

УДК 539.3

ЕФЕКТИВНІСТЬ І ПРОБЛЕМИ МОНІТОРИНГУ ВЕЛИКОРОЗМІРНИХ БУДІВЕЛЬНИХ СПОРУД

В.В. Гайдайчук¹,
д-р техн. наук

К.Е. Котенко¹,
аспірант

¹*Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський просп., 31, м. Київ. 03680*

У статті розглянуті загальні проблеми моніторингу технічного стану великорозмірних будівельних споруд. Приводиться аналіз особливостей діючих систем моніторингу та оцінюється їх ефективність залежно від конструктивних особливостей споруди та її призначення. Виділяються можливі недоліки при виборі та доопрацюванні системи моніторингу.

Ключові слова: система моніторингу будівельних конструкцій, напружено-деформований стан, статичний моніторинг, динамічний моніторинг, частота коливань, власні коливання, аксельрометри

Надійність будівельних споруд та безпека людей, що знаходиться в них в значній мірі обумовлені невідступним виконанням представниками експлуатаційних служб вимог регламентів технологічних процесів, перевіркою технічного стану конструкцій споруди і своєчасним прийняттям відповідних заходів, попереджуючих або виключаючих можливість переходу споруди в обмежено працездатний чи аварійний стани.

Відповідно нормативним вимогам, перевірка технічного стану конструкцій являється обов'язковою для унікальних споруд та споруд, що відносяться до класу наслідків СС2 та СС3 [1] та категорій відповідальності конструкцій А, Б [2]. Згідно ДБН В. 1.2-14-2009 системи моніторингу таких будівельних об'єктів повинні розроблятися на стадії проектування або передбачатися правилами експлуатації об'єктів.

Пізнішим нормативом ДБН В.2.5-76:2014 сформульовані загальні вимоги до моніторингових систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення (СРВНСО), конкретизований їх склад, розроблені положення і правила, регламентована взаємодія СРВНСО з другими системами. Передбачені установки локалізації надзвичайних ситуацій та сформульовані вимоги до них. Приведені правила централізованого спостереження за станом СРВНСО, прийняття від неї оповіщень та передачі їх (в разі реальної загрози) наглядовим системам вищого рівня реагування.

Не дивлячись, однак, на значні досягнення в указаній галузі, інженерна практика не має в своєму розпорядженні єдиних універсальних методів і систем моніторингу технічного стану споруд. Базуючись переважно на індивідуальних особливостях будівельних об'єктів, вона не рідко використовує програмне-інструментальне забезпечення, яке не відповідає сучасним вимогам, а нові архітектурно-конструктивні рішення будівель та споруд потребують відповідних коректив в системах моніторингу. Прикладом може бути будівництво висотних інженерних споруд, коли недостатність розрахункової бази для проектування таких об'єктів і закритість несучих конструкцій від прямого візуального спостереження визвали потребу коректування та адаптації існуючих систем моніторингу до нових умов.

Проблемним є також контроль технічного стану великорозмірних будівельних споруд, які по своїм характеристикам не в повній мірі відповідають сучасним будівельним нормам і були введені в експлуатацію раніш. Такі споруди, або не мають моніторингового забезпечення, або системи останнього не відповідають сучасним вимогам. Спостереження технічного стану таких об'єктів являється необхідним і в зв'язку з коректирою нормативної величини снігового навантаження на несучі конструкції споруди, яке практично вдвічі перевищує установлений раніше рівень снігового навантаження [2].

Обстеження технічного стану будівельних споруд представляє собою систему нагляду і контролю, виконуваних відповідно встановленої програми для забезпечення надійного функціонування будівельних споруд за рахунок своєчасного виявлення негативних змін напружено-деформованого стану їх конструкцій, просідання ґрунтових основ, або нахилу споруди, які можуть викликати перехід будівельного об'єкта в обмежено працездатний стан. Відстежується ступінь і швидкість розвитку змін технічного стану, виявляються конструктивні і технологічні дефекти, та інші явища, і приймаються рішення відповідно подальших дій.

Періодичність планового обстеження проводиться відповідно Порядку визначення термінів перших планових обстежень та паспортизації технічного стану будівель (споруд). Термін першого (після введення в експлуатацію) обстеження та паспортизації будівель (споруд) призначається проектною організацією (автором проекту). А в подальшому, наступні обстеження призначаються спеціалізованою організацією, яка виконала перше обстеження, а також у випадках:

- перед прийняттям в експлуатацію будівель (споруд), які мають підвищений рівень відповідальності. Потреба виконання таких обстежень повинна бути обґрунтована;

- при виявленні ознак аварійного стану окремих конструкцій або частин будівель (споруд);
- при суттєвих змінах передбачених проектом навантажень та впливів;
- при плануванні капітального ремонту, реконструкції або технічному переозброєнні;
- при відповідних постановках або розпорядженнях Кабінету Міністрів;
- після виникнення надзвичайних ситуацій (стихійного лиха, техногенної аварії, пожежі та ін.);
- згідно вимогам уповноваженого державного будівельного нагляду;
- за ініціативою власників будівлі (споруди).

При визначенні термінів планових обстежень технічного стану будівель (споруд) обов'язково належить враховувати такі основні фактори:

- рівень безпеки будівель та характеристики їх основ;
- досвід експлуатації аналогічних будівель;
- наявність систем моніторингу будівельних конструкцій.

Схематично загальний алгоритм роботи систем моніторингу будівельних конструкцій приведено на рис.1. Він ґрунтується на порівнянні контрольованих параметрів K_i з розрахунковими їх значеннями K'_i . Діапазон припустимих значень контрольованих параметрів K_i визначається як $K'_i \pm \Delta K_i$, де ΔK_i – діапазон припустимих можливих відхилень контрольованого параметра K_i . Розрахункові значення K'_i визначаються на основі математичного моделювання й уточнюються в рамках науково-технічного супроводу при проектуванні і будівництві об'єкта. У випадку наближення або виходу значень контрольованого параметра K_i за межі припустимих значень $K'_i \pm \Delta K_i$ система моніторингу несучих конструкцій повинна формувати відповідні інформаційні сигнали про напружено-деформований стан несучих конструкцій. У цьому випадку експертна організація, що здійснює науково-технічний супровід, установлює причини виникнення сигналу і видає рекомендації для проведення обстеження, усуненню наслідків для прийняття рішення, що до подальшої експлуатації конструкції.

Щоб уникнути негативних наслідків, пов'язаних з появою аварійної ситуації, схема загального алгоритму роботи автоматизованої системи моніторингу (АСМ) та її типовий склад конкретизується складовими частинами з врахуванням вимог до автоматизованих систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення (СРВНСО) [3], що проілюстровано на рис. 2.



Рис. 1. Загальний алгоритм роботи автоматизованих систем моніторингу (АСМ) будівельних конструкцій

В складі СРВНСО роль джерел первинної інформації (ДПІ) відіграє автоматизований геодезичний комплекс, який під керуванням блоку управління (БУ) здійснює в безперервному режимі вимірювання на вихідні точки та точки спостереження. Первинними являються кути та відстані (H_z , V , D), що відповідають просторовому положенню точок спостереження та вихідних (X , Y , Z).

Роль та функції пристрою комунікації (ПК) відіграє сервер системи. Завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню сервер автоматизованої СРВНСО виконує:

- діагностику комунікації з блоком управління приладом;
- контроль регулярності надходження первинних даних;
- приймання, первинну обробку та збереження даних;
- первинний аналіз та генерацію повідомлень;
- розрахунок поточних зміщень точок спостереження;
- відображення даних поточних вимірювань;

- забезпечення дистанційного авторизованого доступу до даних вимірювань.

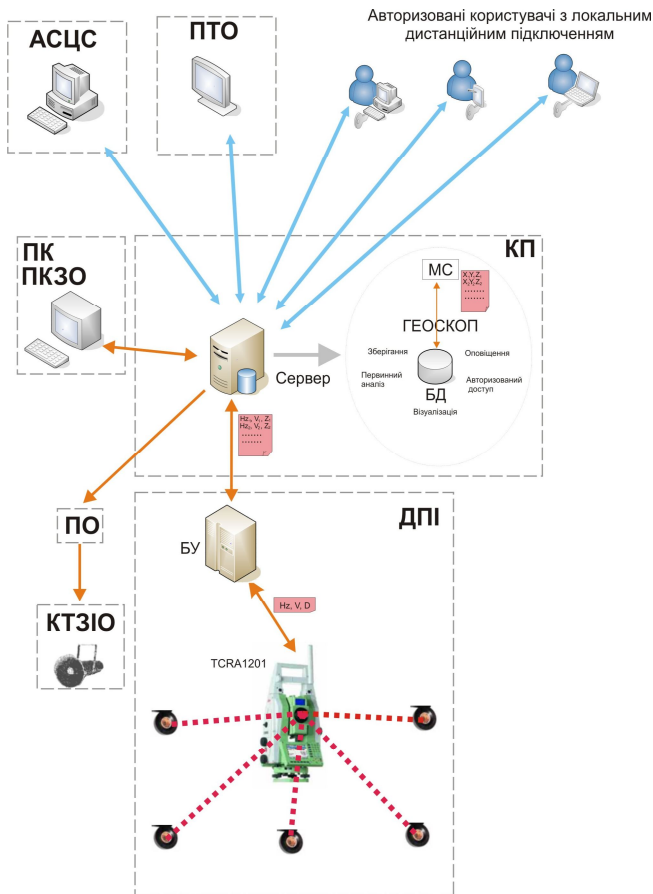


Рис. 2. Структура та взаємодія складових частин АСМ з врахуванням вимог автоматизованих систем раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення (СРВНСО)

Відображення даних поточних вимірювань і побудова графіків архівних даних відбувається на дисплеї комп'ютера віддаленого користувача або на дисплеї сервера, який разом з клавіатурою та мишкою служить в даному випадку зональним пультом управління (ПКЗО) та пультом управління системи.

Функції програмного модуля оповіщення, що входить до складу системи, можуть бути використані для надсилання відповідних повідомлень до автоматизованої системи центрального спостереження (АСЦС), на пульт технічного обслуговування (ПТО) та до територіальної автоматизованої системи централізованого оповіщення (ТАСЦО). Пристроєм оповіщення (ПО) виступає програмний модуль оперативного оповіщення, який генерує та надсилає повідомлення, використовуючи наступні кінцеві технічні засоби (КТЗІО):

- повідомлення електронною поштою – засобами локальної комп'ютерної мережі;
- sms-повідомлення електронною поштою – через підключений модем;
- звукове повідомлення – через гучномовці, що підключені до звукової системи сервера.

Модуль оповіщення може також надсилати інформацію до автоматизованої системи центрального спостереження, на пульт технічного обслуговування засобами дистанційної передачі даних мережею Інтернет.

Обов'язковим компонентом систем моніторингу є контроль найбільш інформаційних параметрів конструкції. Виконуються в основному два види вимірювань: статичні та динамічні.

При статичних—заміряються переміщення та кути поворотів вузлів елементів по яких проводиться аналіз деформацій і напруженого стану конструкцій. При цьому необхідну кількість та місця встановлення датчиків переміщень вибирають по результатам аналізу роботи розрахункової схеми. Відхилення від вертикалі контролюються датчиками нахилу, що встановлюють на верхніх вертикальних елементах конструкцій при цьому використовуються, в основному, інклінометри різних моделей. Просідання ґрунтових основ вимірюється геодезичними приладами (нівелірами, теодолітами) або за допомогою сучасних систем гідростатичного нівелювання.

До недавнього часу статичний моніторинг являвся основним методом оцінки напружено-деформованого стану конструкцій і залишається таким при контролі окремих елементів конструкцій споруди. Однак, його використання з метою оцінки глобального технічного стану великорозмірних та висотних споруд є неефективним, перш за все по економічним міркуванням та значним трудозатратам.

В технічному відношенні він не відображає динамічні впливи, викликані зовнішніми та експлуатаційними факторами, не враховує вплив ряду технологічних та конструктивних відхилень (наяву концентраторів напруження, дефектів монтажу конструкцій, послаблення жорсткого

защемлення) і, саме головне, його результати неможливо апіорі розповсюдити навіть на інші аналогічні конструкції контрольованої споруди.

Для отримання глобальних даних технічного стану споруд використовується динамічний моніторинг, суть якого полягає в експериментальному трьох координатному вимірюванню параметрів руху елементів несучих конструкцій в реальному часі, з подальшою їх обробкою та визначенням параметрів динамічних характеристик конструкцій споруди. В результаті отримуються значення власних частот та логарифмічного декрименту коливань, які порівнюються з їх показниками, отриманими при виконанні попереднього етапу моніторингу [4].

Критерієм безпеки являється незмінність вказаних показників на протязі всього життєвого циклу споруди. Вважається [5], що в початковий період експлуатації (від декількох днів до одного місяця після закінчення будівництва) проходить «приопрацювання» споруди: вибираються люфти в з'єднаннях, притираються пари з'єднань, релаксуються напруження в зонах концентрації, перерозподіляються зусилля в елементах конструкцій, пов'язані з неточністю виготовлення та монтажу. В цей період часу динамічні показники знижуються і в подальшому повинні залишатися практично незмінними. Як що ж, при черговому етапі моніторингу, величина контрольованого параметру виходить за межі більш як 10%, то конструкції будівлі підлягають позаплановому обстеженню та прийняттю відповідних технічних та організаційних заходів.

В сучасній інженерній практиці використовується три основних методи динамічного моніторингу: резонансний, імпульсний та фоновий.

Залежно від складності та унікальності споруди, її призначення, конструктивно-технологічних особливостей, експлуатаційних та інших характеристик, враховуючи технічне забезпечення моніторингу та економічну сторону, використання вказаних методів визначається за допомогою аналізу можливостей та ефективності кожного з них. Найбільш дорогим, трудозатратним, потребуючим використання складного устаткування являється резонансний метод. Отримані за його допомогою показники вважаються найбільш об'єктивними. Цей метод використовується при моніторингу унікальних складних споруд таких, як наприклад плотини гідроелектростанцій, великорозмірні споруди та інші. Але не розповсюджуються на діючі об'єкти атомною енергетики та діючі житлові комплекси.

Резонансний та імпульсний методи передбачають використання складних та дорогих вібраційних установок.

Для діагностики великих спортивних споруд частіше використовується імпульсний метод, а для об'єктів промислової інфраструктури - фоновий. Його суть полягає в оцінці частот і форм

власних коливань об'єкта при дії зовнішніх фонових факторів (імпульсів вітрового навантаження, коливань від дії транспорту, інших). Цей метод являється недорогим та відносно простим в технічному відношенні. В натурних вимірюваннях, при цьому методі використовують акселерометри та велосіметри, в діапазоні вимірювання низьких частот.

В табл. 1 приведено порівняння величин частот трьох перших тонів.

Таблиця 1

Номер тона частоти	Частота власних коливань, Гц		
	Розрахункова за даними результатів розрахунків у програмних комплексах		Експериментальна за даними натурних вимірювань
	SCAD	NASTRAN	
1	0.506289	0.492079	0.49-0.51
2	0.556190	0.53825	0.53-0.57
3	0.660833	0.66865	066-0.69

Моніторинг динамічних характеристик дозволяє оцінити стан будівель і споруд в цілому і виявити значні зміни в конструкціях без візуального огляду кожної конструкції. В цьому відношенні він незамінний при обстеженні технічного стану споруд, насамперед при відсутності візуальних ознак в порушенні працездатності роботи конструкцій.

Основним недоліком динамічного моніторингу являється: відсутність архівних даних контрольованих параметрів споруди та локалізовані відступи від проекту, які не впливають на жорсткісні характеристики конструкцій та слабо проявляються у спектрі власних коливань: недотримання проектної марки бетону, нахил та ослаблення перетину деяких колон і стін, інші. Все це вказує на потребу комплексного підходу [6].

Таким чином, розглянуті системи моніторингу хоч і мають значні відмінності, в цілому являються ефективними і доповнюють одна одну.

Невід'ємною умовою дієздатності систем моніторингу являється обов'язкова наявність програми моніторингу, визначаюча його технологію та конкретизуюча параметри контролю, критичні стани конструкцій та об'єм робіт на кожному конкретному будівельному об'єкті.

Перспективним представляється: подальше удосконалення моніторингових систем в частині програмно-інструментального забезпечення моніторингу, розробці і освоєнні нових вискоєфективних моніторингових систем. Прикладом може бути використання навігаційного поля глобальних супутникових систем, яке має місце в зарубіжній практиці моніторингу [7].

Висновки. При виконанні моніторингу технічного стану конструкцій будівельного об'єкту обов'язковою умовою є програма моніторингу, яка

описує науково-технічну інформацію спостереження за роботою конструкцій.

Найбільш ефективним являється динамічний моніторинг який залежно від програмно-інструментального забезпечення може характеризувати як загальний (цілісний) стан споруди, так і глобальний, включаючий також оцінку технічного стану кожного конкретного конструктивного елемента. Обов'язковим компонентом систем моніторингу складних інженерних споруд являється постійний контроль найбільш інформаційних характеристик споруд. В багатьох випадках такими характеристиками є частоти f_i та логарифмічні декрименти затухання δ_i основних коливальних процесів, виникаючих у спорудах при експлуатації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівельних споруд, будівельних конструкцій та основ: ДБН В.1.2-14-2009 [чинний від 2009-12-01], К. Міністерство регіонального розвитку України 2009.-43с-(Будівельні норми України).
2. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування: ДБН В.1.2-2:2006 [чинний від 2007-01-01], К. Міністерство регіонального розвитку України 2006.-78с-(Будівельні норми України).
3. ДБН В.2.5-76:2014 Автоматизовані системи раннього виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій та оповіщення населення [чинний від 2014-06-01], К. Міністерство регіонального розвитку України 2014.-38с-(Будівельні норми України).
4. Белов І.Д., Гайдайчук В.В., Дедов О.П., Матіаш Н. С. Науково-технічний моніторинг будівель і споруд. Наука і будівництво №3. 2015 с.17-20.
5. Патрикеев А.В. Система динамического мониторинга инженерного сооружения как ключевой элемент его технической безопасности // Вестник МГСУ, 2014, №3. С. 133-140.
6. Белостоцкий А.М. Калічава Д. К., Аул А. А., Нагибович А. И. Адаптируемые конечно-элементные модели в основе динамического мониторинга несущих конструкций высотных зданий. Часть 3. Апробация методики на высотном комплексе, возведенном с выявленным отступлением от проекта, International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, - 2012.-8(4), С.43-52.
7. Ana Paula Camargo Larocca Dynamic Monitoring vertical Deflection of Small Concrete Bridge Using Conventional Sensors And 100 Hz GPS Receivers - Preliminary Results / Jorge Alves Trabanco, João OLYMPIO DE ARAÚJO Neto, André Luiz Cunha// IOSR Jornal of Engineering (IOSRJEN) - 2014.-V04, №9 – P. 9 – 20.

REFERENCES

1. DBN (Building Codes) B.1.2-14-2009. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. General principles of reliability control and constructional safety of buildings, structures and supports. – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009 P. 43 (in Ukraine)
2. DBN (Building Codes) B.1.2-2:2006. National Structural Rules and Regulations. The system of reliability and safety provision of constructional projects. Loads and effects. –Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2006. P. 78. (inUkraine).

3. DBN (Building Codes) B.2.5-76:2014. National Structural Rules and Regulations The automated systems of the early detection threats of the origin emergencies and notification the population. – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014. P. 38. (inUkraine).
4. *Belov I.D.* Scientific and technical monitoring of buildings and structures / *Belov I. D, Gaidaichuk V.V., Dedov O. P., Matiash N.S.* //Science and construction. – 2015. – № 3. – P. 17 – 20.
5. *Patrikeev A. V.* Dynamic monitoring of engineering structures as a key element of its technical security // *Vestnik MGSU.* – 2014.-№3.– P.133 – 140.
6. *Belostotsky A. M.* Adaptive finite element models as the base of dynamic monitoring of tall buildings. Part 3. Aprobation for high rise building with identified deviations from the project / *Belostotsky A. M., Kalichava D K., Aul A. A, Nagibovich A. I.*// International Journal for Computational Civil and Structural Engineering – 2012.-8(4). – P.43-52.
7. *Ana Paula Camargo Larocca* Dynamic Monitoring vertical Deflection of Small Concrete Bridge Using Conventional Sensors And 100 Hz GPS Receivers - Preliminary Results / *Jorge Alves Trabanco, João OLYMPIO DE ARAÚJO Neto, André Luiz Cunha*// IOSR Jornal of Engineering (IOSRJEN) - 2014.-V04, №9 – P. 9 – 20.

Gaidaichuk V.V., Kotenko K.E.

EFFICIENCY AND PROBLEMS FOR MONITORING LARGE-BUILDING STRUCTURES

In the paper common problems of monitoring of a technical condition large-sized buildings are considered. Two main types of monitoring are considered: static and dynamic. Static monitoring is the primary method of assessment of stress-strain state of structures and remains so when controlling for individual elements of structures. However, its use to assess global technical state of large-sized buildings is inefficient. To retrieve global data technical condition of buildings is dynamic monitoring, the essence of which is an experimental three-axis measurement of motion parameters of elements of supporting structures in real time, with their further processing and determination of parameters of dynamic characteristics of structures: natural frequencies and logarithmic decrement of the oscillations. Parameters of dynamic characteristics of structures are compared with the values obtained in the previous stage of monitoring. Monitoring using dynamic characteristics allows to assess the condition of buildings in general, and to identify significant changes in the structures without visual inspection of each elements of structures.

The analysis of features of existing monitoring systems is resulted and their efficiency depending on design features of buildings is estimated. Noted possible deficiencies in the selection and improvement of the monitoring system. The direction of improvement of instrumental support of monitoring systems is given.

An essential condition is the mandatory availability of the monitoring program that determines technology of monitoring and specifies the parameters of control, determines the critical condition of the structures and the amount of work at each particular construction object.

Key words: monitoring system of the building designs, the stress-strain behavior, static monitoring, dynamic monitoring, oscillation frequency, natural vibrations, accelerometers.

Гайдайчук В.В., Котенко К.Е.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА КРУПНОРАЗМЕРНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В статье рассмотрены общие проблемы мониторинга технического состояния большеразмерных строительных сооружений. Приводится анализ особенностей действующих систем мониторинга и оценивается их эффективность в зависимости от конструктивных особенностей сооружения и его назначения. Выделяются возможные недостатки при выборе и доработке системы мониторинга.

Ключевые слова: система мониторинга строительных конструкций, напряженно-деформированное состояние, статический мониторинг, динамический мониторинг, частота колебаний, собственные колебания, акселерометры.
УДК 539.3

Гайдайчук В.В., Котенко К.Е. Эффективность і проблеми моніторингу великорозмірних будівельних споруд // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2016. – Вип. 97. – С. 172 – 182.

У статті розглянуті загальні проблеми моніторингу технічного стану великорозмірних будівельних споруд. Приводиться аналіз особливостей діючих систем моніторингу та оцінюється їх ефективність залежно від конструктивних особливостей споруди та її призначення. Виділяються можливі недоліки при виборі та доопрацюванні системи моніторингу.

Gaidaychuk V.V., Kotenko K.E. Efficiency and problems for monitoring large-building structures // Strength of Materials and Theory of Structures. – 2016. – Issue. 97. – P. 172 – 182.

In the paper common problems of monitoring of a technical condition large-building structures are considered. The analysis of features of existing monitoring systems is resulted and their efficiency depending on design features of a construction and its appointment is estimated. Stand out possible lacks at a choice and debugging of monitoring system.

Гайдайчук В.В., Котенко К.Э., Ковальчик Я.И. Эффективность и проблемы мониторинга крупноразмерных строительных сооружений // Соппротивление материалов и теория сооружений. – 2016. – Вып. 97. – С. 172 – 182.

В статье рассмотрены общие проблемы мониторинга технического состояния большеразмерных строительных сооружений. Приводится анализ особенностей действующих систем мониторинга и оценивается их эффективность в зависимости от конструктивных особенностей сооружения и его назначения. Выделяются возможные недостатки при выборе и доработке системы мониторинга.

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теоретичної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури *ГАЙДАЙЧУК Віктор Васильович*.

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31, к. 433, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теоретичної механіки, *ГАЙДАЙЧУКУ Віктору Васильовичу*.

Роб. тел. +380 (44) 241-55-72;

Моб. тел. +380 (97) 542-94-27;

e-mail: viktor_gaydaychuk@bigmir.net

Автор (вчена ступень, вчене звання, посада): аспірант кафедри теоретичної механіки Київського національного університету будівництва і архітектури *КОТЕНКО Костянтин Едуардович*.

Адреса робоча: 03680 Україна, м. Київ, проспект Повітрофлотський, 31, к. 433, Київський національний університет будівництва і архітектури, кафедра теоретичної механіки, *КОТЕНКУ Костянтину Едуардовичу*.

Роб. тел. +380 (44) 241-55-72;

Моб. тел. +380 (95) 276-04-45;

e-mail: 1969box@mail.ru