

УДК 528:48

МОНІТОРИНГ СПОРУД З НЕСУЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ У ВИГЛЯДІ ДОВГИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТРИЖНІВ

О.П. Ісаєв,

канд. техн. наук, доцент

С.А. Бондар,

асистент кафедри інженерної геодезії

Ю.В. Медведський,

канд. техн. наук, доцент

П.О. Чуланов,

старший викладач

О.В. Циколенко,

асистент

*Київський національний університет будівництва і архітектури,
Київ/Повітрофлотський проспект 31, 03037*

DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.251-262

Розглядається будівельна конструкція у вигляді двох вертикальних прямолінійних взаємодіючих елементів. Несучий елемент представлений у вигляді довгого тонкого стрижня, навантаженого зовнішньою осьюою вертикальною силою. Різні фактори порушують прямолінійну форму рівноваги несучого стрижня та його положення в просторі. Це сприяє передчасному виникненню нестійкого стану при зовнішньому зростаючому навантаженні. Завдання моніторингу-попередити про наближення до нього.

Ключові слова: довгий стрижень, похибки положення, фактори впливу, стійкість стрижня, НДС, завдання моніторингу.

Вступ. Компанії, що володіють сучасними технологіями будівництва, будують велику кількість будівель і споруд з оригінальними архітектурними та конструкторськими напруженнями. Впроваджуються нові проєктні та технологічні рішення, що ґрунтуються на нових комп'ютерних методах розрахунку та програмному забезпеченні, нових матеріалах та інноваційних технологіях будівництва. Унікальні за своєю природою будівлі та споруди (висотні, масивні, великопролітні тощо) вимагають високої якості комплексних вишукувань, проєктування та будівництва. Сучасні методи розрахунку, рівень досліджень у цій галузі та технології робіт дозволяють досить впевнено зводити багато з таких будівель та споруд. Проте практика показує, що під час експлуатації зміна напружено-деформованого стану окремих елементів та конструкцій багатьох таких об'єктів може наближатися до граничних допустимих значень. Виникає загроза руйнування, аварійної ситуації та безпеки людей. Залежить це від багатьох зовнішніх і внутрішніх факторів, об'єктивних і суб'єктивних, і означає, що необхідно проводити постійне відстеження стану найбільш вразливих конструктивних несучих елементів.

Актуальність. Деякі несучі елементи будівельних споруд представлені та розглядаються як відносно довгі та тонкі прямолінійні навантажені стрижні. Вертикальні стрижні у таких спорудах призначені для сприйняття зовнішніх осьових стискаючих навантажень. Довгі тонкі стрижні схильні до нестійкого стану при великих навантаженнях.

При певних зовнішніх впливах, таких як температурні впливи, похибки положення векторів зовнішніх сил та несучих елементів, вплив ушкоджень, небезпечні природні (геологічні) процеси, тощо, первісно прямолінійні стрижні можуть зігнутися в площині найменшої жорсткості. При збільшенні зовнішнього навантаження вигин буде збільшуватися, тобто зростатимуть деформації. Руйнування може відбутися швидко і різко, залежно від ступеня збурень. Щоб контролювати напружено-деформований стан

(НДС) таких елементів та конструкцій з них, потрібен всебічний інженерно-технічний, геодезичний та геотехнічний моніторинг [27].

Постановка проблеми. Створення сучасних споруд супроводжується на стадії проектування складними розрахунковими моделями. На стадії будівництва вони можуть бути реалізовані завдяки новітнім матеріалам, технологіям зведення та геодезичного супроводу. Однак якими б не були досконалими розрахунки та технології, модель завжди відрізнятиметься від реальності. І якщо розрахунки та технології можна вдосконалювати, то реальні умови функціонування споруди важко прогнозувати через їхню непередбачувану мінливість, особливо на тривалий період часу. Якщо в натурі не відслідковувати вплив природних і техногенних негативних процесів, що викликають зміщення та деформації будівельних конструкцій, і не вживати заходів, то це може призвести до критичного напружено-деформованого стану їх елементів. Тому систему моніторингу потрібно створювати так, щоб при наростаючому силовому та температурному впливі на конструкцію, вона відчувала та фіксувала динаміку розвитку НДС.

Звідси виникає потреба у вимірювальних комплексах, які забезпечують із необхідною заданою точністю вимірювання змін фізичного стану елементів будівельних конструкцій (ЕБК). Потрібні розрахунки необхідної точності вимірювань. При цьому допустима точність положення несучих елементів, точність геодезичних та інженерно-технічних вимірювань має бути узгоджена з напружено-деформованим станом і фізичними характеристиками елементів.

Постановка задачі. Показати значення похибок положення елементів будівельних конструкцій, температурного впливу та інших факторів на стійкість довгого тонкого стрижня при збільшенні зовнішнього навантаження. Розглядається теоретична постановка задачі та її реалізація.

Аналіз публікацій і досліджень виконано стосовно моніторингу зміни НДС будівель, споруд, їх конструкцій та елементів конструкцій, а також використання пристроїв для вимірювання цих змін.

Моніторингом за фізико-технічним станом будівельних об'єктів займаються з того часу, як з'явилися різного роду особливі споруди, що мають унікальність, відмінні властивості та матеріали, побудовані в різному геологічному середовищі тощо [1-3]. Для певного типу будівель та споруд моніторинг проводиться в першу чергу для того, щоб отримати своєчасну інформацію про непередбачені зміни в динаміці напружено-деформованого стану споруди, про наближення цього стану до нижніх границь допустимих значень, про розвиток негативних процесів у основі споруди. Із цього приводу є велика кількість публікацій, наприклад, [4-8 та інші]. Моніторинг є важливою складовою робіт з науково-технічного супроводу будівництва та експлуатації складних будівельних об'єктів відповідно до вимог ДБН, ДСТУ [9-12].

Моніторинг, це комплекс вимірювань не тільки на самій споруді, а й навколо неї. Вимірювання проводять на всіх значущих об'єктах (будівлях, спорудах, комунікаціях), що розташовані у зоні спільного техногенного впливу. Також ведуть спостереження за геологічними процесами, за станом ґрунтів під об'єктами та навколо них, за підземними водами у зоні будівництва тощо. Геотехнічному моніторингу присвячено роботи [13-15]. На підставі виконавчої зйомки несучих елементів споруди в процесі будівництва проводиться оцінка відступів від проекту та вимог нормативних документів. Це аналіз зіставлень результатів вимірювань з прогнозними очікуваннями у проєкті [16, 17]. Робиться це в першу чергу з метою забезпечити безпеку людей, всю інфраструктуру на чолі зі спорудою, що розглядається [9]. Незважаючи на існуючу сучасну систему розрахунків, проектування та технологій, проєктна модель не збігається з реальністю і, чим більша розбіжність, тим вище ступінь ризику для споруди опинитися в аварійному стані [18]. Руйнівні деформації можуть розпочатися з однієї несучої конструкції чи її елементів.

Моніторинг висотних будівель та великопролітних споруд охоплює широкий спектр питань. Постановка проблеми задає напрямок у даному дослідженні, який зводиться до моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд, їх конструкцій та елементів конструкцій: пластин, стрижнів, вузлів та їх поєднань. При моніторингу вимірюється зміна НДС та на підставі результатів вимірювань, оцінки, аналізу, прогнозу даються висновки про надійність та безпеку споруди на певний період експлуатації [19-21].

Основний текст. Сучасні технології дозволяють створювати унікальні будівельні конструкції із достатніми (не завишеними) розмірами, що забезпечують надійність роботи споруди. Теорія розрахунку весь час удосконалюється, враховуються різного роду збурення та зовнішні впливи. Тому **мета статті** – показати, яку роль відіграють похибки положення вектора сили та похибки положення несучого стрижня, що виникають внаслідок виконання геодезичних вивірятьсяльних і монтажних робіт. Показати, як збільшується їх вплив спільно з іншими факторами. До інших важливих факторів відносяться: одностороннє (нерівномірне) нагрівання несучого стрижня; нахил, зміщення та деформації несучого стрижня через несприятливі геологічні (екзогенні) процеси; недостатньо повний розрахунок конструкцій; недотримання технологій та точності виготовлення; неоднорідність матеріалу, мікродфекти та інші.

Конструкція, що розглядається. Розглянемо довгий, відносно тонкий вертикальний несучий стрижень, який має прямолінійну форму рівноваги під дією зовнішньої стискаючої осьової розрахункової сили. Стрижень знаходиться у конструкції, що складається з двох вертикальних стрижнів. Зовнішнім навантаженням на несучий стрижень, є силовий вплив на нього інших елементів будівельної конструкції [26]. Нехай несучий стрижень знизу закріплений (зашемлений), а зверху з'єднаний у вузлі з іншим вертикальним прямолінійним навантажуючим стрижнем. На етапі монтажу конструкція встановлюється в проектне положення таким чином, щоб обидва стрижні розташовувались на одній осьовій вертикальній лінії. Методами та засобами інженерної геодезії проводиться вивірка положення, контроль вертикальності та співвісності, виконавча зйомка після остаточного закріплення. Стадія навантаження, це стадія відліку початку моніторингу. На цій стадії повинні бути зафіксовані всі початкові параметри НДС та форма рівноваги, виявлено геометричні відхилення, зроблено перший цикл осідань, горизонтальних зміщень, крену тощо.

Теоретично, вертикальна осьова сила, що діє на вертикальний стрижень і стискає його, при допустимих розрахункових значеннях не призводить до вигину і залишкових деформацій стрижня. Теоретично внаслідок несуттєвих додаткових впливів та відхилень, у будівельних конструкціях не виникають неприпустимі напруги та моменти сил, а значить і деформації. При такому навантаженні та несуттєвих додаткових впливах та відхиленнях правильно розрахований на міцність та стійкість стрижень має пружні невеликі деформації та зберігає стійку прямолінійну форму рівноваги. Фактично це узгоджується з поняттям стійкості елементів будівельних конструкцій. Відомо, що під стійкістю розуміють здатність елемента будівельної конструкції чинити опір виникненню великих відхилень від початкової рівноваги при малих додаткових впливах та відхиленнях [25]. Однак із значним збільшенням навантаження незначні дії та відхилення можуть стати значними. Розглянемо це.

Вплив похибок положення вектору сили (BC). Як показано у роботах [25, 26], верхній стрижень еквівалентний BC. Якщо за проектом верхній стрижень вертикальний і передає лише осьове навантаження, то вектор сили має тільки вертикальну складову. В результаті похибок геодезичних вивірятьсяльних та монтажних робіт напрямку лінії дії сили матиме деякі відхилення від проекту та характеризуватиметься похибками у кутах нахилу вектора сили. Точка прикладання сили також матиме деякі відхилення від проекту та характеризуватиметься похибками в координатах точки прикладання сили. Похибки положення вектора сили визначають положення у просторі дійсного вектора сили (рис. 1 (а)). У нашому випадку дійсний вектор сили буде похилим і матиме вертикальну

та горизонтальну складову сили (рис. 1 (б)). Звернімо на це особливу увагу, оскільки горизонтальна сила призведе до передчасної зміни форми рівноваги стрижня. Причому горизонтальна сила при випадкових похибках положення вектора сили, коли кожна з них не дорівнює нулю, діє по всіх напрямках перерізу стрижня (рис. 1 (в)).

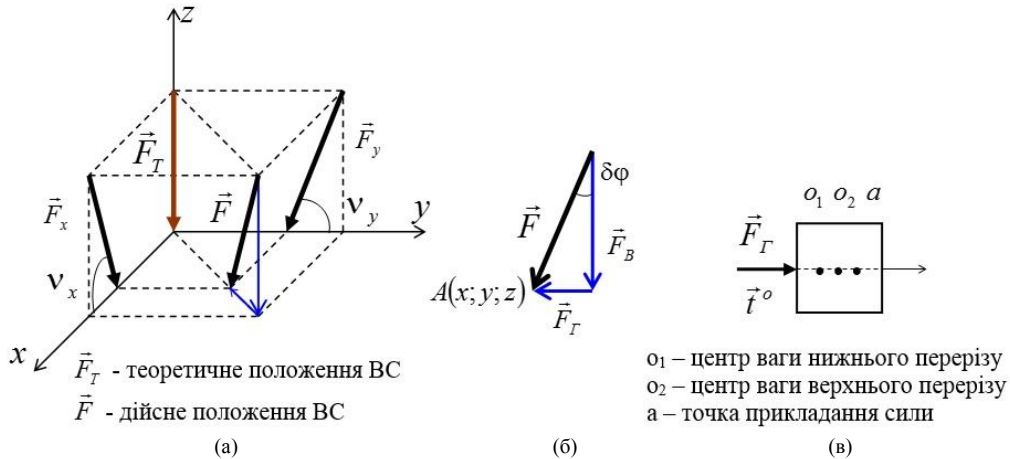


Рис. 1. Положення вектора сили в результаті похибок геодезичних та монтажних робіт

Вплив похибок положення несучого стрижня. Припустимо, що несучий стрижень (НС) має однакові перерізи і вісь стрижня проходить через центр ваги перерізів. Внаслідок похибок геодезичних вимірних та монтажних робіт несучий стрижень буде встановлений у вертикальне положення з похибками у напрямках осі стрижня щодо координатних осей та з похибками у координатах центрів ваги нижнього та верхнього перерізу (аналогічно тому, як показано на рис. 1(а)). У такому разі вісь несучого стрижня матиме деякий нахил. У загальному випадку нахил може проявлятися по всіх напрямках, у тому числі в площині мінімальної жорсткості.

Лінія дії навантажуючої сили і поздовжня вісь несучого стрижня будуть розташовані під кутом один до одного (рис. 2 (а)), що викличе згинальні моменти і поперечні сили в перерізах стрижня (рис. 2 (б), (в)). Згинальні моменти природно сприятимуть передчасному вигину стрижня. Ці дії будуть посилені тим, що точка докладання сили не збігається з центром ваги верхнього перерізу (рис. 1 (в)).

Вплив температурного градієнта. Розглянемо далі змінену похибками положення конструкцію під час експлуатації. Несучий стрижень після монтажу знаходиться у стані пружної рівноваги, яка вважається початковою на момент початку геодезичного моніторингу. Припустимо, що під час експлуатації стрижень нагрівається односторонньо, вздовж осі. Нерівномірно нагрітий стрижень набуває здатності до викривлення. Чим більший температурний градієнт (різниця температур нагрітої та тіньової сторони), тим більший вигин та подовження можливі. Все залежить від розмірів, матеріалу, виду закріплення кінців тощо. Таким чином, нерівномірно нагрітий стрижень схильний до зміни форми рівноваги за певних умов. Не вдаючись у глибину питання температурних впливів і полегшуючи розуміння суті предмета, припустимо, що вектор нагрівання лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь стрижня. У загальному випадку ця площина може поступово повертатися навколо осі стрижня (наприклад, при сонячному нагріванні) і може статися так, що вона співпаде з площиною найменшої жорсткості. Викривлення стрижня найімовірніше буде у цій площині. У цій же площині можуть виявитися й інші фактори впливу, що викликають вигин, які ми розглядаємо.

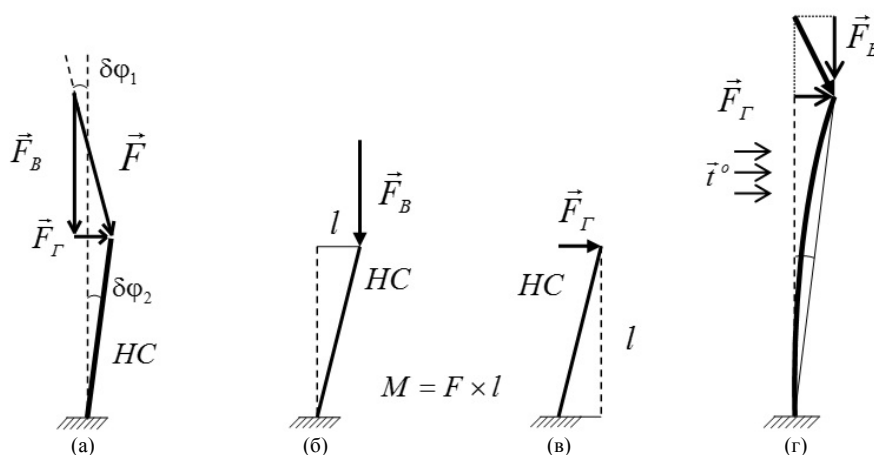


Рис. 2. «Змінена» конструкція

Повернемося до поняття стійкого та нестійкого стану «зміненої» конструкції у несприятливих умовах. Коли на абсолютно вертикальний стрижень тисне вертикальна сила, що все збільшується, то стрижень, не змінюючи прямолінійну форму рівноваги, витримує цю силу. До якогось певного моменту він зберігає стійкість. При досягненні силою деякого значення стрижень входить у критичний напружений стан. Тобто настає момент, коли він втрачає рівновагу, стає нестійким та згинається. Практично стрижень після втрати стійкості швидко руйнується від надмірної напруги.

У нашому випадку «змінений» згаданими факторами стрижень початково має абсолютно прямолінійну, а як би похилу криволінійну форму рівноваги (рис. 2 (г)). Навіть при не дуже великому навантаженні, яке понад розрахункового значення, схильний до вигину стрижень почне згинатися, і критичний стан для нього настане значно раніше. Причинами для цього, як бачимо, є похибки положення, температурний вплив та інші чинники, що виникають і проявляються у несприятливих умовах.

Вплив геологічних факторів. Зазначені похибки положення можуть бути зменшені при виконанні технології монтажу та його геодезичного забезпечення, що базується на розрахунку допустимого впливу цих похибок. Температурні впливи також можуть бути зменшені при певному захисті конструкцій. Однак прояв цих факторів може бути посилений, а стійкість стрижня значно ослаблена внаслідок нерівномірного осідання, горизонтального зміщення або крену несучої конструкції через небезпечні екзогенні геологічні процеси.

Виникає питання, яку систему спостережень (вимірювань) необхідно сформувати, враховуючи комплексний вплив описаних факторів та поставлені умови. По-перше, точність. У постановці проблеми вказується, що система моніторингу повинна відчувати зміни напружено-деформованого стану. У розвиток цього, на наш погляд, чутливість та точність системи моніторингу має особливе значення, оскільки дозволяє контролювати НДС по всій лінійці розвитку деформацій, не пропускаючи моменти переходу від одного стану до іншого [30]. А безперервна фіксація процесу розвитку, починаючи від первісного стану, дозволяє отримувати абсолютні значення напружень і деформацій.

Точність, з якою необхідно вимірювати параметри НДС, наприклад: деформації, зміщення, нахили - це особливе питання, тому що від цього залежить знання реального стану конструкції на кожний певний момент часу. Залежно від точності створюється система моніторингу, підбираються прилади та методи. Питанням точності вимірювань ми приділяли увагу в роботах [25, 29, 30]. Зазначимо, що попередній розрахунок точності показує дуже високу необхідну точність вимірів. Геодезичні методи дають абсолютну

картину зміщень та деформацій, але далеко не завжди можуть забезпечити таку точність. Інженерно-технічні методи моніторингу можуть забезпечити таку точність, але дають, як правило, відносні результати вимірювань. В нашому контексті абсолютні результати показують орієнтовану зміну планово-висотного положення конструкції, її елементів та частин щодо навколишнього середовища, елементів простору та часу. Відносні результати показують частку зміни зовнішнього силового та температурного впливу, деформацій та напружень, частку деформаційних зміщень у межах одного елемента або його частини. (Наприклад, датчик через вимірювання електричного або оптичного сигналу показує взаємну зміну між двома точками елемента, на яких він закріплений, але як при цьому змінилося просторове положення цих точок, «він не знає»). Відносними вони можуть бути і за часом, тобто між двома проміжками часу. Щоб розуміти реальний НДС елементів будівельних конструкцій у будь-який заданий момент часу, необхідно мати безперервні відносні та абсолютні результати всього періоду спостережень, тобто знати зміни напружень та деформацій з самого початку їх виникнення до заданого часу. Знати також причини цих змін щоб прогнозувати динаміку змін.

Для розуміння причин виникнення зростання НДС потрібні, зокрема, результати, отримані методами інженерної геодезії. Це результати, що відображають зміни у просторовому положенні конструкції (горизонтальні та вертикальні зсуви, крен), зміни форми її елементів, спричинені негативними природними та техногенними процесами у природо-технічній геосистемі. Збільшення ж силових та температурних впливів, напружень та деформацій реєструється відповідними датчиками системи інженерно-технічного моніторингу [27].

Для постійного та безперервного контролю НДС елементів будівельних конструкцій застосовують автоматизовані системи моніторингу (АСМ). Як ми раніше вказували, для того щоб мати всю історію напружень, деформацій, геометричних відхилень від вихідного положення, АСМ повинна бути встановлена на об'єкті на самому початку будівництва. У такому ключі моніторинг розглядається нами як продовження встановлення, вивіряння та навантаження елементів будівельних конструкцій.

Контроль встановлення та вивіряння положення елементів у процесі монтажу здійснюється методами інженерної геодезії в діапазонах міліметрової та субміліметрової точності. У процесі навантаження конструкції зовнішнім навантаженням вимірювання напруг, що виникають, і деформацій в різних елементах і вузлах здійснюється методами і засобами інженерно-технічного контролю з відносною похибкою в кілька мкм/м. Осідання, крен, зміна форми тощо вимірюються методами та засобами інженерної геодезії та доповнюються методами та засобами інженерно-технічних вимірювань. Таким чином, отримують початкові взаємопов'язані результати нерівноточних вимірювань абсолютних та відносних величин. Далі в процесі експлуатації інформація повинна безперервно накопичуватися, відображаючи всі геометричні та фізичні зміни, що відбуваються в конструкції. Тільки комплексний моніторинг дозволяє вирішити поставлені задачі [27].

Кожна будівельна конструкція вимагає створення своєї певної системи моніторингу, що підходить для цієї конструкції, тому що вона має багато специфічних особливостей побудови, використання матеріалів, роботи у зовнішньому середовищі. Для стрижневої конструкції, що розглядається нами, в основі якої знаходиться гнучкий стрижень, система моніторингу повинна виконувати наступні функції.

1. Провести виконавчу зйомку та отримати початкові дані про реальне положення та напружений стан конструкції після їх монтажу.

2. Перевіряти вертикальність і прямолінійність несучого стрижня та стрижня, що навантажує. АСМ може здійснювати безперервний контроль відхилень від вертикалі за допомогою, високоточних інклінометрів [31] шляхом вимірювання зенітних кутів за двома координатними напрямками. Ці прилади використовуються і для виявлення деформацій вигину при відповідній їх кількості та розташуванні. Деформації вигину

несучого стрижня підлягають особливо ретельному контролю. І тут більш універсальним та оптимальним варіантом є застосування волоконно-оптичних датчиків (ВОД) [32].

3. Вимірювати планові та висотні зміщення елементів конструкції у встановленій системі координат. Ця частина моніторингу виконується у зв'язку з необхідністю контролювати лінійні та кутові зміщення несучого та навантажуючого стрижня відносно один одного та заданого теоретичного (розрахункового) положення. Здійснюється методами та засобами інженерної геодезії. Для цього проводиться високоточне нівелювання (I або II класу) по осадових марках у несучій частині конструкції. Високоточним тахеометром визначають координати заданих точок верхнього та нижнього стрижнів, які показують планові зміщення елементів. Дані геодезичних вимірювань у поєднанні з даними, отриманими з датчиків, після аналізу приймаються у спільну обробку.

4. Контролювати НДС несучого стрижня. При цьому вимірюють зовнішній силовий тиск на стрижень та температуру нагрівання різних ділянок стрижня, використовуючи датчики тиску та температури. Найбільш ефективними тут також є ВОД.

Висновки. Похибки виготовлення елементів будівельних конструкцій, геодезичних розмічувальних, вивірляних та монтажних робіт визначають, як відомо, похибки положення несучих елементів, похибки положення векторів сил відносно теоретичних схем, а також похибки їхнього взаємного положення. У реальних конструкціях вони викликають додаткові сили та моменти сил.

Після монтажу і при подальшій експлуатації конструкції можуть відчувати великий спектр температурних впливів і додаткових силових впливів в результаті зміщень і деформацій. При нерівномірному односторонньому нагріванні може статися деяке викривлення осі стрижня. Цьому ж сприяє горизонтальна сила, що виникає внаслідок похибок положень та зміщень. Викривлення нехай у невеликих межах, але достатньо для того, щоб розглядати перші ознаки криволінійної форми рівноваги. Під дією горизонтальної сили криволінійна форма рівноваги схильна до швидкого вигину. Якщо з якихось причин навантаження на стрижень почне зростати, то навіть невелике його збільшення може призвести до великих деформацій. Це узгоджується з поняттям нестійкості довгого відносно тонкого стрижня.

При моніторингу за стійкістю конструкцій важливо розуміти, що при стійкій рівновазі малій зміні навантаження відповідають малі пружні деформації. І, навпаки, при нестійкій рівновазі невелике додаткове навантаження викликає значні напруження та деформації.

Система моніторингу повинна відчувати і належним чином фіксувати зміни та динаміку напружено-деформованого стану. Звідси виникає потреба у вимірювальних комплексах з певною конфігурацією, що забезпечують з необхідною заданою точністю вимірювання змін фізичного стану елементів будівельних конструкцій. При цьому виміри повинні починатися з моменту монтажу конструкцій, щоб оцінити їхній реальний напружено-деформований стан. Для комплексних вимірювань необхідний єдиний проект виконання геодезичних та інженерно-технічних робіт, що відображає застосування методів, способів та технологій як високоточних інженерно-геодезичних вимірювань, так і інженерно-технічних вимірювань із застосуванням високоточних приладів та датчиків, що ґрунтуються на різних фізичних принципах. Спільна обробка одержаних результатів вимірювань дасть найбільш достовірні та повні відомості про напружено-деформований стан конструкцій, що дозволить заздалегідь передбачати небезпечні ситуації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Moore J. F. A. Monitoring Building Structures. London: Blackie and Son Ltd, 1992. 155 p.
2. Monitoring of buildings and structures. Leica geosystems, deformation monitoring. URL: https://www.google.com/search?q=monitoring+of+buildings+and+structures&tbm=isch&hl=ru&chips=q:monitoring+of+buildings+and+structures,online_chips:leica+geosystems:zNrV_UYADGs%3D,online_chips:deformation+monitoring:seatudeplE%3D&rlz=1C1OKWM_enUA918UA918&sa=X&ved=2ahUKewi8k5OzxP_-AhX4micCHdMICK8Q4IYoAXoECAEQKw&biw=1629&bih=918 (дата звернення: 18.05.2023).

3. *Connolly C.* Structural monitoring with fiber optics. *Europhotonics*. 2009. No. 2-3. P. 16–18.
4. *Яковенко М.С., Несторенко О.В.* Огляд видів геодезичного моніторингу будівель і споруд в складних інженерно-геологічних умовах. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ, 2019. Вип. 55. С. 341-350.
5. *Яковенко М.С., Несторенко О.В.* Аналіз методів геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та зсувних процесів ґрунтових масивів. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. Київ, 2020. Вип. 56. С. 345-363.
6. *Гайдайчук В.В., Котенко К.Е.* Ефективність і проблеми моніторингу великорозмірних будівельних споруд. Опір матеріалів і теорія споруд. Київ, 2016. № 97. С. 175-185.
7. *Гайдайчук В.В., Белов І.Д., Вабищевич М.О., Дедов О.П.* Діагностика і моніторинг унікальних будівельних об'єктів. Нові технології в будівництві. Київ, 2016. № 31. С. 21-29.
8. *Давиденко О.П., Безус О.О.* Безпроводна система моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд. Вісник НТУ «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2015. № 29 (1138). С. 8 – 12.
9. ДСТУ 8855:2019. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності). [На заміну ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013; чинний від 01.12.2019]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 13 с.
10. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний від 01.04.2017] Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 44 с.
11. ДСТУ-Н Б В.1.2-17:2016. Настанова щодо науково-технічного моніторингу будівель і споруд. [Чинний від 01.04.2017] Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 58 с.
12. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. [На заміну ДБН В.1.2-14:2009; чинний від 01.01.2019] Вид. офіц. Київ: ДП «Укрархбудінформ», 2018. 30 с.
13. ДБН В.2.1-10:2018. Основи і фундаменти будівель та споруд. Основні положення. [Чинний від 01.01.2019] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2018. 35 с.
14. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. [На заміну ДБН В.1.1-5-2000; чинний від 01.10.2017] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2017. 28 с.
15. *Ищенко Ю.І., Слюсаренко Ю.С., Мелашенко Ю.Б., Яковенко М.С., Бень І.В.* Геотехнічний моніторинг в умовах ущільненої міської забудови. Наука та будівництво. Київ, 2020. Том 25. № 3. С. 13-25.
16. *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.
17. *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.
18. *Соломахо В., Волчок А., Соломахо Д.* Мониторинг строительных конструкций как фактор обеспечения безопасной эксплуатации зданий и сооружений. Архитектура и строительство. Минск, 2010. № 4. С. 110-113.
19. *Shults R., Soltabayeva S., Seitkazina G., Nukarbekova Z., Kucherenko O.* (2020) Geospatial Monitoring and Structural Mechanics Models: A Case Study of Sports Structures. 11th International Conference “Environmental Engineering”. 2020. Pp. 1-9. (Scopus).
20. *Gordiuk M., Semynoh M., Holodnov O., Tkachuk I., Ivanov B.* Determination of remaining resource of constructions of buildings after different influences. Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 5. № 1(49). P. 4–9.
21. *Gordiuk M., Semynoh M., Holodnov O., Tkachuk I.* Determination of the technical state of buildings and constructions after force and temperature influences. Technology Audit and Production Reserves. 2019. Vol. 4. № 1(48). P. 4–10.
22. *Наріжний В.В.* Аналіз та перспективи розвитку автоматизованих систем діагностики та моніторингу технічного стану будівель і споруд. Будівельне виробництво. Київ, 2020. № 70. С. 66-71.
23. *Кузьмич Л.В.* Методи та засоби вимірювання напружень та деформацій складних конструкцій приладовою системою: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.11.01 / Київський політехнічний ін-т ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2019. 48 с.
24. *L. Kuzmych.* Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems [Text] / L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; M. Duk. // *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, Vol.10808, 2018, 108085J; doi:10.1117/12.2501661 (Scopus).
25. *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.
26. *Ісаєв О.П., Куліковська О.Є., Катущиков В.О.* Вплив похибок положення на стійкість несучого вертикального стержня великої гнучкості. Містобудування та територіальне планування. Київ, 2022. Вип. 80. С. 203-209.
27. *Исаев А.П., Гуляев Ю.Ф., Чуланов П.А.* Комплексный мониторинг инженерных сооружений. Містобудування та територіальне планування. 2020. Вип. 74. С. 162-171.

28. *Исаев А.П., Гуляев Ю.Ф., Чуланов П.А.* Особенности геодезического мониторинга разных строительных конструкций. Мистобудування та територіальне планування. 2019. Вип. 70. С. 230-240.
29. *Исаев А.П., Гуляев Ю.Ф., Стрилец В.С., Чуланов П.А.* Оценка мониторинга процесса деформации и осадки прямолинейного вертикального стержня. Инженерная геодезия. 2019. Вип. 67. С. 15-21.
30. *Исаев А.П., Шульц Р.В., Гуляев Ю.Ф., Стрилец В.С.* Принципы измерения осадки статически неопределимых конструкций (на примере прямолинейного вертикального стержня). Инженерная геодезия. 2017. Вип. 64. С. 55-66.
31. *Снежков Д.Ю.* Автоматизированный мониторинг элементов несущего каркаса высотного здания: учет температурного фактора. Строительные конструкции, здания и сооружения. 2018. № 4/37. С. 63 – 73.
32. *Гончаренко И.А., Рябцев В.Н.* Датчики контроля состояния инженерных и строительных конструкций на основе оптических волоконных структур. Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2013. № 2(18). С. 118 – 132.

REFERENCES

1. *Moore J. F. A.* Monitoring Building Structures. London: Blackie and Son Ltd, 1992. 155 p.
2. Monitoring of buildings and structures. Leica geosystems, deformation monitoring. URL: https://www.google.com/search?q=monitoring+of+buildings+and+structures&tbm=isch&hl=ru&chips=q:monitoring+of+buildings+and+structures,online_chips:leica+geosystems:zNrV_UYADGs%3D,online_chips:deformation+monitoring:seatudeplE%3D&rlz=1C1OKWM_enUA918UA918&sa=X&ved=2ahUKewi8k5OzxP_-AhX4micCHdMICK8Q4IYoAXoECAEQKw&biw=1629&bih=918 (data zvernennya: 18.05.2023).
3. *Connolly C.* Structural monitoring with fiber optics. Europhotonics, 2009. No. 2-3. P. 16–18.
4. *Yakovenko M.S., Nestorenko O.V.* Ohlyad vydiv heodezychnoho monitorynno budivl□ ta sporud v uskladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. (Overview of types of geodetic monitoring of buildings and structures in difficult engineering and geological conditions) Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. Kyiv, 2019. vyp. 55. S. 341-350.
5. *Yakovenko M.S., Nestorenko O.V.* Analiz metodiv heodezychnoho monitorynno deformatsiy inzhenernykh sporud ta zsvnykh protsesiv gruntovykh masyviv. (Analysis of methods of geodetic monitoring of deformations of engineering structures and landslide processes of soil massifs) Suchasni problemy arkhitektury ta mistobuduvannya. Kyiv, 2020. Vyp. 56. S. 345-363.
6. *Haydaychuk V.V., Kotenko K.YE.* Efektyvnist□ ta problemy monitorynno velykorozmirnykh budivl□nykh sporud. (Efficiency and problems of monitoring large-scale building structures) Opir materialiv ta teoriya sporud. Kyiv, 2016. №97. S. 175-185.
7. *Haydaychuk V.V., Byelov I.D., Vabishchevich M.O., Dyedov O.P.* Diahnostyka ta monitorynno unikal□nykh budivl□nykh ob'ektiv. (Diagnostics and monitoring of unique building objects) Novi tekhnolohiyi u budivnytstvi. Kyiv, 2016. №31. S. 21-29.
8. *Davydenko O.P., Bezus O.O.* Bezprovizna systema monitorynno napruzhenno-deformovanoho stanu budivl□ ta sporud. (Wireless system for monitoring of the tensely-deformed state of buildings and structures) Visnyk NTU "Kharkivskiy politekhnichnyy instytut". Kharkiv, 2015. №29 (1138). S. 8 - 12.
9. DSTU 8855:2019. Budivli ta sporudy. Vyznachennya klasu naslidkiv (vidpovidal□nosti). (Buildings and structures. Determination of the class of consequences (liability)) [Na zaminu DSTU-N B V.1.2-16:2013; chynnyy vid 01.12.2019]. Perehlyad. ofits. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2019. 13 s.
10. DSTU-N B V.1.2-18:2016. Nastanova shchodo obstezhennya budivl□ ta sporud dlya vyznachennya ta otsinky yikh tekhnichnoho stanu. (Guidelines for the inspection of buildings and structures to determine and assess their technical condition) [Chynne vid 01.04.2017] Vyd. ofits. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2017. 44 s.
11. DSTU-N B V.1.2-17:2016. Nastanova shchodo naukovykh tekhnichnoho monitorynno budivl□ ta sporud. (Guidelines for scientific and technical monitoring of buildings and structures) [Chynne vid 01.04.2017] Vyd. ofits. Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2017. 58 s.
12. DBN V.1.2-14:2018. Systema zabezpechennya nadiynosti ta bezpeky budivl□nykh ob'ektiv. Zahal□ni pryntsyzy zabezpechennya nadiynosti ta konstruktyvnoyi bezpeky budivl□ ta sporud. (The system of ensuring the reliability and safety of construction projects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures.) [Na zaminu DBN V.1.2-14:2009; chynnyy vid 01.01.2019] Vyd. ofits. Kyiv: DP "Ukrarkhbudininform", 2018. 30 s.
13. DBN V.2.1-10:2018. Osnovy ta fundamenti budivl□ ta sporud. Osnovni polozhennya. (Bases and foundations of buildings and structures. Main provisions) [Chynne vid 01.01.2019] Vyd. ofits. Kyiv: Minrehiion Ukrainy, 2018. 35 s.
14. DBN V.1.1-45:2017. Budivli ta sporudy u skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. Zahal□ni polozhennya. (Buildings and structures in difficult engineering and geological conditions. General provisions) [Na zaminu DBN V.1.1-5-2000; chynnyy vid 01.10.2017] Vyd. ofits. Kyiv: Minrehiion Ukrainy, 2017. 28 s.
15. *Ishchenko Yu.I., Slyusarenko Yu.S., Melashenko Yu.B., Yakovenko M.S., Byen□ I.V.* Heotekhnichnyy monitorynno umovakh ushchil□nenoyi mis□koyi zabudovy. (Geotechnical monitoring in conditions of dense urban development) Nauka ta budivnytstvo. Kyiv, 2020. Tom 25. №3. S. 13-25.
16. *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.
17. *Annenkov A.O.* Perspektivy zastosuvannya BIM-tehnolohiyi pry heodezychnomu zabezpechenni budivnytstva. (Prospects of BIM technology application in geodetic support of construction) *Materialy Mizhnarodnoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi "Heoforum-2022"*, 6–8 kvitnya 2022 roku. 2022. S. 23-26.
 18. *Solomakho V., Vovchok A., Solomakho D.* Monitorynh budivel□nykh konstruksiy yak faktor zabezpechennya bezpechnoyi ekspluatatsiyi budivel□ ta sporud. (Monitoring of building structures as a factor in ensuring safe operation of buildings and structures) *Arkhitektura ta budivnytstvo*. Mins□k, 2010. № 4. S. 110-113.
 19. *Shults R., Soltabayeva S., Seitzkazina G., Nukarbekova Z., Kucherenko O.* (2020) Geospatial Monitoring and Structural Mechanics Models: A Case Study of Sports Structures. 11th International Conference "Environmental Engineering". 2020. Pp. 1-9. (Scopus).
 20. *Gordiuk M., Semynoh M., Holodnov O., Tkachuk I., Ivanov B.* Determination of remaining resource of constructions of buildings after different influences. *Technology Audit and Production Reserves*. 2019. Vol. 5. № 1(49). P. 4–9.
 21. *Gordiuk M., Semynoh M., Holodnov O., Tkachuk I.* Determination of the technical state of buildings and constructions after force and temperature influences. *Technology Audit and Production Reserves*. 2019. Vol. 4. № 1(48). P. 4–10.
 22. *Narizhnyy V.V.* Analiz ta perspektyvy rozvytku avtomatyzovanykh system diahnostryky ta monitorynhu tekhnichnoho stanu budivel□ ta sporud. (Analysis and prospects for the development of automated systems for diagnosing and monitoring the technical condition of buildings and structures) *Budivel□ne vyrobnytstvo*. Kyiv, 2020. № 70. S. 66-71.
 23. *Kuz□mych L.V.* Metody ta zasoby vymiryuvannya napruzhen□ ta deformatsiy skladnykh konstruksiy prykladovoyu systemoy: (Methods and means of measuring stresses and deformations of complex structures with an instrument system) avtoref. dys. ... d-ratekhn. nauk: 05.11.01 / Kyiv: □kyypolitekhnyin-tim. Ihorya Sikors□koho. Kyiv, 2019. 48 s.
 24. *L. Kuzmych.* Current state of tools and methods of control of deformations and mechanical stresses of complex technical systems [Text] / L. Kuzmych; O. Kobylanskyi; M. Duk. // *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, Vol.10808, 2018, 108085J; doi:10.1117/12.2501661 (Scopus).
 25. *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 ta teoriya sporud*. 2022. № 109. S. 416-425.
 26. *Isayev O.P., Kulikovs□ka O.YE., Katushkov V.O.* Vplyv pomylok polozhennya na stiykist□ nesuchoho vertykal□noho stryzhnya velykoyi hnuchkosti. (Influence of position errors on the stability of a load-bearing vertical rod of great flexibility) *Mistobuduvannya ta terytorial□ne planuvannya*. Kyiv, 2022. Vyp. 80. S. 203-209.
 27. *Isayev A.P., Hulyayev Yu.F., Chulanov P.A.* Kompleksnyimontorynhinzhenernykhsporud. (Integrated monitoring of engineering structures) *Mistobuduvannya ta terytorial□ne planuvannya*. Kyiv2020. Vip. 74. S. 162-171.
 28. *Isayev A.P., Hulyayev Yu.F., Chulanov P.A.* Osoblyvosti heodezychnoho monitorynhu riznykh budivel□nykh konstruksiy (Features of geodetic monitoring of different construction structures) *Mistobuduvannya ta terytorial□ne planuvannya*. Kyiv2019. Vip. 70. S. 230-240.
 29. *Isayev A.P., Hulyayev Yu.F., Strilets□ V.S., Chulanov P.A.* Otsinka monitorynhu protsesu deformatsiyi ta osidannya pryamolinyynoho vertykal□noho stryzhnya (Evaluation of monitoring the process of deformation and settlement of a rectilinear vertical rod) *Inzhenerna heodeziya*. 2019. Vip. 67. S. 15-21.
 30. *Isayev A.P., Shul□ts R.V., Hulyayev Yu.F., Strilets□ V.S.* Pryntsypy vymiryuvannya osadu statychno nevyznachenykh konstruksiy (na prykladi pryamolinyynoho vertykal□noho stryzhnya) (Principles of measuring the settlement of statically indeterminate structures (on the example of a rectilinear vertical rod)) *Inzhenerna heodeziya*. Kyiv, 2017. Vip. 64. S. 55-66.
 31. *Snezhkov D.Yu.* Avtomatyzirovanni monitorinh elementov nesushcheho karkasa vysotnoho zdaniya: uchet temperaturnoho faktora (Automated monitoring of bearing frame elements of a high-rise building: temperature factor consideration) *Stroitelnye konstruksyy, zdaniya i sooruzheniya*. 2018. № 4/37. S. 63 – 73.
 32. *Honcharenko Y.A., Riabtev V.N.* Datchyky kontrolya sostoiannya inzhenernykh i stroitelnykh konstruksiy na osnovu optycheskykh volnovodnykh struktur (Sensors of the state control of engineering and building structures on the basis of optical waveguide structures) *Vestnyk komandno-ynzhenernoho instytutu MChS Respublyky Belarus*. 2013. № 2(18). S. 118 – 132.

Isaev O.P., Bondar S.A., Medvedskiy Yu.V., Chulanov P.O., Tsykolenko O.V.

МОНІТОРИНГ СПОРУД З НЕСУЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ У ВИГЛЯДІ ДОВГИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТРИЖНІВ

Розглядається будівельна конструкція, яка у проектному вигляді складається з двох вертикальних прямолінійних взаємодіючих елементів. Один з них навантажуючий, другий несучий. Несучий елемент представлений у вигляді довгого тонкого стрижня, навантаженого зовнішньою осьюовою вертикальною силою. Внаслідок похибок геодезичних вивіряться та монтажних робіт несучий стрижень буде встановлений з деяким нахилом та зміщенням щодо координатних осей. Зовнішнє навантаження на несучий елемент представлене вектором сили, який еквівалентний навантажуючому стрижню. Похибки геодезичних вивіряться та монтажних робіт змінять проектний напрямок лінії дії сили та її проектне положення на несучому елементі. Похилий вектор сили матиме вертикальну та горизонтальну складову сили. Таким чином, лінія дії навантажуючої сили і поздовжня вісь несучого стрижня будуть розташовані під кутом один до одного, що викличе згинальні моменти і поперечні сили в перерізах стрижня. Виникає «зміненна» щодо проекту конструкція. Згинальні моменти та горизонтальні сили в цієї конструкції сприятимуть передчасному вигину стрижня. Нерівномірно нагрітий стрижень також набуває здатності до викривлення. Вплив вказаних факторів може бути посилений, а стійкість стрижня значно ослаблена внаслідок нерівномірного осідання, горизонтального зміщення або крену несучої конструкції через небезпечні екзогенні геологічні процеси. Отже похибки положення елементів, зміни температури, геологічні процеси порушують прямолінійну форму рівноваги несучого стрижня та його положення в просторі. Зміна форми і відносного положення сприяє передчасному виникненню нестійкого стану при зовнішньому зростаючому навантаженні. У змінений конструкції несучий стрижень несподівано може опинитися в критичному напружено-деформованому стані. Завдання моніторингу – відчувати і належним чином фіксувати зміни та динаміку напружено-деформованого стану. Для цього проектується вимірвальні комплекси з певною конфігурацією, що забезпечують з необхідною заданою точністю вимірювання змін фізичного стану елементів будівельних конструкцій.

Ключові слова: довгий стрижень, похибки положення, фактори впливу, стійкість стрижня, НДС, завдання моніторингу.

Isaev O.P., Bondar S.A., Medvedskiy Y.V., Chulanov P.O., Tsykolenko O.V.

MONITORING OF STRUCTURES WITH BEARING ELEMENTS IN THE FORM OF LONG VERTICAL RODS

A building structure is considered, which in the design form consists of two vertical rectilinear interacting elements. One of them is loading, the other is carrying. The bearing element is presented in the form of a long thin rod loaded with an external axial vertical force. Due to the errors of geodetic verification and installation work, the bearing rod will be installed with some inclination and displacement relative to the coordinate axes. The external load on the bearing element is represented by the force vector, which is equivalent to the loading rod. Errors of geodetic verification and installation work will change the design direction of the force line and its design position on the supporting element. An inclined force vector will have a vertical and horizontal force component. Thus, the line of action of the loading force and the longitudinal axis of the supporting rod will be located at an angle to each other, which will cause bending moments and transverse forces in the sections of the rod. A design "changed" in relation to the project is created. Bending moments and horizontal forces in this design will contribute to premature bending of the rod. An unevenly heated rod also acquires the ability to distort. The influence of the specified factors can be increased, and the stability of the rod significantly weakened due to uneven subsidence, horizontal displacement or tilting of the supporting structure due to dangerous exogenous geological processes. Therefore, errors in the position of elements, changes in temperature, geological processes disrupt the linear form of equilibrium of the bearing rod and its position in space. The change in shape and relative position contributes to the premature emergence of an unstable state under an increasing external load. In the changed design, the bearing rod may suddenly find itself in a critical stress-deformed state. The task of monitoring is to sense and properly record changes and dynamics of the stress-strain state. For this purpose, measuring complexes with a certain configuration are designed, which provide with the necessary specified accuracy the measurement of changes in the physical state of the elements of building structures.

Key words: long rod, position errors, influencing factors, rod stability, tensely-deformed state, monitoring tasks.

УДК 528.48

Isaev O.P., Bondar S.A., Medvedskiy Yu.V., Chulanov P.O., Tsykolenko O.V. **Моніторинг споруд з несучими елементами у вигляді довгих вертикальних стрижнів** // Опір матеріалів і теорія споруд: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА. 2023. – Вип. 111. – С. 251 – 262.

Розглядаються фактори впливу на прямолінійну форму рівноваги несучого довгого тонкого стрижня, який при зростаючому навантаженні може передчасно втратити стійкість. Показано, яким повинен бути моніторинг, щоб слідкувати за динамікою напружено-деформованого стану.

Іл. 2. Бібліогр. 32 назв.

UDK 528.48

Isaev O.P., Bondar S.A., Medvedskiy Y.V., Chulanov P.O., Tsykolenko O.V. Monitoring of structures with bearing elements in the form of long vertical rods // Strength of Materials and Theory of Structures: Scientific-and-technical collected articles. – K.: KNUBA. 2023. – Issue 111. – P. 251–262.

The factors influencing the rectilinear equilibrium form of a long thin rod, which may prematurely lose stability under increasing load, are considered. It is shown what kind of monitoring should be performed to follow the dynamics of the tensely-deformed state.

Fig. 2. Ref. 32.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної геодезії ІСАЄВ Олександр Павлович

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

Роб. тел. +38(044) 249-72-51

Мобільний тел.: +38(097) 620-54-41

E-mail: geo_i@ukr.net

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2175-0324>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): асистент кафедри інженерної геодезії БОНДАР Світлана Андріївна

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

Роб. тел. +38(044) 249-72-51

Мобільний тел.: +38(067) 970-28-15

E-mail: bondar.sa@knuba.edu.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9378-6588>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної геодезії МЕДВЕДСЬКИЙ Юрій Вікторович

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

Роб. тел. +38(044) 249-72-51

Мобільний тел.: +38(063) 710-51-80

E-mail: medvedskiy.iuv@knuba.edu.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0342-7088>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): старший викладач кафедри інженерної геодезії ЧУЛАНОВ Петро Олександрович

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

Роб. тел. +38(044) 249-72-51

Мобільний тел.: +38(067) 537-40-29

E-mail: chulanov.po@knuba.edu.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-6735-3770>

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): асистент кафедри інженерної геодезії ЦИКOLENKO Олена Василівна

Адреса робоча: 03037 Україна, м. Київ, Повітрофлотський проспект 31, Київський національний університет будівництва і архітектури

Роб. тел. +38(044) 249-72-51

Мобільний тел.: +38(066) 049-45-19

E-mail: tsykolenko.ov@knuba.edu.ua

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9231-8400>