации се определят в локална за всеки триъгълник координатна система, която лежи в неговата равнина. След това те се преизчисляват в единна за наблюдавания обект координатна система.

Тези резултати не зависят от избраната координатна система и се наричат инвариантни характеристики на деформациите. Чрез стойностите им се правят изводи относно деформационното състояние на наблюдавания обект за периодите от време между маркшайдерските измервания. Получените резултати служат за характеризиране на процеса и неговото прогнозиране в пространството и времето.

В таблица 1 са показани конкретните стойности за главната деформация  $E_1 \cdot 10^{-3}$  за всеки от триъгълниците, отнасящи се за интервалите от време спрямо първото измерване. Посочени са и координатите на центъра на тежестта за всяка от фигурите.

Таблица 1.

№ на триъгълник	X, [m]	Y, [m]	I-2	I-3	I-4	I-5	I-6	I-7	I-8	I-9	I-10	I-11	I-12	I-13	I-14
1	2311,02	4396,49	0,08	0,07	0,11	0,12	0,90	1,44	1,88	2,59	2,99	3,12	3,14	3,27	3,60
2	2326,69	4397,87	0,11	0,16	0,07	0,14	1,86	2,72	3,67	4,69	5,75	5,99	6,21	6,28	5,82
3	2338,41	4415,09	0,12	0,16	0,10	0,14	0,81	0,99	1,40	2,03	3,21	3,29	3,41	3,36	3,50
4	2353,72	4416,25	0,12	0,10	0,10	0,13	0,21	0,59	1,05	2,60	3,87	4,01	4,08	4,12	4,08
5	2360,39	4430,02	-0,01	0,04	0,03	-0,10	0,17	0,54	0,99	2,49	3,76	3,91	4,02	4,08	4,03
6	2371,37	4437,41	0,07	0,06	0,08	-0,08	0,35	0,63	0,64	1,76	3,12	3,21	3,45	3,61	3,44
7	2380,58	4434,45	0,02	0,01	0,20	0,27	-0,39	-0,38	-0,59	-0,04	1,11	1,29	1,34	1,38	1,48
8	2389,97	4450,04	0,04	0,01	0,13	0,27	0,03	-0,07	-0,47	0,36	1,57	1,66	1,72	1,77	1,89
9	2402,99	4449,69	0,06	0,08	0,00	0,04	-0,98	-1,18	-1,25	-1,12	-0,74	-0,37	-0,39	-0,28	-0,33
10	2411,98	4464,98	0,17	0,12	0,01	0,04	-1,08	-1,41	-1,77	-1,51	-0,98	-0,58	-0,59	-0,48	-0,50
11	2426,62	4465,60	0,42	0,36	0,19	0,29	-0,12	0,71	1,54	2,84	3,99	4,40	4,47	4,48	4,65
12	2426,59	4504,65	0,40	0,29	0,14	0,18	0,07	0,53	1,29	1,94	2,54	2,67	2,74	2,76	2,81
13	2411,95	4504,03	-0,02	-0,04	0,01	-0,24	-0,62	-1,60	-2,03	-2,52	-3,04	-3,09	-3,10	-2,99	-3,19
14	2398,68	4495,05	0,18	0,19	0,22	0,17	-0,07	-0,66	-1,12	-1,47	-1,55	-1,67	-1,78	-1,81	-1,88
15	2384,98	4485,76	0,21	0,25	0,37	-0,03	-0,08	-0,31	-0,13	0,19	0,56	0,68	0,77	0,77	0,45
16	2374,01	4478,37	-0,05	-0,08	-0,17	-0,32	-0,27	0,41	0,82	2,06	2,66	2,74	2,63	2,51	2,53
17	2363,01	4470,90	0,21	0,20	0,04	0,33	1,22	1,55	2,29	3,15	4,79	4,93	4,98	4,92	5,11
18	2346,70	4459,80	0,03	0,03	0,22	0,46	2,09	3,38	4,53	6,12	6,89	7,26	7,30	7,54	7,59

Връзка между стойностите на инвариантните характеристики на деформациите и допустимите деформации

Процесът на деформиране на земната повърхност, съоръженията, скалния масив или друг обект, се характеризира количествено чрез определените хоризонтални и вертикални премествания на наблюдаваните точки. В зависимост от вида на обекта се изчисляват стойности на вертикални и хоризонтални деформации, които се сравняват с допустими стойности. Съгласно действащите у нас инструкции за опазване на обекти и съоръжения от вредното влияние на минните работи във въглищни басейни [3] и в условията на рудни находища [4], опазваните обекти се класифицират в няколко групи (категории). За всяка от тях са определени стойностите на допустимите деформации. За обекти, които не попадат в посочените категории, е необходимо тези стойности да бъдат зададени от проектантите им.

В инструкциите за опазване на обекти и съоръжения се разглеждат следните видове деформации:

1. Вертикални деформации (наклони и кривина). Това са деформации от неравномерността на движението на точките във вертикалната равнина.

а) Наклоните на отделните интервали представляват отношение между разликата в слягането на две точки към разстоянието между тях.

б) Кривината е отношение на разликата от наклоните на два съседни интервала към полусумата от дължините им. Тя характеризира неравномерността на наклоните в съседните интервали.

2. Хоризонтални деформации (разтягане и свиване). Това са деформации, предизвикани от неравномерността на движението на точките в хоризонталната равнина.

а) Разтягането и свиването представляват отношение на разликата от дължината в началния и текущия момент на измерване към първоначалната ѝ стойност.

Както беше казано по-горе, стойностите на елементите на деформациите се получават за равнината на всеки триъгълник. При хоризонтално (или приблизително хоризонтално) разположение на триъгълника може да се сравняват получените стойности на главните деформации с допустимите хоризонтални такива за наблюдавания обект.

Ако триъгълникът е с друга ориентация в пространството, е необходимо векторът на главната деформация да се проектира върху хоризонтална равнина като се вземе предвид и неговата посока.

За целта чрез пространствените координати на трите върха на триъгълника се съставя уравнението на неговата равнина имайки предвид известната формула за общо уравнение на равнина в пространството:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (1)$$

Уравнението на равнина през три точки, нележащи върху една права, има вида:

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

където:

$(x, y, z)$  са координати на произволна точка от равнината;

$(x_i, y_i, z_i)$  са координати на трите известни (дадени) точки, върхове на триъгълника.

Двустенният ъгъл между две равнини се характеризира чрез косинуса на ъгъла между двата нормални вектора на пресичащите се равнини:

$$\cos \varphi = \hat{n}_1 \cdot \hat{n}_2 = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \cdot \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}; \quad (3)$$

където:

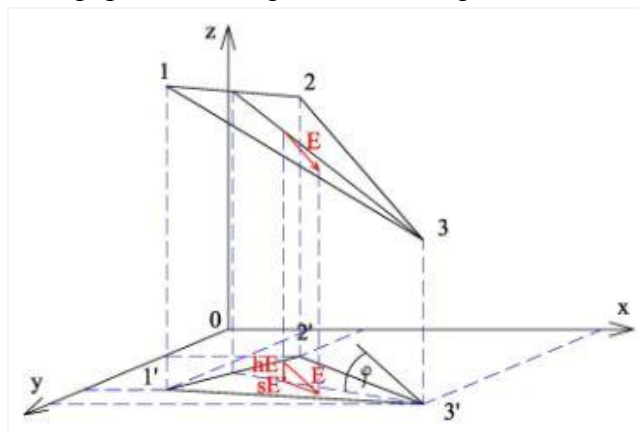
$\hat{n}_1$  и  $\hat{n}_2$  са двата нормални вектора на пресичащите се равнини;

$A_1, B_1, C_1$  са коефициенти от уравнението на равнината на триъгълника;

$A_2, B_2, C_2$  са коефициенти от уравнението на хоризонталната равнина.

Така може да се определи ъгъла между хоризонталната равнина и равнината на триъгълника.

Впоследствие, чрез подходящи изчисления (фиг.2), се определя хоризонталната съставляваща на главната деформация в хоризонталната равнина.



фиг.2

Получените стойности може да се сравняват със съответните допустими за наблюдаваното съоръжение или обект. По този начин инвариантните характеристики на деформациите може да се използват в процеса на контрол и управление на състоянието на минните масиви, на различните съоръжения, в строителството и т.н.

При приет критерий за точност на елементите на деформациите, по изведени формули за тяхната оценка [5], в зависимост от точността на изходните данни, има възможност за избор на подходящ по точност метод на маркшайдерските измервания.

Определяне на зоните с различни стойности на главните деформации и сравнение с допустими за съоръжението хоризонтални деформации

За разглеждания обект са определени стойностите на главните деформации за всеки от покриващите го триъгълници. Резултатите са получени като са взети предвид измененията в положението на наблюдаваните точки във времето под влияние на добивните минни работи. За всяко регулярно измерване са определени стойности на  $E_I$  спрямо първоначалното положение на върховете на триъгълниците (табл.1). Получените стойности са отнесени към центъра на тежестта на всеки триъгълник.

Създаден е план на наблюдавания обект върху който с изолинии са изобразени зони с различни стойности на главната деформация  $E_I$ . Тези стойности са сравнени с *условно приета допустима хоризонтална деформация*  $2 \cdot 10^{-3}$ .

На фиг.3 са показани:

- в червен цвят – зони на опън със стойности на хоризонталните деформации *над допустимата* приета ( $2 \cdot 10^{-3}$ );
- в зелен цвят – зони на опън със стойности на хоризонталните деформации *под допустимата* приета ( $2 \cdot 10^{-3}$ );
- в син цвят – зони на натиск със стойности на хоризонталните деформации *над допустимата* приета ( $2 \cdot 10^{-3}$ );
- в жълт цвят – зони на натиск със стойности на хоризонталните деформации *под допустимата* приета ( $2 \cdot 10^{-3}$ ).

На базата на резултатите от изследванията може да се направят следните изводи и заключения:

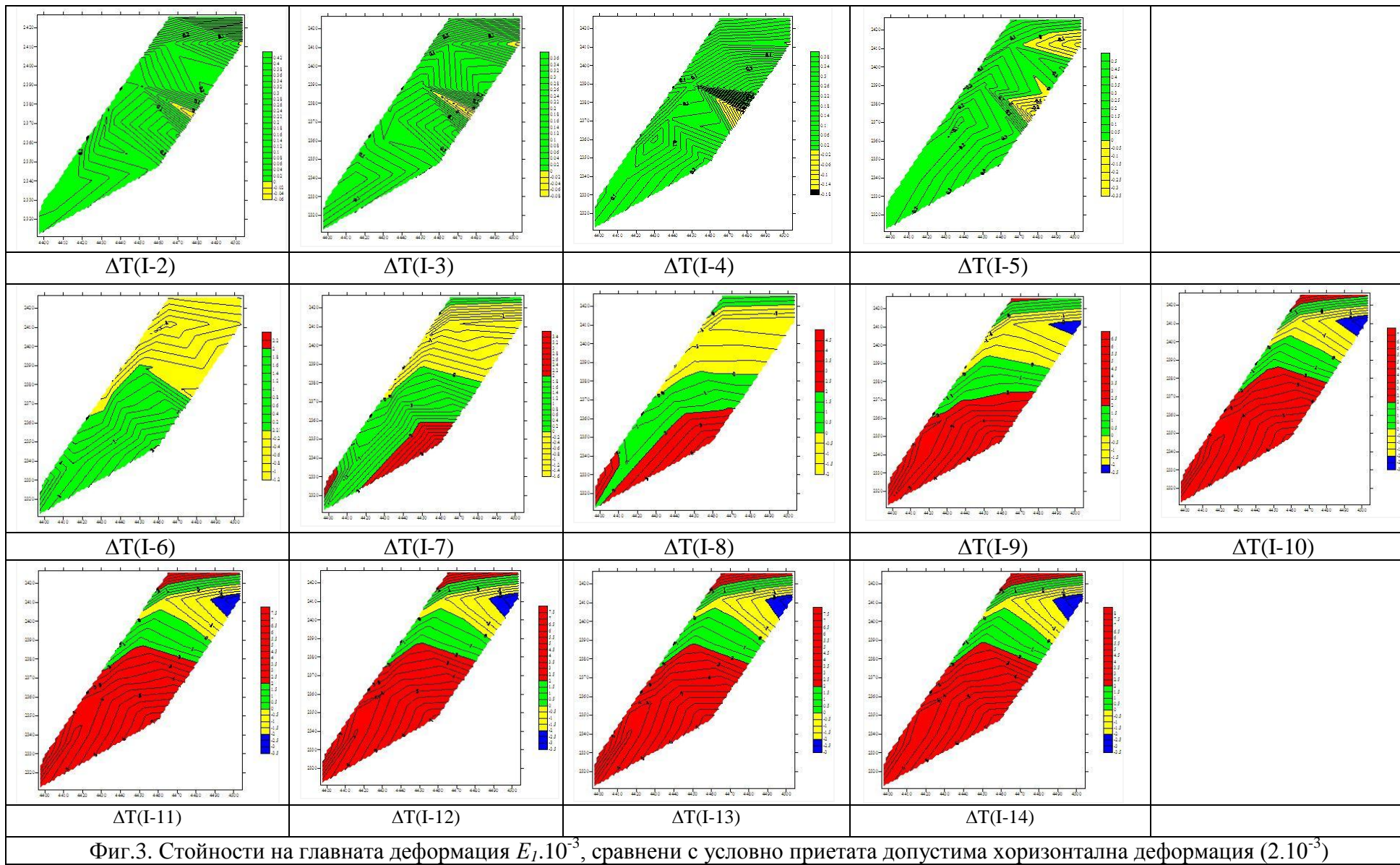
1. Получените резултати от изследването на деформираното състояние на масива за разглеждания период потвърждават общата представа за поведението му при подработване с минни работи.

2. Опънови хоризонтални деформации, надвишаващи условно приетите допустими стойности за обекта, се явяват първоначално над границата между движещия се  $421^{9m}$  фронт и отработения преди години съседен  $421^{4m}$  фронт. С напредването на фронта зоната им се разширява в посока към отработеното от новия фронт пространство.

3. Натискови хоризонтални деформации, надвишаващи условно приетите допустими стойности за обекта, се явяват над зоната на отработеното пространство от новия фронт. Общо зоната с натискови деформации, превишаващи или не допустимите, намалява по площ във времето, което е за сметка на зоната с опънови деформации.

4. Появата на натискови деформации в североизточната част на стената на шламохранилището може да се обясни с близостта на вертикалните крила на въглищните пластове, което довежда до друг начин на деформиране на скалния масив.

5. При непрекъснато следене на поведението на стената, както в процеса на подработването ѝ с минни работи, така и след това, чрез определените стойности на изследваните елементи на деформациите, може да се прогнозира опасните зони и моменти на поява на стойности, надвишаващи допустимите за съоръжението. Въз основа на тези прогнози може да се предприемат мерки за осигуряване на безопасното състояние на съоръжението и неговата дълговременна и безопасна експлоатация.



Литература:

1. Есиков, Н.П., Методы кинематического анализа современных движений земной поверхности. – Геол. и геофиз., №, стр.130-141.
2. Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи, София, 1980.
3. Инструкция за опазване на обектите и съоръженията от вредното влияние на минните работи във въглищните басейни. Министерство на енергетиката. София, 1983.
4. Инструкция за опазване на съоръженията и обектите от вредното влияние на подземните минни работи за условията на рудните находища, КНИППИ „Нипроруда”, София, 1989.
5. Цонков, Ал., Използване на резултати от маркшайдерски измервания при изследване на геомеханични процеси, XIII Национална конференция с международно участие по открит и подводен добив на полезни изкопаеми, МДУ „Фр.Ж.Кюри”, Варна, 2015.
6. Цонков, Ал., Изследване на геомеханични процеси чрез маркшайдерски измервания, Четвърта национална научно-техническа конференция с международно участие “Технологии и практики при подземен добив и минно строителство”, Девин, 2014.

**Автор:**

ас. д-р Александър Цонков  
Минно-геоложки университет „Св.Иван Рилски”  
ул."проф. Боян Каменов", София  
телефон: +359886421409  
E-mail: altzon@abv.bg