

DOI: 10.32347/2076-815x.2026.91.600-611

УДК 528.48

к.т.н., доцент **Ісаєв О.П.**,

geo\_i@ukr.net, ORCID: 0000-0002-2175-0324,

к.т.н., доцент **Кузьмич О.Й.**,

kuzok@ukr.net, ORCID: 0000-0003-1762-6344,

**Бондар С.А.**,

bondar.sa@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-9378-6588,

**Чуланов П.О.**,

chulanov.po@knuba.edu.ua, ORCID: 0000-0002-6735-3770,

Київський національний університет будівництва і архітектури

## ЗАСТОСУВАННЯ ІНКЛІНОМЕТРІВ ДЛЯ УСТАНОВКИ КОЛОН

*Розглянуто встановлення у вертикальне положення колони у вигляді прямолінійного стержня, навантаженого осьовим зусиллям. Ймовірний нахил колони як залишкова величина після вивірвання та монтажу або як набута величина під дією навантаження, температури чи зміщень ґрунту. За великого навантаження нахилений несучий стержень може дуже швидко перейти в нестійкий стан і зазнати значних деформацій. Розглянуто можливість застосування MEMS-інклінометрів під час встановлення колон у вертикальне положення так, щоб це відповідало вимогам нормативних документів. На підставі гранично допустимих відхилень отримано середньоквадратичні похибки власне вимірювання залежно від висоти колони та статистичного коефіцієнта. Наведено приклади деяких моделей MEMS-інклінометрів, їхні характеристики та зроблено висновки щодо їх застосування.*

*Ключові слова: колона; вертикальне положення; допустимі відхилення, MEMS-інклінометри.*

**Актуальність теми.** Тема використання інклінометрів (датчиків нахилу) для забезпечення точної установки складних будівельних конструкцій у вертикальне положення є надзвичайно актуальною в будівництві великих сучасних будівель та споруд за умови забезпечення з заданою точністю проектної геометрії таких конструкцій. Вона відображає зростаючу потребу в прецизійних технологіях, які гарантують безпеку, довговічність та ефективність будівельних процесів. Ключові аспекти актуальності цієї теми полягають у тому, що будівельні конструкції, такі як колони, стіни, фундаменти повинні бути встановлені вертикально у відповідності до проектної та нормативної документації. Інклінометри надають можливість вимірювати кути нахилу з високою точністю ( $\pm 0,005^\circ$  і краще) в двох площинах, що дозволяє

використовувати їх в процесі геодезичного забезпечення монтажу. З розвитком BIM (Building Information Modeling) технологій інклінометри інтегруються в системи моніторингу, що дозволяє автоматизувати контроль за елементами будівельних конструкцій [13, 14]. Інклінометри стають незамінним інструментом в поєднанні традиційних методів інженерної геодезії з цифровими технологіями.

**Постановка задачі.** Ця стаття подається в розвиток статей [1, 2, 6], присвячених моніторингу будівельних стрижневих конструкцій, у складі яких є так звані «відносно тонкі гнучкі стрижні». Внаслідок похибок вивірки та монтажу несучий стрижень в конструкції отримує певний початковий нахил, а внаслідок похибок виготовлення та температурного впливу отримує ще певний початковий згин при навантаженні. Нахил стрижня при збільшенні навантаження та подальшому зростанні напружень впливає на стійкість стрижня. Це було показано в згаданих статтях. Існує багато способів і приладів для вимірювання зсувів, кренів та деформацій. Завдання цієї статті - проаналізувати застосування датчиків нахилу для цих цілей.

**Основний матеріал.** У контексті даної роботи розглядається стрижнева конструкція, елементи якої представлені у вигляді прямолінійних стрижнів. Наприклад, металеві колони на розрахункових схемах представляють як стрижні. Тому в тексті використовуються різні формулювання елементів як рівнозначні.

У роботах [1, 2] описано будівельну конструкцію у вигляді двох вертикальних прямолінійних стрижнів відносно тонких і гнучких. Як сказано, це можуть бути, наприклад, металеві колони. У конструкції стрижні розташовані на одній вертикальній лінії та з'єднані у вузлі (на розрахунковій схемі їх осі збігаються з вертикальною лінією). Верхній стрижень є навантажувальним елементом для нижнього стрижня, який є несучим елементом. Як показано в попередніх роботах, на розрахунковій схемі верхній навантажувальний стрижень представлений вектором сили. Теоретично в такій конструкції нижній стрижень може опинитися в так званому нестійкому стані при дуже великому навантаженні на нього. Перехід до цього стану може погіршитися за рахунок похибок положення несучого та навантажувального стрижня, а також температурного впливу та факторів геологічного характеру. Тобто стан нестійкої рівноваги може настати значно раніше розрахункового та з більш швидким перебігом процесу руйнування в часі. Звідси висновок: необхідний постійний і надійний контроль за нахилом та деформаціями згину несучого стрижня.

Для відповідальних споруд [3-5] організовують комплексний моніторинг, який проводиться на передпроектному етапі, у період будівництва та в період

експлуатації. У період будівництва виконується установка елементів конструкцій у проектне положення відносно осей та контроль їх вертикальності. На початку монтажних робіт навантаження на елемент з боку інших елементів конструкції невеликі, вони збільшуються по мірі зведення споруди та отримують найбільші значення до кінця будівництва і далі в період експлуатації. Тому на стадії монтажу важливо мати уявлення про похибки взаємного положення взаємозв'язаних елементів у конструкції, оскільки це дає розуміння про зміну векторів сил та про зміну напружено-деформованого стану несучого елемента. Однак у даній роботі нас цікавить залишковий нахил несучого елемента, тобто нахил після вивірки та остаточного закріплення, оскільки надалі від цього залежать деформації згину [6].

Встановлення відносно довгих, тонких і відносно гнучких стрижнів-колон є складним інженерним завданням, що вимагає їх строго вертикального положення. Похибки встановлення у вертикальне положення навіть у кілька десятих часток кутової хвилини можуть призвести до значних зміщень вершини колони, що негативно впливає на її експлуатаційні характеристики.

Геодезичний контроль вертикальності колони може бути забезпечений різними способами та приладами [7]. Наприклад, за допомогою теодоліта чи тахеометра, приладу вертикального проектування в оптичному або лазерному виконанні, лазерної рулетки тощо. Встановивши попередньо низ колони, вивіряють її вертикальність, тобто приводять у проектне положення верх колони. Застосовуючи, наприклад, теодоліт, використовують спосіб колімаційної вертикальної площини, в якій має знаходитися вісь елемента, або спосіб бокового нівелювання. При геодезичному контролі однієї окремої колони теодоліт потрібно встановлювати двічі за двома взаємно перпендикулярними розбивочними осями або використовувати два теодоліти. Для контролю встановлення колон у декількох рядах і при виконавчій зйомці необхідно додатково розбивати створи, паралельні розбивочним осям. До того ж, у способі бокового нівелювання рейку потрібно приставляти до бічної грані колони у верхній та нижній частині, що утруднено для верхньої частини. Використання ПВП також непростя процедура, що вимагає встановлення приладу, палетки та кваліфікаційних навичок виконання роботи. Процес, таким чином, трудомісткий, вимагає багато часу, ретельної підготовки приладів, дотримання відповідних методик, додаткових геометричних побудов та вимірювань. При цьому накопичується значна кількість похибок, що впливають на положення колони відносно проектних значень. У той же час потрібно гарантовано забезпечити нормативну точність встановлення при достатньо швидкому монтажі.

У технологічному процесі встановлення колон, окрім геодезичного методу, можна використовувати інженерно-технічні засоби. У будівництві та моніторингу застосовують механічні та цифрові нахиломіри. Механічні нахиломіри засновані на механічному переміщенні маятника, бульбашки рідини або іншого чутливого елемента. Цифрові нахиломіри використовують у своїй конструкції різні сенсори, наприклад, ємнісні, індуктивні, оптичні, п'єзоелектричні та інші. Вони можуть відрізнятися за способом встановлення та застосування (стаціонарні, портативні, вбудовувані), за діапазоном вимірювання кута, роздільною здатністю та точністю (точні, високоточні).

Для вивірки вертикального положення та подальшого контролю вертикальності можна застосувати інклінометри. Принцип роботи інклінометра заснований на визначенні кута нахилу відносно напрямку сили тяжіння (прямовисної лінії), тому такі пристрої можуть бути використані при вивірці, виконавчій зйомці та під час експлуатації споруди. На базі сучасних технологій створені різні типи інклінометрів, різної конструкції, з різною точністю вимірювань та вартістю, що дозволяє підібрати оптимальне рішення під конкретні вимоги.

Основний компонент інклінометра — це сенсорна частина, тобто сам датчик нахилу. В основі більшості сучасних інклінометрів лежать MEMS-акселерометри. MEMS-акселерометр — це мікроелектромеханічний сенсор, що вимірює прискорення руху елемента конструкції, на якому він закріплений. MEMS-акселерометр містить мікроскопічні рухомі маси, що зміщуються під час нахилу під дією прискорення. При нахилі пристрою акселерометр фіксує вектор прискорення відносно вертикального вектора гравітації. Тобто при відхиленні пристрою від вертикалі компоненти вектора прискорення сили тяжіння змінюються по осях акселерометра. Ці зміни перетворюються на електричні сигнали. Вимірюючи компоненти цього вектора по осях датчика, можна визначити кути відхилення приладу від вертикалі. Якщо датчик орієнтований у просторі, то за співвідношенням проекцій вектора прискорення на осі координат отримують кути нахилу.

Аналоговий сигнал з акселерометра надходить на мікроконтролер або спеціалізований процесор, де обробляється. Тут відбувається фільтрація, компенсація шумів та обчислення кутів нахилу. Інклінометр має цифровий дисплей, на який виводяться результати вимірювань, або цифровий інтерфейс для передачі даних на зовнішні пристрої моніторингу.

Конструктивно інклінометр може бути одно-, дво- або тривісним, що дозволяє вимірювати нахил в одній, двох або трьох площинах. Зазвичай вимірюються кути у двох вертикальних площинах, перпендикулярних горизонтальній площині: нахил по осі  $x$  і по осі  $y$  (двовісний інклінометр).

Залежно від завдань і точності конструкція може бути більш складною, включаючи додаткові сенсори, калібрування та захист. Щоб підібрати потрібний тип і модель нахиломіра, узгодити параметри, характеристики та ціну приладу, потрібно знати нормативні вимоги до встановлення колон.

В проектній документації визначаються допустимі відхилення при встановленні монтажних елементів. У разі відсутності в проектній документації спеціальних вимог, величини граничних відхилень елементів при монтажі обираються з нормативних документів. Так, наприклад, в ДСТУ Б В.2.6-200:2014 «Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу» [8]. надані граничні відхилення фактичного положення змонтованих металевих конструкцій, в тому числі відхилення осей колон від вертикалі у верхньому перетині. Цей ДСТУ є діючим, прийнятим у 2015 році. На основі цього документу представлені варіанти гранично допустимих відхилень.

В таблиці 1 для різної висоти колони  $S$  показані граничні відхилення  $\delta$  верху колони від вертикалі, відповідні гранично допустимі кути відхилення  $\gamma$  осей колони від вертикалі та відносні граничні відхилення (тобто відношення  $\delta$  до висоти колони).

Таблиця 1

### Граничні відхилення. Нормативні вимоги

Висота колони $S$ , мм	Граничні відхилення верху $\delta$ , мм	Граничний кут відхилення $\gamma$ , °	Відносне граничне відхилення $\delta:S$
4000 до 8000	10	0,143 – 0,072	1:400 ÷ 1:800
8000 до 16000	12	0,086 – 0,043	1:667 ÷ 1:1333
16000 до 25000	15	0,054 – 0,034	1:1067 ÷ 1:1667
25000 до 40000	20	0,046 – 0,029	1:1250 ÷ 1:2000

Граничне відхилення – це заданий нормативний показник. Для практичних вимірювань треба здійснити перехід до середніх квадратичних відхилень. В цілому середнє квадратичне відхилення в нашому випадку складається з похибок виготовлення колони з опорними пристроями для приладу, похибок геодезичних робіт, похибок монтажних робіт.

В теорії інтервальної оцінки точності істинне або дійсне значення визначуваного параметра знаходиться в межах довірчого інтервалу, який накриває істинне значення з довірчою ймовірністю (або надійністю)  $p$ .

$$z = z_{\text{вим}} \pm \delta,$$

де  $\delta = t_p \times \sigma$  – гранично допустиме відхилення;  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення;  $t_p$  – коефіцієнт, що визначається за довірчою ймовірністю (та числом ступенів свободи  $n-1$  при невідомому  $\sigma$ ).

Ця «надійність» пов'язана з забезпеченням необхідної надійності самого об'єкта, тому ймовірність задається дуже близькою до одиниці. Тоді при  $p = 0,9973$   $t_p = 3$  ( $n > 30$ ), при  $p = 0,9876$   $t_p = 2,5$ , при  $p = 0,9545$   $t_p = 2$  і тому подібне. Коефіцієнт  $t_p$  визначають з таблиць інтеграла ймовірностей. Ці ймовірності та відповідні коефіцієнти є найбільш прийнятними в інженерно-геодезичному та будівельному виробництві для коректного переходу від допустимих відхилень до середньоквадратичних. Обчислимо середні квадратичні відхилення (СКВ) від вертикалі у градусній мірі для зазначених коефіцієнтів.

$$\sigma = \gamma : t_p .$$

Результати наведені у таблиці 2. Постає питання: чи можна при заданій нормативній точності встановлення колон відносно вертикалі використовувати інклінометри? Яку точність у реальних умовах будівельного майданчика вони можуть забезпечити?

Таблиця 2

### Середні квадратичні відхилення

Висота колони, мм	Граничний кут відхилення $\gamma, ^\circ$	Середнє квадратичне відхилення $\sigma (t_p = 3), ^\circ$	Середнє квадратичне відхилення $\sigma (t_p = 2,5), ^\circ$	Середнє квадратичне відхилення $\sigma (t_p = 2), ^\circ$
4000 до < 8000	0,143 – 0,072	0,048 – 0,024	0,057 – 0,029	0,072 – 0,036
8000 до 16000	0,086 – 0,043	0,029 – 0,014	0,034 – 0,017	0,043 – 0,022
16000 до 25000	0,054 – 0,034	0,018 – 0,011	0,022 – 0,014	0,027 – 0,017
25000 до 40000	0,046 – 0,029	0,015 – 0,010	0,018 – 0,012	0,023 – 0,015

Середні квадратичні відхилення (СКВ) осі колони від вертикалі можна розкласти на кілька складових, що характеризують фактори впливу основних джерел похибок. Подамо СКВ (нормована величина, допустима) як СКП (величина як результат дії – практичний зміст допустимого відхилення). Тоді середню квадратичну похибку (СКП) встановлення осі колони у вертикальне положення можна записати так:

$$m^2 = m_{\text{прил}}^2 + m_{\text{вим}}^2 + m_{\text{ЗС}}^2 + m_{\text{ВК}}^2 + m_{\text{МР}}^2,$$

де  $m_{\text{прил}}$  - похибка приладу;

$m_{\text{прил}}$  - похибка підготовки, юстування, вимірювання;

$m_{\text{прил}}$  - похибка зовнішнього середовища;

$m_{\text{прил}}$  - похибка виготовлення колони;

$m_{\text{прил}}$  - похибка монтажних робіт.

Позначимо  $m_{\text{прил}}^2 + m_{\text{вим}}^2 = m_I^2$  – СКП вимірювання особисто приладом, та за принципом рівного впливу знайдемо:

$$m^2 = 4m_i^2.$$

Тоді  $m_I = \frac{m}{2}$  або  $m_I = \frac{\sigma}{2}$ .

Запишемо СКП вимірювання особисто приладом у таблицю 3, яка відрізняється від таблиці 2 тим, що в ній показано плавний перехід між СКП по висотах колон.

Таблиця 3

### Середні квадратичні похибки вимірювання

Висота колони, мм	СКП $m_I (t_p = 3), ^\circ$	СКП $m_I (t_p = 2,5), ^\circ$	СКП $m_I (t_p = 2), ^\circ$
4000 – 7000+	0,024 – 0,014	0,028 – 0,017	0,036 – 0,021
8000 – 15000+	0,014 – 0,009	0,017 – 0,011	0,021 – 0,013
16000 – 24000+	0,009 – 0,007	0,011 – 0,009	0,013 – 0,011
25000 – 40000	0,007 – 0,005	0,009 – 0,006	0,011 – 0,007

Основні робочі характеристики MEMS-інклінометрів, такі як точність, роздільна здатність, стабільність і діапазон вимірювань, загалом визначаються технологією та якістю виготовлення, умовами експлуатації й підготовкою приладу.

Точність вимірювання зенітних кутів особисто приладом залежить від таких основних чинників: калібрування та компенсації; технологічних можливостей сенсора; шумів і вібрацій. Найкращі моделі мають вбудоване калібрування за двома–трьома осями; прилади виконують температурну корекцію та цифрову фільтрацію, засновану на сучасних алгоритмах. Розглядаючи різні моделі датчиків різних виробників, поділимо MEMS-інклінометри за точністю на три групи: технічні, точні та високоточні.

Точні серійні MEMS-інклінометри за сприятливих умов вимірювань забезпечують достатню точність для багатьох будівельно-монтажних робіт. Вони мають невеликі габарити, є відносно недорогими та простими у застосуванні (нескладними в експлуатації). Однак їм притаманний температурний дрейф, дрейф під дією вібрацій та інших впливів, що в умовах будівельного майданчика може суттєво знизити точність. Високоточні датчики є більш чутливими, дорожчими та технологічнішими.

На ринку мікроелектромеханічних приладів представлені різні компанії, що випускають MEMS-інклінометри для моніторингу будівельних конструкцій. Їх можна поділити на виробників MEMS-датчиків та компанії, які інтегрують ці датчики та інші компоненти в готові системи для моніторингу споруд, будівельних конструкцій, геотехнічного моніторингу тощо. Наведемо дані про продукцію деяких великих міжнародних компаній, які виробляють MEMS-компоненти та постачають обладнання і готові комплекси для моніторингу.

Компанія DEWESOFT представляє статичний двоосьовий інклінометр IOLITE-2xMEMS-INC, діапазон вимірювань якого становить  $\pm 15^\circ$ , а відносна точність заявлена  $0,01^\circ$  [9].

Виробник інерціальних датчиків під торговою маркою BLITZ Sensor [10] випускає точні та високоточні MEMS-інклінометри. Наприклад, модель BS-IWN60 має статичну точність вимірювань  $0,01^\circ$ , а модель BS-IWN9052 має заявлену точність  $0,001^\circ$ .

Компанія Trimble випускає високоточні двоосьові датчики нахилу LS-G6-INC15-MON / LS-G6-INC15-1-MON [11] для структурного моніторингу. Заявлена точність вимірювань в межах нахилу  $\pm 5^\circ$  становить  $\pm 0,003^\circ$ , а в межах нахилу  $\pm 15^\circ$  становить  $\pm 0,010^\circ$ .

Відома компанія Leica Geosystems випускає високоточні двоосьові датчики нахилу Leica Nivel210/Nivel220 [12] для структурного моніторингу. В технічних характеристиках вказано, що датчики мають три діапазони вимірювань:

діапазон А від  $-1,51 \text{ mrad}$  ( $-960^{\text{cc}}$ ;  $-311''$ ) до  $+1,51 \text{ mrad}$  ( $+960^{\text{cc}}$ ;  $+311''$ );  
діапазон В від  $-2,51 \text{ mrad}$  ( $-1600^{\text{cc}}$ ;  $-518''$ ) до  $+2,51 \text{ mrad}$  ( $+1600^{\text{cc}}$ ;  $+518''$ );  
діапазон С від  $-3,00 \text{ mrad}$  ( $-1900^{\text{cc}}$ ;  $-615''$ ) до  $+3,00 \text{ mrad}$  ( $+1900^{\text{cc}}$ ;  $+615''$ ).

Заявлена точність вимірювання, щодо діапазону вимірювання, становить:

діапазон А:  $\pm 0,0047 \text{ mrad}$  ( $\pm 3^{\text{cc}}$ ;  $\pm 1''$  или  $\pm 0,0003^\circ$ );  
діапазон В:  $\pm 0,0141 \text{ mrad}$  ( $\pm 9^{\text{cc}}$ ;  $\pm 3''$  или  $\pm 0,0008^\circ$ );  
діапазон С:  $\pm 0,0471 \text{ mrad}$  ( $\pm 30^{\text{cc}}$ ;  $\pm 10''$  или  $\pm 0,003^\circ$ ).

**Висновки.** MEMS-датчики, зокрема інклінометри, впродовж останніх років упевнено переходять із розряду допоміжних вимірювальних засобів до категорії точних і високоточних інженерних інструментів. Розвиток мікроелектроніки, матеріалознавства та технологій мікромеханічної обробки дав змогу суттєво підвищити стабільність, чутливість і довготривалу точність MEMS-інклінометрів за одночасного зниження їхньої вартості та енергоспоживання.

З науково-технічного погляду ключовими чинниками зростання є вдосконалення алгоритмів температурної компенсації, цифрової фільтрації та калібрування, а також інтеграція MEMS-датчиків із високопродуктивними

мікроконтролерами та системами обробки даних. Це дає змогу досягати точності вимірювання кутів нахилу на рівні сотих і навіть тисячних часток градуса, що ще донедавна було притаманно переважно громіздким і дорогим оптико-механічним приладам.

У будівництві та інженерній геодезії MEMS-інклінометри мають особливо високий потенціал. Під час монтажу колон, опор та інших вертикальних конструкцій вони дають змогу оперативно й точно контролювати відхилення від проєктного положення без складних вимірювальних процедур. Висока точність у поєднанні з простотою застосування скорочує час монтажних робіт і зменшує ймовірність помилок, пов'язаних із людським фактором.

### Список літератури

1. Isaev O., Annenkov A., Demianenko R., Chulanov P. Monitoring of the elements stability of building constructions by means of example of vertical elastic rod of high flexibility. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2022. № 109. С. 416-425.
2. Ісаєв О.П., Бондар С.А., Медведський Ю.В., Чуланов П.О., Циколенко О.В. Моніторинг споруд з несучими елементами у вигляді довгих вертикальних стрижнів. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2023. № 111. С. 251-262.
3. ДСТУ 8855:2019. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 13 с.
4. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 58 с.
5. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. 30 с.
6. Ісаєв О.П., Куліковська О.Є., Катушков В.О. Вплив похибок положення на стійкість несучого вертикального стержня великої гнучкості. *Містобудування та територіальне планування*. Київ, 2022. Вип. 80. С. 203-209.
7. Баран П.І. *Інженерна геодезія: монографія*. Київ: Віпол, 2012. 618 с.
8. ДСТУ Б В.2.6-200:2014 Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://dbn.co.ua/dstu\\_stalnie\\_konstrukzii\\_montaj](https://dbn.co.ua/dstu_stalnie_konstrukzii_montaj) (дата звернення: 15.12.2025).
9. LOLITE 3xMEMS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dewesoft.com/ru/products/iolitei-3xmems> (дата звернення: 15.12.2025).
10. BLITZ Sensor. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://blitz-sensor.com/> сторінка розширення pdf: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://blitz-sensor.com/wp-content/uploads/2024/12/BS-IWH9053-485.pdf> (дата звернення: 15.12.2025).

11. LS-G6-INC15-MON. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kmcgeo.com/ru/monitoring/ls-g6-inc15-mon> (дата звернення: 15.12.2025).
12. Leica Nivel 210. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.gfk-leica.ru/katalog/datchiki/leica\\_nivel\\_210/](https://www.gfk-leica.ru/katalog/datchiki/leica_nivel_210/) сторінка розширення pdf: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/https://www.gfk-leica.ru/files/catfiles/sensors/Nivel210-220\_brochure\_ru.pdf (дата звернення: 15.12.2025).
13. Annenkov A. Monitoring the deformation process of engineering structures using BIM technologies. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVI-5/W1-2022 Measurement, Visualization and Processing in BIM for Design and Construction Management II, 7–8 Feb. 2022, Prague, Czech Republic.
14. Анненков А.О. Перспективи застосування BIM-технології при геодезичному забезпеченні будівництва. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Геофорум-2022», 6–8 квітня 2022 року. 2022. С. 23-26.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Isayev Oleksandr**,  
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor **Kuzmych Oleksandr**,  
**Bondar Svitlana, Chulanov Petro**,  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## APPLICATION OF INCLINOMETERS FOR COLUMN INSTALLATION

The structure is described as consisting of two straight rods arranged along the same vertical line. One rod serves as the load-bearing element, while the other is the loading element. In the расчетная схема, the loading rod is replaced by a force vector. Under very large loads and certain influencing factors, the load-bearing rod may enter an unstable state and undergo significant deformation. One of these factors is the inclination of the rod, either as a residual value after alignment and installation or as an acquired value under the action of load, temperature, or ground displacements. This explains the need for high accuracy in setting columns in a vertical position, especially when they are relatively slender and long rods. The required accuracy can be ensured by geodetic methods. Such work is analyzed, and it is concluded that guaranteeing the required accuracy involves significant time, careful preparation, and additional geodetic layouts and measurements. Therefore, the possibility of using inclinometers (tilt sensors) is considered; among the various types, MEMS inclinometers are selected. According to measurement accuracy, they can be classified as technical, precise, and high-precision devices. The permissible deviation of a column axis from the vertical position is regulated by normative

documents. In this study, reference is made to the State Standard of Ukraine, and the maximum permissible deviations of a column from verticality are presented in different forms and as functions of column height. Based on an interval estimation of accuracy, a transition is made from the maximum permissible deviation to the root-mean-square deviation and to the root-mean-square error, which represents the practical meaning of the permissible deviation. The practical value of the root-mean-square error, formed by many sources of error, is expressed as a sum of components characterizing these sources. From this series, the root-mean-square error of the instrument itself (the sensor) is singled out. The results are expressed as functions of column height and a statistical coefficient. By comparing these data, sensors can be selected according to their accuracy characteristics. Several examples of precise and high-precision sensors are considered, and conclusions regarding their application are drawn.

Keywords: column; vertical position; permissible deviations; MEMS inclinometers.

## REFERENCES

1. *Isaev O., Annenkov A., Demianenko R., Chulanov P.* Monitoring of the elements stability of building constructions by means of example of vertical elastic rod of high flexibility. *Opir materialiv i teoriya sporud.* Kyiv, 2022. № 109. С. 416-425. DOI: 10.32347/2410-2547.2022.109.416-425. {in Ukrainian}
2. *Isayev O.P., Bondar S.A., Medveds'kyi YU.V., Chulanov P.O., Tsykolenko O.V.* Monitorynh sporud z nesuchymy elementamy u vyhlyadi dovhykh vertykal'nykh stryzhniv. *Opir materialiv i teoriya sporud.* Kyiv, 2023. № 111. С. 251-262. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.251-262. {in Ukrainian}
3. DSTU 8855:2019. *Budivli ta sporudy. Vyznachennya klasu naslidkiv (vidpovidal'nosti).* Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2019. 13 s. {in Ukrainian}
4. DSTU-N B V.1.2-17:2016. *Nastanova shchodo naukovo-tekhnichnoho monitorynhu budivel' i sporud.* Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2017. 58 s. {in Ukrainian}
5. DBN V.1.2-14:2018. *Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivel'nykh ob"yektiv. Zahal'ni pryntsypy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivel' i sporud.* Kyiv: DP «Ukrarkhbudinform», 2018. 30 s. {in Ukrainian}
6. *Isayev O.P., Kulikovs'ka O.YE., Katushkov V.O.* Vplyv pokhybok polozhennya na stiykist' nesuchoho vertykal'noho sterzhnya velykoyi hnuchkosti. *Mistobuduvannya ta terytorial'ne planuvannya.* Kyiv, 2022. Vyp. 80. S. 203-209. {in Ukrainian}
7. *Baran P.I.* *Inzhenerna heodeziya: monohrafiya.* Kyiv: Vipol, 2012. 618 s. {in Ukrainian}

8. DSTU B V.2.6-200:2014 Konstruktsiyi metalevi budivel'ni. Vymohy do montazhu [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: [https://dbn.co.ua/dstu\\_stalnie\\_konstrukzii\\_montaj](https://dbn.co.ua/dstu_stalnie_konstrukzii_montaj) (data zvernennya: 15.12.2025). {in Ukrainian}
9. LOLITE 3xMEMS. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://dewesoft.com/ru/products/iolitei-3xmems> (data zvernennya: 15.12.2025). {in Russian}
10. BLITZ Sensor. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: [https://blitz-sensor.com/storinka\\_rozshyrennya\\_pdf\\_chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://blitz-sensor.com/wp-content/uploads/2024/12/BS-IWH9053-485.pdf](https://blitz-sensor.com/storinka_rozshyrennya_pdf_chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://blitz-sensor.com/wp-content/uploads/2024/12/BS-IWH9053-485.pdf) (data zvernennya: 15.12.2025). {in Russian}
11. LS-G6-INC15-MON. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <https://kmcgeo.com/ru/monitoring/ls-g6-inc15-mon> (data zvernennya: 15.12.2025). {in Russian}
12. Leica Nivel 210. [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: [https://www.gfk-leica.ru/katalog/datchiki/leica\\_nivel\\_210/storinka\\_rozshyrennya\\_pdf\\_chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.gfk-leica.ru/files/catfiles/sensors/Nivel210-220\\_brochure\\_ru.pdf](https://www.gfk-leica.ru/katalog/datchiki/leica_nivel_210/storinka_rozshyrennya_pdf_chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.gfk-leica.ru/files/catfiles/sensors/Nivel210-220_brochure_ru.pdf) (data zvernennya: 15.12.2025). {in Russian}
13. *Annenkov A.* Monitoring the deformation process of engineering structures using BIM technologies. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLVI-5/W1-2022 Measurement, Visualization and Processing in BIM for Design and Construction Management II, 7–8 Feb. 2022, Prague, Czech Republic. {in Ukrainian}
14. *Annenkov A.O.* Perspektyvy zastosuvannya BIM-tekhnologiyi pry heodezychnomu zabezpechenni budivnytstva. Materialy Mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi «Heoforum-2022», 6–8 kvitnya 2022 roku. 2022. S. 23–26. {in Ukrainian}