

ОПРЕДЕЛЯНЕ НАКЛОНЯВАНЕТО НА СГРАДИ И СЪОРЪЖЕНИЯ

Румен А. Иванов, Петър П. Брънзалов
rang75@hotmail.com, ppb@vtu.bg

ВТУ “Тодор Каблешков”, 1574 София, ул. “Гео Милев” 158
БЪЛГАРИЯ

Ключови думи: геодезия, деформации на конструкции, наклоняване на сграда и на стълб

Резюме: В представената работа са разгледани методите за изследване на деформации на конструкции, като специално внимание е отделено на определянето на наклоняването на сгради и съоръжения с геодезически и геотехнически методи. Експериментално е измерено наклоняването на сграда и стоманобетонен стълб с използване на мощен лазерен отвес. Определени са линейното и ъгловото наклоняване на сградата и на стълба. Определено е превишението на наклоняването според съществуващите нормативни изисквания. Анализирани са предимствата на лазерния отвес спрямо другите методи за определяне на наклоняването на сгради и съоръжения като, по-лесна техническа методика на измерванията, ясна видимост на лазерната линия и други.

1. МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЕФОРМАЦИИ

Под деформация на материален обект или конструкция се разбира преместването на отделни негови части една спрямо друга, без да са нарушени връзките между тях (пространствена деформация). Движението на целия обект или конструкция спрямо неподвижна точка се нарича пространствено преместване, което може да бъде линейно преместване и/или ротационно преместване. Причините за деформациите и преместванията са силите и моментите на силите действащи върху материалния обект или конструкция.

Инженерните съоръжения и сградите, както и теренът около тях, са подложени на деформации от различни фактори и се развиват във времето. Деформационните процеси се различават съществено по отношение на механизъм, вид, обхват, времетраене, динамика на протичане, последствия за сградите и съоръженията. Само чрез прецизни измервателни методи и инструменти може да се определи точно изменението в положението на точки от изследвания обект, а от тук отделните качествени и количествени характеристики свързани с факторите и протичащите деформационни процеси [1,2]. Това обуславя необходимостта измерванията да се извършват със значително висока точност (милиметри или части от тях), което позволява точно да се определят настъпилите премествания или деформации. Основните методи използвани за изследване на деформации са следните:

1.1. Геодезически методи за определяне на деформациите и преместванията. Геодезическите методи позволяват да се определят отделно хоризонталните и вертикалните, а също и пространствените премествания и деформации. Аналогично и

при изследване на деформациите се различават и използват съответни методи за определяне на хоризонтални и вертикални премествания. Наред с това се използват и пространствени (тридименсионални) и комбинирани методи за определяне на пространствени премествания. Хоризонталните премествания се определят чрез: триангулация, трилатерация, ъглово-дължинни мрежи, полигонометричен метод, створен метод и др. За определянето на вертикалните деформации се използва геометрична, тригонометрична, хидростатична нивелация, микронивелиране, в зависимост от изискваната точност и конструктивните особености и възможността за достъп на обектите на изследване. Пространствените премествания се определят чрез: тридименсионални традиционни методи, 3D мрежи, GPS, фотограметрия, лазерни скенери [3]. Към геодезическите инструменти за определяне на деформации спадат нивелири, тотални станции, GPS приемници и др. Обикновено данните от измерванията се обединяват в единна контролно-измервателна система, в която непрекъснато се извършва анализ и интерпретация на постъпилата информация.

1.2. Геотехнически методи за определяне на деформациите и преместванията. Геотехническите методи също позволяват да се определят отделно хоризонталните и вертикалните, а също и пространствените премествания и деформации. Геотехническите инструменти включват екстензометри, инклинометри (клинометри), пиезометри, акселерометри и др. [4].

1.3. Геодезически и геотехнически мониторинг на деформациите и преместванията. Споменатите геодезически и геотехнически инструменти се използват в различни комбинации помежду си - например движенията на Земята повърхност се определят с геодезически измервания, а дълбочинните относителни движения с геотехнически. Друг пример е областта на геотехниката, където при статично изпитване на пилоти за регистриране на деформации се използват прецизни нивелири или часовникови индикатори. Последните се използват и за проследяване на изкълчването на колони на сгради.

Геодезическият и геотехническият мониторинг е система за наблюдение, анализ и контрол на устойчивото състояние на Земята кора, терени, сгради и съоръжения. Мониторингът се извършва преди строителството, в периода на строителството, когато е предвидено в проекта и в периода на експлоатацията, когато съществува опасност за сигурността на съоръжението и сградите. Редът на работа е в следната последователност: организиране на измерванията, извършване на измерванията, обработка на резултатите, анализ и интерпретация на резултатите.

Прилагането на мониторинг е свързано с организирането на специални системи за измерване, обработка и интерпретация на резултатите. Най-често се изгражда опорна геодезическа мрежа от контролни, изходни и наблюдавани точки.

2. МЕТОДИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НАКЛОНЯВАНЕТО НА СГРАДИ

Деформациите и преместванията при сградите са наклоняване вследствие неравномерни слягания, огъване, усукване, напукване на сградата, измествания на фундаментите и др. В други случаи наклоняването се измерва с оглед проверка на правилното изграждане на съоръжението, както и за установяване на състоянието му след земетресения, свлачища и др. Определянето на наклоняването става по следните начини [1,5,6]:

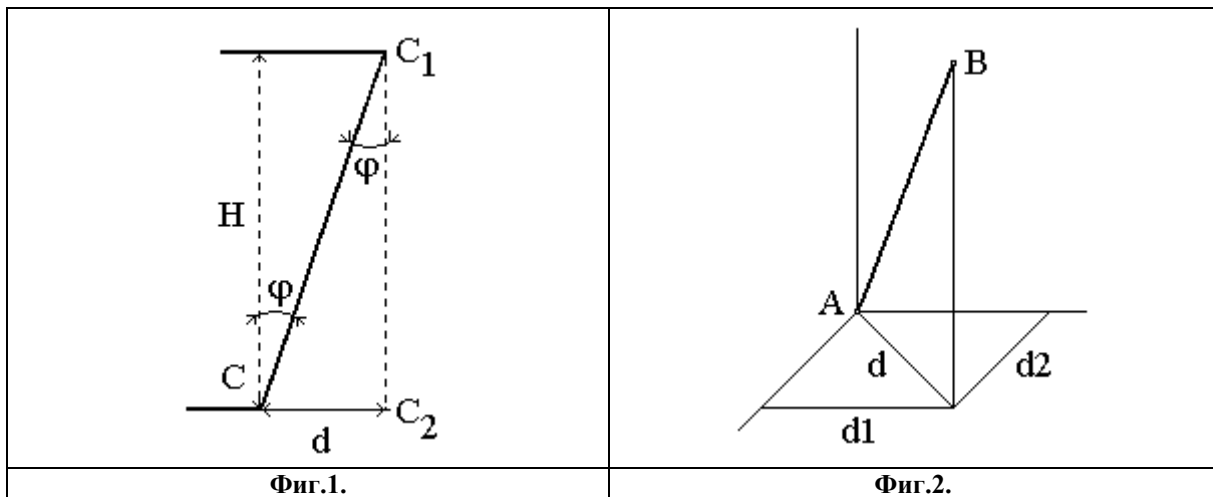
2.1. Чрез механични, оптически и лазерни отвеси. Използването на прави и обратни механични отвеси за определяне на хоризонтални премествания е най-разпространено в хидротехническото строителство. Изместването на наблюдаваните точки се отчита в две посоки (оси) по така наричаните координатомери, които представляват награфени взаимноперпендикулярни линеали. От настъпилите премествания може да се изчисли и

наклоняването. При правите отвеси се изследва преместването на съоръжението спрямо точка в основата на изследваният обект. За целта се използва жица, закрепена в горния си край, а в долният се използва поплавък поставен в съд. При обратният отвес жицата е закрепена в долния си край, а поплавъкът е в горният. При оптически и лазерни отвеси се използват същите принципи, както и при механичните.

Различаваме два вида наклоняване - ъглово φ и линейно d . Ъгловото наклоняване φ е ъгълът между проектното вертикално положение и действителното (моментното) положение на сградата или съоръжението (Фиг.1). Ъгловото наклоняване се изчислява по формулите:

$$(1) \quad \operatorname{tg}(\varphi) = \frac{d}{H}, \text{ откъдето } \varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{d}{H}\right),$$

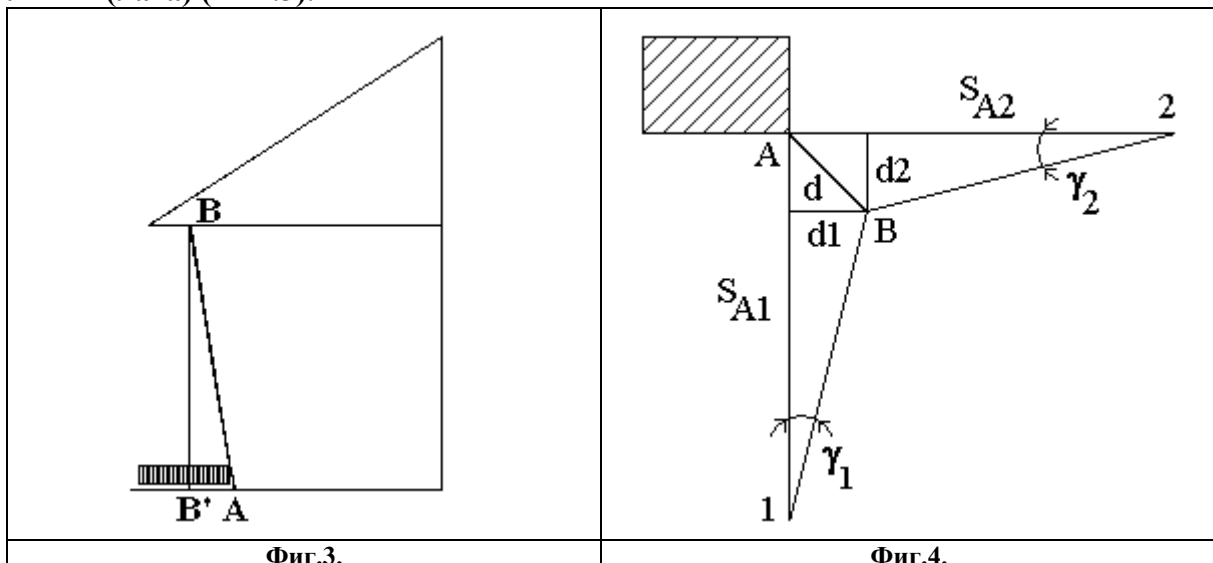
където стойността на линейното наклоняване d може да бъде измерена директно след проектиране на върха C_1 в точка C_2 , а H е височината на изследвания обект. Когато не е известна височината H , то тя се измерва с лазерна ролетка, тотална станция и др.



Обикновено се правят измервания в две взаимноперпендикулярни направления d_1 и d_2 (Фиг.2). Общото линейно наклоняване d се изчислява по формулата:

$$(2) \quad d^2 = (d_1)^2 + (d_2)^2.$$

2.2. Чрез проектиране на точка от съоръжението (сградата) върху награфена линия (лата) (Фиг.3).



2.3. Чрез измерване ъглите между основата и върха на съоръжението (сградата) (Фиг.4).

$$(3) \quad d1 \approx S_{A1} \cdot \frac{\gamma_1}{\rho}, \quad d2 \approx S_{A2} \cdot \frac{\gamma_2}{\rho},$$

където $\rho=63,6620^{\circ}=1 \text{ rad}$.

2.4. Чрез координатен метод. От точки 1 и 2 се определят координатите на наблюдаваните точки (Фиг.4). От координатните разлики ΔX_{AB} и ΔY_{AB} намираме така наречения румб r_{AB} .

$$(4) \quad \Delta X_{AB} = X_B - X_A, \quad \Delta Y_{AB} = Y_B - Y_A,$$

$$(5) \quad r_{AB} = \text{arctg} \frac{|\Delta Y_{AB}|}{|\Delta X_{AB}|}, \quad d = \sqrt{\Delta X_{AB}^2 + \Delta Y_{AB}^2}.$$

В зависимост от квадранта намираме вярната стойност за посоченият ъгъл α_{AB} .

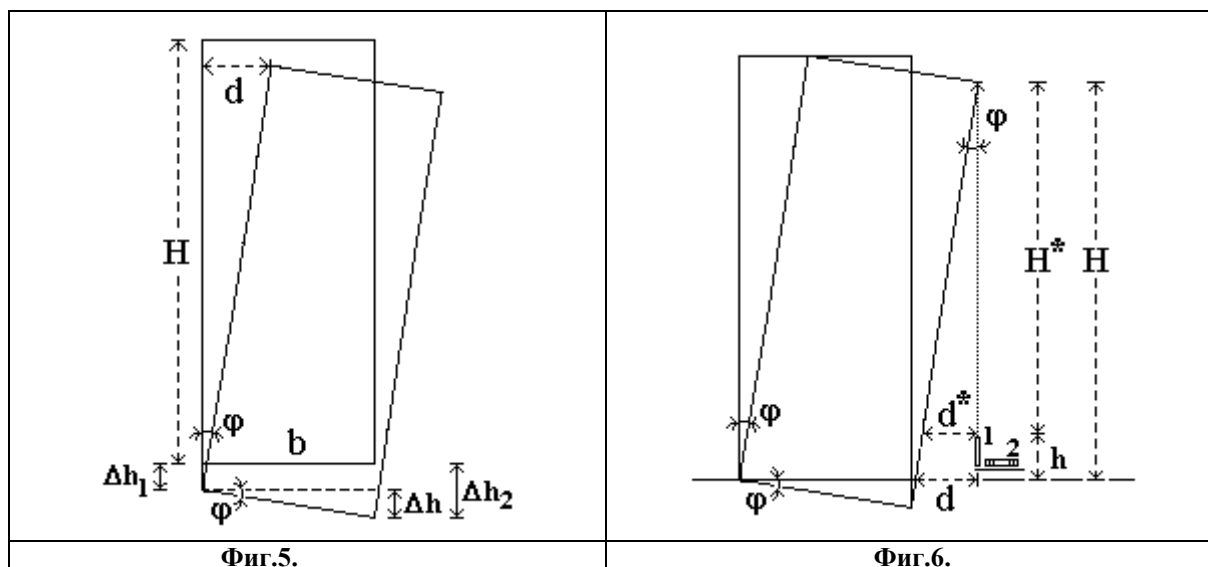
2.5. Чрез инклинометри. Самостоятелно или в комбинация с други инструменти инклинометрите се използват широко при изследване на деформации. Пример с използване на инклинометри е Бурж Халифа, където за контролиране на най-високата сграда в света се използват измервания направени с GPS, тотални станции и инклинометри [7]. Успешни примери от практиката за прилагане на инклинометри могат да бъдат посочени при изследване наклоняването на опори на мостове.

2.6. Чрез геометрична нивелация. Геометричната нивелация се използва за измерване на сляганята на сградите и съоръженията. Неравномерното сляганя Δh на два нивелачни репера 1 и 2 от основата на обекта (Фиг. 5) се определя като разлика между сляганята Δh на отделните реperi по формулата:

$$(6) \quad \Delta h = \Delta h_1 - \Delta h_2.$$

Ъгловото наклоняване φ и стойността на линейното наклоняване d в този случай се изчисляват по следните формули:

$$(7) \quad \text{tg}(\varphi) = \frac{\Delta h}{b}, \quad d = \text{tg}(\varphi) \cdot H.$$



3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ.

3.1. Експериментално изследване на наклоняването на жилищен блок (София, ж.к. Толстой, бл.43, м. Ноември 2015). Това експериментално изследване имаше за цел да определи ъгловото и линейното наклоняване на жилищен блок в гр.София,

ж.к.Толстой, бл.43 (Фиг.6). Използван е лазерен отвес състоящ се от мощен компактен лазер с дължина на вълната $\lambda=532$ nm (мощност на изходното излъчване $P=20$ mW) (1) и течна либела с точност 0,01 mm/m за едно деление (дължина на делението 2 mm) (2). Височината на жилищния блок е измерена с помощта на лазерна рулетка и има стойност $H=48,36$ m. Височината, на която са разположени уредите е $h=1,10$ m. Така, базата, върху която се определя ъгъла на наклоняване се определя като $H^*=48,36-1,10=47,26$ m. В таблица 1 са показани получените резултати от измерванията.

таблица 1

	посока на наклона	Ъглово наклоняване φ [rad]	линейно наклоняване d [m]	превишение на ъгловото и линейното наклоняване над допустимото n [пъти]
1	изток – запад	$\varphi_{\text{из}}=\text{arctg}(d_{\text{из}}^*/H^*)=\text{arctg}(0,400/47,26)=0,008464$ rad = 0,485°	$d_{\text{из}}=\varphi_{\text{из}}.H=0,008464.48,36=0,409$ m	$n_{\text{из}}=17,04$ пъти
2	север – юг	$\varphi_{\text{слю}}=\text{arctg}(d_{\text{слю}}^*/H^*)=\text{arctg}(0,265/47,26)=0,005607$ rad = 0,321°	$d_{\text{слю}}=\varphi_{\text{слю}}.H=0,005607.48,36=0,271$ m	$n_{\text{слю}}=11,29$ пъти
3	общо	$\varphi=0,01015$ rad = 0,582°	$d=0,491$ m	$n=20,46$ пъти

Допустимото максимално ъглово наклоняване за фундамент се определя като 1/2000 [8] (Eurocode 7) и в конкретния случай можем да получим за допустимото максимално линейно отклонение следните стойности:

$$(8) \quad d_{\text{MAX}} = (1/2000).H = 0,024 \text{ m} = 2,4 \text{ cm},$$

$$(9) \quad \varphi_{\text{MAX}} = d_{\text{MAX}}/H = 0,024/48,36 = 0,000496 \text{ rad} = 0,496 \text{ mrad} = 0,0284^\circ.$$

Така линейното наклоняване на сградата в посока изток-запад надхвърля допустимите норми $0,409/0,024=17,04$ пъти, а в посока юг-север $0,271/0,024=11,29$ пъти. За 48-метрово здание това е недопустимо. От измерените данни в горните две направления може да се определи общото линейно и ъглово наклоняване според зависимостите (виж 2.1):

$$(10) \quad d = \sqrt{d_{\text{из}}^2 + d_{\text{слю}}^2} = \sqrt{0,409^2 + 0,271^2} = 0,491 \text{ m},$$

$$(11) \quad \varphi = \text{arctg}(d/H) = \text{arctg}(0,491/48,36) = 0,01015 \text{ rad} = 0,582^\circ.$$

3.2. Експериментално изследване на наклоняването на стоманобетонен стълб на железопътна контактна мрежа (София, жп спирка Смирненски, м. Юни 2016).

Това експериментално изследване има за цел да определи наклона на стоманобетонен стълб от контактната мрежа. Според съществуващите нормативни изисквания допустимото наклоняване на стълб от контактната мрежа може да е до 1,0 % в посока противоположна на натоварването и до 0,5 % по посока на пътя [9]. Стандартната дължина на такъв стълб е 9,00 m. Така, получаваме, че максималното ъглово наклоняване е 0,010 rad (1,0 %) или 0,005 rad (0,5 %). За максималното линейно наклоняване ще имаме 0,09 m (1,0 %) или 0,045 m (0,5 %). Наклона на избрания стълб не е в посока на пътя и следователно е допустим наклон от 1 %. Проведените измервания определиха следните стойности на наклоняването:

- ъглово наклоняване на стълба: 0,0283 rad = 1,62°

- линейно наклоняване на стълба: 0,255 m

Тези стойности съответстват на 2,83 пъти превишаване на наклоняването над максимално допустимото.

3.3. Предимства на лазерния отвес спрямо другите методи за определянето на наклоняването на сгради и конструкции. Измерването на линейното и ъгловото наклоняване на сгради и конструкции с лазерен отвес има следните особености и

предимства спрямо другите използвани методи: (i) лазерния отвес не се влияе от наличието на въздушни потоци и ветрове в зоната на измерванията, което е съществено предимство; (ii) измерването се извършва пряко с едно измерване, което намалява вероятността от допускане на грешки; (iii) рязко се намалява общото количество работа извършвана при измерванията; (iv) не се изискват сложни изчисления свързани с измерванията.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

При съвременното интензивно строителство на все по-големи и сложни строителни и конструктивни съоръжения, като стандарт все повече се налагат методите и системите за точен и/или непрекъснат мониторинг на състоянието на тези съоръжения. Такъв подход е изключително важен, както от гледна точка на събирането на надеждна реална информация от архитектурна, геодезическа, строително-инженерна и др. информация с цел развитие на тези области на професионална дейност, така и за подобряване на експлоатационната сигурност на тези съоръжения. В този смисъл развитието на методите и апаратурата за мониторинг на параметрите на съоръженията, включително определяне наклоняването им, е изключително актуална задача. Използваният за проведените в тази работа измервания лазерен отвес, съвместно с лазерна рулетка, позволява бързи, удобни и точни измервания на наклоняването на сгради и съоръжения.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Милев Г., Димитров Д., Тонков Т., Лазаров Г.. “Инструкция за изследване на деформации на сгради и съоръжения чрез геодезически методи”, ГУГКК, София, 1980.
- [2] Милев Г., Симеонова Р., „Преглед и анализ на геодезическите и полугеодезическите методи”, В " Инструментални методи за изследване на опасни геодинамични процеси ", Отг. ред. Г. Милев, Х. Пелцер, Бълг. Акад. на науките, Лаб. по Геотехника, София, 1992.
- [3] Янков И., „Геодезически методи за изследване деформации на инженерни съоръжения”, Дисертация, УАСГ, София, 2009.
- [4] Dunicliff J., „Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance”, Wiley, 1993.
- [5] Димитров Д., “Инженерна геодезия”, София, Техника, 1989.
- [6] Шеховцов Г., Шеховцова Р., „Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений”, Монография, Н. Новгород, ННГАСУ, 2009.
- [7] Abdelrazaq A., “Validating the Dynamics of the Burj Khalifa”, CTBUH Journal, Issue II, 2011.
- [8] Orr T. (Eds.), “Proceedings of the International workshop on the evaluation of the Eurocode 7”, Trinity College, Dublin, 2005, <http://www.eurocodes.fi/1997/1997-1/background/Evaluation%20of%20Eurocode%207.pdf>
- [9] ТС-ЖИ 007-2006, <http://www.rail-infra.bg/assets/Documents/TS/TS-RI-007-2006.pdf>

DETERMINATION OF THE TILT OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

Roumen A. Ivanov, Peter P. Branzalov

rang75@hotmail.com, ppb@vtu.bg

*Todor Kableschkov University of Transport
1574 Sofia, 158 Geo Milev str.,
BULGARIA*

***Key words:** geodesy, deformation of structures, leaning buildings and pillar, building tilt*

***Abstract:** In the present work are discussed methods for studying of deformation of structures, with special attention to determining the tilt of buildings and constructions with geodetic and geotechnical methods. There has been experimentally measured inclination of the building and reinforced concrete pillar using a powerful laser plumb and has been determined linear and angular tilt of the building and pillar. The excess of the inclination according to existing standards has been determined. The advantages of laser plumb over other methods for determining the inclination of buildings and constructions are analyzed due to easier technical method of measurement, clear visibility of the laser line and others.*