



*Получена: 26.05.2016 г.*

*Приета: 13.12.2016 г.*

## ПОНЯТИЕТО „ДЕФОРМАЦИЯ“ ПРИ ИНЖЕНЕРНИ СЪОРЪЖЕНИЯ (ЯЗОВИРНИ СТЕНИ)

Ю. Цановски<sup>1</sup>

*Ключови думи: деформация, премествания, ГНСС*

### РЕЗЮМЕ

В статията се разглежда изследването на деформации на инженерно съоръжение (насипна язовирна стена) от гледна точка на определени премествания на характерни точки, стабилизирани по съоръжението, изчислени от ГНСС измервания. Предлага се нов прочит на понятието „деформация“ на инженерно съоръжение като се има предвид, че то е пряко свързано с изменение на формата и размерите на едно деформируемо тяло, независимо от координатната система, в която се изследват преместванията на изграждащите го точки [2].

### 1. Въведение

В резултат на факта, че геодезическите работи се извършват върху физическата земна повърхност, при наблюдение на геодинамичното поведение е възможно да бъдат установени вертикалните премествания на точки от земната кора, но не и на вертикални деформации, за които са нужни неоспорими емпирични характеристики на взаимното изменение на точки от вътрешноземното пространство. За определяне на хоризонтални деформации е необходимо еднозначно дефиниране на хоризонталната равнина, която е перпендикулярна на вектора на силата на тежестта и респективно има различна ориентация, в следствие на неговото променящо се направление в дълбочина в различните точки от земната повърхност. Поради това, в геодезията обект на изследване са „равнинните и височинни компоненти на премествания и деформации“ на точки,

---

<sup>1</sup> Юри Цановски, гл. ас. д-р инж., кат. „Висша геодезия“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: tzanovski\_fgs@uacg.bg

характеризиращи динамичното поведение на земната кора [3], а така също и на основни инженерни структури – язовирни стени, мостове, тунели и т.н.

Деформациите е възможно да възникнат в следствие на влиянието на различни обективни (сеизмична дейност; пластичност на почвата; нееднородност на геоложкия строеж; хидроложки режим на подпочвените води) и субективни (пропуски в проучването и проектирането; грешки при строителството; неправилна експлоатация на инженерното съоръжение) фактори. Необходимо е те да бъдат отчетени, за да се организират и извършат коректно геодезическите измервания [4].

При наблюдение на конкретно инженерно съоръжение, деформацията има смисъл единствено на преместване на трайно стабилизирани характерни точки от него в хоризонтално, вертикално или пространствено положение [7]. Една от целите на деформационния анализ е да се сравнят получените изменения в положението с техните допуски и да се определи степента на устойчивост на изследвания обект, за да бъдат предотвратени аварии или разрушаване в периода на неговата експлоатация [4].

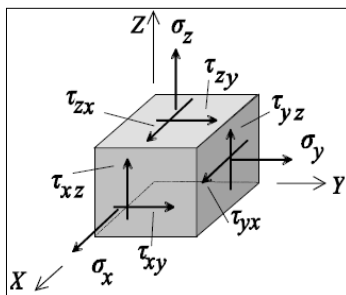
Според изходните точки, спрямо които се определят преместванията, съществуват:

- Абсолютни деформации – показват изместването на наблюдавания обект спрямо непроменящи (или много бавно променящи) пространственото си положение точки, разположени в близост, но извън (по възможност) деформационните граници;
- Относителни деформации – показват преместването на една част спрямо друга от даден обект.

Според своето направление:

- Хоризонтална деформация – определят се премествания на точки в хоризонтална равнина. Такива деформации са свиване/разтягане;
- Вертикална деформация – определят се преместванията на точки във вертикалната равнина. Тук очакваните деформации са на слягане (потъване) и повдигане.

## 2. Въведение в теорията за напрегнато и деформирано състояние



Фиг. 1. Напрегнато състояние

2.1. *Напрегнато състояние в точка* – през произволна точка от напрегнато тяло могат да се прекарат различно ориентирани площадки. Ако площадката е ориентирана така, че нейната нормала е ос  $X$ , на една предварително избрана правоъгълна координатна система  $XYZ$  по площадката ще действат едно нормално напрежение  $\sigma_x$  и две

тангенциални напрежения. При прекарване на площадки, перпендикулярни на осите  $Y$  и  $Z$ , върху тях ще действат едно нормално и две тангенциални напрежения (фиг. 1 – означени напрежения само по видимите страни на кубчето).

От фигурата са видни 3 нормални и 6 тангенциални напрежения, които образуват тензора на напрегнато състояние

$$T_{\sigma} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{zx} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{zy} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix}. \quad (1)$$

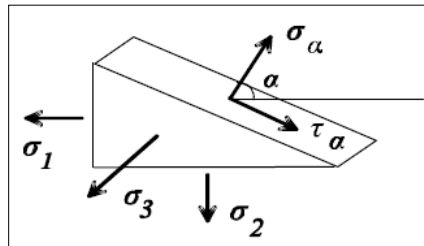
За да бъде кубчето в равновесие, е необходимо да са изпълнени условията на статиката – сумата от силите по ос  $X$ ,  $Y$  и  $Z$  да са равни на нула и сумата от моментите около същите оси да са равни на нула. Това ще бъде изпълнено, ако на противоположните невидими площадки действат същите напрежения, както на видимите, но са обратно насочени. В действителност в общия случай те ще имат малки нараствания, но колкото размерите на кубчето са по-малки, толкова твърдението, че са равни по големина, е по-вярно, поради което пренебрегваме тази подробност. Следователно:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}; \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}; \quad \tau_{zx} = \tau_{xz}, \quad (2)$$

което е Закон за взаимност на тангенциалните напрежения (ЗВТН).

На основание, този Закон тензорът на напрегнатото състояние (1) е симетричен и в околността на точка в общия случай действат общо шест независими напрежения – три нормални и три тангенциални.

2.2. *Максимални тангенциални напрежения за обемно напрегнато състояние* – обемно напрегнато състояние се наблюдава в случаите на определени главни напрежения в три взаимно перпендикулярни равнини, чиито стойности са различни от 0. Ако се разгледа площадка, успоредна на третото главно направление (фиг. 2), нормалното тангенциално напрежение няма да зависи от това напрежение – формула 3.



Фиг. 2. Максимални тангенциални напрежения

$$\tau_{12} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}. \quad (3)$$

Това напрежение ще действа по площадка, успоредно на напрежението  $\sigma_3$  и с нормала, разполовяваща ъгъла между направленията 1 и 2. От ЗВТН следва, че тангенциално напрежение със същата големина ще действа и на перпендикулярната на нея площадка, успоредна на напрежението  $\sigma_3$ .

По аналогия, разглеждайки другите две двойки нормални напрежения, ще установим, че на площадките, равнонаклонени към техните оси, в равнините 2,3 и 3,1 ще действат тангенциални напрежения, които се определят по аналогични формули:

$$\tau_{12} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \tau_{23} = \pm \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{2} \quad \tau_{13} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}. \quad (4)$$

2.3. Деформирано състояние в точка – подобно на напрегнатото състояние, във всяка точка на деформираното тяло съществуват три независими линейни и три ълови деформации, които определят деформираното състояние в околността на точката:

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{Bmatrix}; \quad \gamma = \begin{Bmatrix} \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{xz} \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

Шестте деформации са функция на еластичните премествания на точката по осите на координатната система  $U$ ,  $V$  и  $W$ , които от своя страна зависят от местоположението на точката. Тези зависимости са известни като уравнения на Коши и са геометрични зависимости, приложени преди всичко в Теорията на еластичността [2]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial U}{\partial x}; & \gamma_{xy} &= \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x}; \\ \varepsilon_y &= \frac{\partial V}{\partial y}; & \gamma_{yz} &= \frac{\partial V}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial y}; \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial W}{\partial z}; & \gamma_{xz} &= \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial z}. \end{aligned} \quad (6)$$

Между линейните и ъловите деформации съществуват подобни зависимости, както при напрегнатото състояние [5]. Следователно може да се заключи, че Тензорът на деформирано състояние придобива следния вид:

$$T_\varepsilon = \begin{vmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \frac{1}{2}\gamma_{zx} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{zy} \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz} & \frac{1}{2}\gamma_{yz} & \varepsilon_z \end{vmatrix}. \quad (7)$$

С най-голямо практическо приложение е израза за деформирано състояние в произволно избрано направление

$$\varepsilon_n = \varepsilon_x \lambda^2 + \varepsilon_y \mu^2 + \varepsilon_z \nu^2 + \gamma_{xy} \lambda \mu + \gamma_{yz} \mu \nu + \gamma_{zx} \nu \lambda. \quad (8)$$

Ако разглеждаме равнинен случай, примерно за равнината  $XY$ , изразът за деформирано състояние приема вида

$$\varepsilon_n = \varepsilon_x \lambda^2 + \varepsilon_y \mu^2 + \gamma_{xy} \lambda \mu. \quad (9)$$

2.4. *Обемна деформация* – разлика в обемите на деформирано и недеформирано тяло, отнесени към недеформираното тяло

$$e = \frac{V' - V}{V}, \quad (10)$$

където  $V$  е обем на недеформираното тяло, а  $V'$  – обем на деформираното тяло.

Ако означим с  $dx$ ,  $dy$  и  $dz$  промяната в размерите на тялото в една произволна координатна система  $XYZ$ , то обемната деформация ще е

$$e = (1 + \varepsilon_x)(1 + \varepsilon_y)(1 + \varepsilon_z). \quad (11)$$

Докато е валиден закона на ХУК, деформациите на телата са много малки величини (до  $10^{-3}$  и по-малки), следователно след развитието на (11) и пренебрегвайки членовете с участие на 2 и повече компоненти, можем да запишем уравнението за обемна деформация

$$e = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z. \quad (12)$$

Компонентите на обемната деформация, имащи смисъл на площи за съответните равнини, се получават:

$$\begin{aligned} e^{xy} &= \varepsilon_x + \varepsilon_y; \\ e^{yz} &= \varepsilon_y + \varepsilon_z; \\ e^{xz} &= \varepsilon_x + \varepsilon_z. \end{aligned} \quad (13)$$

Познавайки тензора на деформирано състояние в точка, бихме могли да изчислим максималните деформации в същата точка при допускане, че съществува такава площадка, прекарана през точката, по която няма тангенциални напрежения, а само нормални:

$$\begin{aligned} (\varepsilon_x - \varepsilon_n)\lambda + \frac{1}{2}\gamma_{yx}\mu + \frac{1}{2}\gamma_{zx}v &= 0; \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy}\lambda + (\varepsilon_y - \varepsilon_n)\mu + \frac{1}{2}\gamma_{zy}v &= 0; \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz}\lambda + \frac{1}{2}\gamma_{yz}\mu + (\varepsilon_z - \varepsilon_n)v &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

Косинус направляващите имат зависимостта

$$\lambda^2 + \mu^2 + v^2 = 1. \quad (15)$$

Това означава, че те никога няма да бъдат равни едновременно на нула, а това условие би било изпълнено при предпоставката

$$\det \begin{vmatrix} (\varepsilon_x - \varepsilon_n)\lambda + \frac{1}{2}\gamma_{yx}\mu + \frac{1}{2}\gamma_{zx}v \\ \frac{1}{2}\gamma_{xy}\lambda + (\varepsilon_y - \varepsilon_n)\mu + \frac{1}{2}\gamma_{zy}v \\ \frac{1}{2}\gamma_{xz}\lambda + \frac{1}{2}\gamma_{yz}\mu + (\varepsilon_z - \varepsilon_n)v \end{vmatrix} = 0. \quad (16)$$

Развито, уравнението по правилото на Сарус, ще даде кубично уравнение относно неизвестното  $\varepsilon_n$ , чийто корени ще са екстремалните стойности на деформации

$$\varepsilon_n^3 - J_1 \varepsilon_n^2 + J_2 \varepsilon_n - J_3 = 0, \quad (17)$$

където коефициентите  $J_n$  са инвариантни по отношение на приетата координатна система и се изчисляват по:

$$\begin{aligned} J_1 &= \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z; \\ J_2 &= A_{11} + A_{22} + A_{33}; \\ J_3 &= \det(T_\varepsilon). \end{aligned} \quad (18)$$

Когато цел на изследванията са определянето на площни деформации, бихме могли да изчислим екстремните стойности в равнината  $XU$  примерно, познавайки равнинния тензор на деформации. Решението се свежда до намиране на корените на квадратното уравнение

$$\varepsilon_n^2 - J_1 \varepsilon_n + J_2 = 0, \quad (19)$$

където коефициентите  $J_n$  са инвариантни по отношение на приетата координатна система и се изчисляват по:

$$\begin{aligned} J_1 &= \varepsilon_x + \varepsilon_y; \\ J_2 &= \det(T_\varepsilon). \end{aligned} \quad (20)$$

Ориентацията на главните оси на деформация се изчислява по

$$\tan 2\Theta = \frac{\gamma_{xy}}{\varepsilon_x - \varepsilon_y}, \quad (21)$$

където  $\Theta$  е ъгъл на завъртане на голямата полуос на деформацията.

### 3. Определяне на деформациите на насипна язовирна стена – стратегия

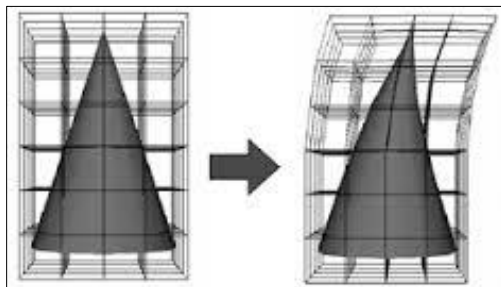
За дефиниране на поведението на инженерно съоръжение се съди по поведението на дискретен брой точки, стабилизирани на характерни места. Съгласно действащата „Инструкция за изследване на деформациите на сгради и съоръжения чрез геодезически методи“ от 1980 г., деформациите се изразяват чрез пространственото си изменение, а тези анализи водят до важни заключения. Тъй като по преместването на точките не бихме могли да съдим за промяна във формата на съоръжението, се преминава към изчисляване на обемни деформации в тези точки. Предпоставки за това са залегнали в изчисляване на деформации в произволно ориентирани пространствени отсечки, изчислявани по формула 8.

Както е видно, неизвестните в уравнение (8) са 6, следователно трябва да се състави система с минимум 6 пространствени отсечки, от които еднозначно ще се намерят

стойностите на симетричния тензор на деформации. Важно е да се отбележи, че стойностите ще са валидни за областта, обхваната от тези отсечки и по-точно към центъра на тежестта на образуваната от тях фигура.

При анализа за поведението на определено съоръжение неминуемо се преминава през изследване на устойчивостта на изходните точки, които всъщност са точките, реализиращи избраната координатна система, в която се изчисляват преместванията на наблюдаваните точки. Логичен би бил изборът единият край на насочените пространствени отсечки да бъде изходна (устойчива) точка.

При предпоставката, че изберем 6 пространствени отсечки, свързващи съответно една и съща наблюдавана точка (върха на изображения конус) с различни изходни точки (основата на конуса – фиг. 3) бихме могли да твърдим, че изчислените обемни деформации ще се отнесат именно към наблюдаваната точка (върха), а не към центъра на тежестта на образуваната фигура.



**Фиг. 3. Обемна деформация**

Поради факта, че определените неизвестни ще се отнасят към обхванатата територия, а тя за всяка изследвана точка е с едни и същи параметри, при наложеното предно условие може да твърдим, че изчислените деформации се отнасят за изследваните точки и те дефинират напълно промяната във формата на съоръжението. С други думи се прибегва към хипотезата, че основата около инженерното съоръжение е недеформируема, като по този начин изчислените обемни и площни деформации се отнасят само за самото съоръжение, т.е. поведението на самото съоръжение спрямо заобикалящата го среда.

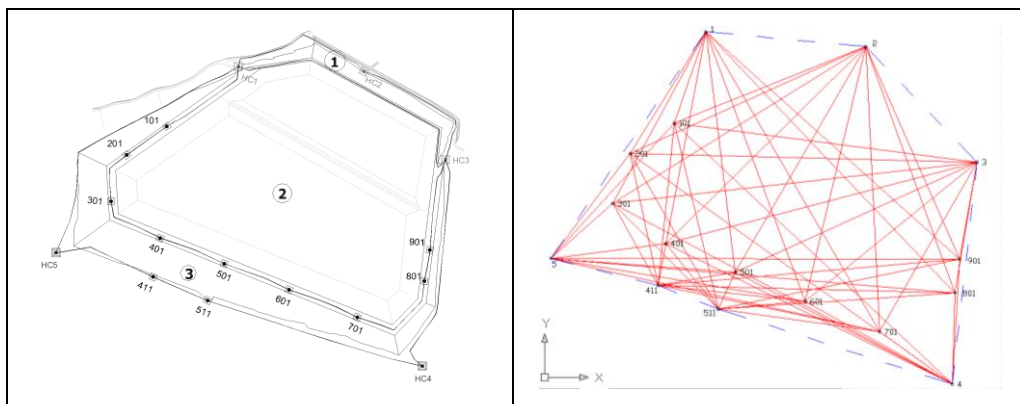
Деформациите се изчисляват във въведена локална координатна система съгласно определени правила [1]. Принципно деформациите са независими от въведената координатна система, но бихме могли да изчислим техните стойности във всяко желано направление. Обикновено най-желаните направления са хоризонталното и вертикалното спрямо осите на изследваното съоръжение. Най-подходящо би било въведената локална координатна система да спомага за бързото и лесно изчисление на преместванията на наблюдаваните точки, а в последствие и на площните му деформации.

Често в геодезическата практика при проектирането на мрежи за деформационни определения изходните точки надхвърлят 6, а при изследването им за устойчивост те рядко оборват хипотезата за стабилност. Това дава основание за компонентите на симетричния тензор на деформация да се получат след обработка по МНМК, което е гаранция за надеждност на получените резултати. Пространствените отсечки биха могли да бъдат вземани тежестно, в зависимост от точността на определените пространствени координати на точките в различните цикли на измерване. Разбира се, трябва да се вземе предвид и обстоятелството, че използвайки ГНСС измервания геометрията на деформационната мрежа е „свободна“ (точността на резултатите не зависят от геометрията на проектираната мрежа), което дава известна свобода на проектантите и подходящо би било изход-

ните точки да „обхващат“ наблюдаваните. По този начин ще се изследват деформации на съоръжението спрямо заобикалящата го среда.

#### 4. Числен пример за определяне на деформации на насипна язовирна стена

В конкретния числен пример ще бъдат изследвани деформациите на точките, разположени по билото на земно-насипна стена, характеризиращи се с най-големи пространствени премествания (точки с номера от 101 до 901). Като пространствено ориентирани отсечки могат да се вземат направлението от всяка изследвана точка към стабилизираните, проверени за устойчивост и именуваните от проектанта като „изходни“ – 1, 2, 3, 4, 5, 411 и 511. Така за определяне на елементите на деформация за всяка точка са използвани по 7 пространствено ориентирани отсечки (фиг. 4).



Фиг. 4. Деформационна мрежа

Част от резултатите са систематизирани в табл. 1.

Таблица 1. Изчисление на обемни деформации

Цикъл 6/23.07.2010														
№	$\varepsilon_{NN} \cdot 10^{-3}$	$m_\varepsilon$	$\varepsilon_{EE} \cdot 10^{-3}$	$m_\varepsilon$	$\varepsilon_{HH} \cdot 10^{-3}$	$m_\varepsilon$	$\gamma_{NE} \cdot 10^{-3}$	$m_{\gamma_{NE}}$	$\gamma_{EH} \cdot 10^{-3}$	$m_\gamma$	$\gamma_{NH} \cdot 10^{-3}$	$m_\gamma$	$\varepsilon$	$m_\varepsilon$
101	-0.03	0.02	0.01	0.00	-4.22	0.30	-0.02	0.01	0.16	0.18	0.90	0.47	<b>-4.25</b>	0.30
201	0.01	0.00	0.00	0.00	1.28	0.31	0.00	0.00	0.10	0.03	-0.17	0.06	<b>1.28</b>	0.31
301	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.78	0.16	-0.01	0.01	0.39	0.23	-0.05	0.28	<b>-0.75</b>	0.16
401	0.02	0.01	0.00	0.00	0.82	0.18	0.01	0.01	0.01	0.03	-0.35	0.09	<b>0.84</b>	0.18
501	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.51	0.06	-0.01	0.00	-0.16	0.02	0.23	0.03	<b>-0.52</b>	0.06
601	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.82	0.19	0.01	0.00	-0.38	0.04	0.14	0.04	<b>0.81</b>	0.19
701	-0.01	0.00	0.00	0.00	1.06	0.20	0.01	0.00	-0.22	0.02	-0.14	0.03	<b>1.05</b>	0.20
801	0.01	0.01	-0.06	0.02	-5.38	0.31	-0.02	0.02	1.16	0.45	-0.18	0.29	<b>-5.43</b>	0.31
901	0.03	0.02	0.00	0.07	2.71	0.10	0.04	0.05	0.00	0.00	-1.09	0.87	<b>2.74</b>	0.12

От резултатите са видни многократно надвишаващите линейни деформации по ос *H* в сравнение с тези по оси *N* и *E*, което най-вероятно се дължи на първоначалното слягане на всеки насип и на факта, че всички точки се намират в областта на кръговоцилиндричната хлъзгателна повърхнина, която е критерий за устойчивост на откосите при земни съоръжения. За съжаление информация относно кохезията и структурата на съоръжението в дълбочина не е налична и поради това ще бъде анализирано поведението на съоръжението само в хоризонтално отношение. За целта са изчислени площните деформации, както и екстремалните им стойности в равнината *NE*, съответно по формули (19) и (21). Резултатите са представени в табл. 2.

**Таблица 2. Изчисление на площни деформации**

Цикъл 6/23.07.2010											
№	$\varepsilon_{NN} \cdot 10^{-3}$	$m_\varepsilon$	$\varepsilon_{EE} \cdot 10^{-3}$	$m_\varepsilon$	$\gamma_{NE} \cdot 10^{-3}$	$m_{\gamma_{NE}}$	$\varepsilon_{\min} \cdot 10^{-3}$	$\varepsilon_{\max} \cdot 10^{-3}$	$\Theta$ , deg	<i>e</i>	$m_e$
101	-0.03	0.02	0.01	0.00	-0.02	0.01	-0.0014	0.0253	0.77	<b>-0.02</b>	0.002
201	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.0081	0.0024	359.22	<b>0.01</b>	0.000
301	0.02	0.01	0.01	0.00	-0.01	0.01	-0.0272	-0.0011	359.22	<b>0.03</b>	0.008
401	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	-0.0253	0.0036	0.77	<b>0.02</b>	0.006
501	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.0074	0.0146	0.78	<b>-0.01</b>	0.000
601	-0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	-0.0109	0.0219	359.23	<b>-0.01</b>	0.000
701	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	-0.0112	0.0175	359.22	<b>-0.01</b>	0.001
801	0.01	0.01	-0.06	0.02	-0.02	0.02	-0.0116	0.0633	359.23	<b>-0.05</b>	0.018
901	0.03	0.02	0.00	0.07	0.04	0.05	-0.0538	0.0257	0.78	<b>0.03</b>	0.007

## 5. Изводи и препоръки

Възможността за определяне едновременно на характерни точки от съоръжение в тримерното пространство чрез използване на ГНСС определения, способства за изчисляването на „деформации“ в пълния смисъл на това понятие. Получените стойности за обемни деформации и анализ на получените резултати в желано направление или равнина спомагат за коректен анализ и съставяне на математически модел за поведение на съоръжението. Към момента точките се изчисляват единствено като премествания спрямо главните му оси, но не винаги максималните деформации се появяват в тези направления. Методът на проектиране на деформационни мрежи, измерването им, както и изчислението на деформации ще онагледят много по-представително случващото се при сложни съоръжения (с повече от две оси). Разбира се анализът би бил реалистичен, ако при сложните взаимодействия от състава на съоръжението, контакта му с физическата земна повърхност и външни фактори се използва детайлна информация за стойностите на модулите на еластичност и коефициента на Поасон, за да се изчислят коректно породените напрежения по повърхността на съоръжението и в неговата дълбочина.

При липса на конкретни данни бихме могли да съдим за поведението на съоръжението единствено по геодезически измервания за промяна на пространственото положение на характерни точки от него. Като следваща стъпка би могло да се търси зависимост между тези премествания и външни фактори – натовареност на съоръжението, ниво на подпочвените води и др.

При всяко съоръжение преместването на точките е спрямо дефинирана координатна система, реализирана от изходните (устойчиви) точки. Следователно се прибегва към хипотезата, че основата около инженерното съоръжение е недеформируема, като по този начин изчислените обемни и площни деформации се отнасят само и единствено за самото съоръжение, т.е. поведението на самото съоръжение спрямо заобикалящата го среда.

В конкретния пример ясно личат надвишаващите многократно деформации във вертикално отношение тези в планово, което е нормално за земно-насипни съоръжения в първоначалния експлоатационен период. Относно деформациите в планово отношение може да се заключи, че очаквано се проявяват в най-високата част от съоръжението, а получените стойности са реални, като се има предвид точността, с която са получени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Александров, Б., Цановски, Ю.* Използване на GPS технология за деформационни определения. Международна юбилейна научно-приложна конференция, УАСГ, С., 15 – 17.11.2012.
2. *Върбанов, Х. П.* Теория на еластичността. Четвърто преработено издание. Техника, С., 1976.
3. *Господинов, Сл.* Определяне на блоково обусловени равнинни деформации на земната кора посредством измерени пространствени хорди. ВГС, 2011.
4. *Димитров, Д.* Инженерна геодезия. С., Техника, 1989.
5. *Милков, В.* Съпротивление на материалите. ТУ, Варна, 2008.
6. *МРРБ.* Инструкция № РД-02-20-25 от 20.09. 2011 г. За определяне на геодезически точки с помощта на глобални навигационни спътникови системи, 11.10.2011.
7. *Цановски, Ю.* Приложение на ГНСС за изследване премествания на точки при насипни язовирни стени. Автореферат, С., 2014.

## THE CONCEPT OF DEFORMATION IN ENGINEERING STRUCTURES (DAMS)

Y. Tsanovski<sup>1</sup>

*Keywords: deformations, movements, GNSS*

### ABSTRACT

The paper examines the study of deformation in engineering structures (dams) in terms of certain displacements of characteristic points stabilized in the structure, calculated from GNSS measurements. It offers a new interpretation of the concept “deformation” of an engineering structure, taking into consideration that it is directly related to the change of shape and dimensions of a deformable body regardless of the coordinate system in which the displacements of its constituent points are explored [2].

---

<sup>1</sup> Yuri Tsanovski, Chief Assist. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geodesy”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: tzanovski\_fgs@uacg.bg