

**О. П. ДАВИДЕНКО**, к.т.н., професор «НТУ ХП»;  
**О. О. БЕЗУС**, магістр «НТУ ХП»

## **БЕЗПРОВІДНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД**

У статті розглянуті питання побудови системи моніторингу напружено-деформованого стану будівель та споруд. Враховуючи недоліки провідної системи пропонується використання безпроводної системи з сенсорними вузлами. Наведені переваги даної системи. Обговорюються питання вибору первинних перетворювачів для визначення фізичного та силового впливу, координатора та необхідної елементної бази. Наведена структурна схема безпроводної системи моніторингу та схема сенсорного вузла.

**Ключові слова:** безпроводна система моніторингу, деформація, сенсорний вузол

**Вступ.** В останні роки все частіше трапляються випадки раптового обвалення будівельних конструкцій. Це обумовлено тим, що велика кількість житлових та промислових об'єктів знаходяться в критичному стані. Сучасні тенденції в будівництві, а саме – збільшення поверховості будівель, ущільнення міської забудови, освоєння підземного простору, насичення інженерними комунікаціями незмінно приводять до виникнення негативного техногенного впливу проведеного будівництва на вже побудовані об'єкти, розташовані в прилеглих зонах. У зв'язку з цим особливого значення набуває проблема контролю технічного стану будівель і споруд з метою попередження виникнення аварійних ситуацій. В даний час існує широкий спектр датчиків, які можуть з високою точністю визначати деформації і переміщення конструктивних елементів різних технічних і будівельних об'єктів. Використання відповідних приладів вимірювання деформацій і методів розрахунку дозволить виявити факт виникнення небезпечної ситуації і своєчасно оповістити людей.

Актуальність даної теми визначається необхідністю створення обґрунтованої методики об'єктивної оцінки технічного стану конструктивних елементів, яка дозволила б з високою достовірністю прогнозувати і попереджати виникнення і розвиток аварійних ситуацій. На сьогоднішній день не існує єдиної методики, що дозволяє ефективно протидіяти ймовірній небезпеці. [1]

Однією з важливих вимог до системи контролю є висока надійність і стабільність її роботи протягом всього терміну експлуатації споруди після моменту розгортання системи. В першу чергу ця вимога стосується датчиків деформацій і переміщень, що пояснюється складністю, а часом і неможливістю їх заміни після установки в таких важкодоступних місцях як основи будівель, арматурний скелет несучих будівельних конструкцій, куполи та шпилі, і т.п. Алгоритм звернення до датчиків деформації і зняття

з них сигналу повинен бути простим. Це дозволить з плином часу проводити модернізацію реєструючих приладів без заміни самих датчиків деформацій і переміщень.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** Для контролю напружено-деформованого стану будівель та споруд застосовують дротові та бездротові системи моніторингу. Система моніторингу деформації що побудована на основі дротової системи вимагає проведення дорогих кабельних робіт, наявності спеціально підготовленого персоналу для монтажу та технічного обслуговування. До того ж відсутня можливість компактного розміщення датчиків на об'єкті, надійність системи на 100% залежить від функціонування окремих елементів. Проте останнім часом були розроблені нові технології контролю, більш дешеві при використанні. Одна з таких технологій – безпроводна система передачі інформації з датчиків, які розміщуються на певних, найбільш небезпечних, елементах будівель та споруд.[2]

**Метою статті** є вибір системи моніторингу напружено-деформованого стану будівель, вибір первинних перетворювачів, побудова структурної схеми системи.

**Постановка задачі.** Для того, щоб провести контроль напружено-деформованого стану будівель та споруд використовують різні прилади, які відрізняються способом монтажу і вартістю. Щоб забезпечити контроль не тільки споруджуваних об'єктів, але й тих що вже знаходяться в експлуатації необхідно розробити систему моніторингу, яка буде простою у використанні, контролювати необхідну кількість параметрів, та бути дешевшою за ті, що пропонуються на нашому ринку.

**Матеріали досліджень.** Система моніторингу передбачає встановлення різних типів датчиків на елементах конструкцій будівель і споруд з метою визначення фізичного (вологість і температура) і силового впливу(статичне та динамічне навантаження).

В якості первинних перетворювачів використовуються: струнний тензометр, інклінометр, датчик переміщення і розкриття тріщин, датчик тиску, датчик температури та вологості.

Накладний струнний тензометр розроблений для вимірювання деформації сталевих, залізобетонних, кам'яних або дерев'яних конструкцій. Застосування накладного тензометра: тривалий моніторинг та вимірювання деформації і напруги в палях, підпірних стінках, розпірках, балках, колонах, двутаврах об'єктів різного функціонального призначення (будинків, тунелів, мостів, гребель, насипів). Датчик встановлюється на об'єкт за допомогою зварювання або анкерного кріплення.

Для отримання повноцінної картини деформаційного стану конструкції висотної будівлі необхідно додатково контролювати переміщення елементів конструкції відносно один одного і розкриття тріщин, оскільки ця інформація безпосередньо відображає порушення структурної цілісності конструкції. Даний тип вимірювань здійснюється за допомогою датчиків переміщень.

У загальному вигляді прилади вимірюють відстань між двома контрольними точками, які розташовуються (зазвичай за допомогою анкерного кріплення) на боках стику або тріщини. Якщо необхідно проводити контроль переміщень у двох (вертикально, горизонтально) або більше напрямках, то встановлюється система датчиків, розташованих в різних площинах.[3]

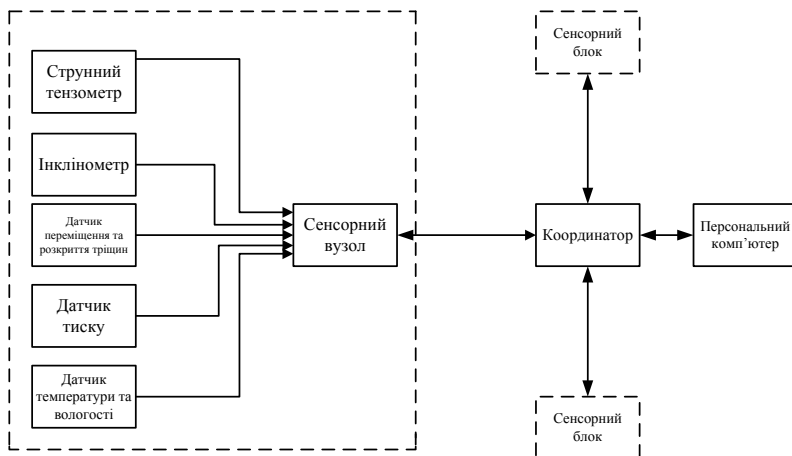


Рис.1 – Структурна схема безпроводної системи моніторингу

Двохосьовий MEMC інклінометр призначений для вимірювання кутів нахилу в діапазоні  $\pm 30^\circ$ . Вимірювання проводиться по двом незалежним осям з малим показником нелінійності у всьому діапазоні вимірювання. Інклінометр застосовується для контролю поздовжнього і поперечного нахилу дамб, мостів, стін, опор, балок, щогл та інших конструкцій, на поверхні яких він закріплений.

Струнний датчик тиску розроблений для вимірювання повного тиску в підставах дамб, мостів, насипів. Використовується для: контролю та аналізу зміни напруги в фундаменті під час будівництва; вимірювання тиску в земних насипах, при взаємодії двох різних матеріалів; зміні контактного тиску в підпірних стінках, сваях, тунелях; дослідження для удосконалення проектування і будівництва насипів, дамб, підземних робіт.

Датчик температури та вологості розроблений для моніторингу показань вологості і температури в промислових, суспільних будівлях та спорудах, покрівлі та ін. В системі використовується цифровий датчик з діапазоном температур від  $-50$  до  $+80^\circ\text{C}$ , та діапазоном вимірюваної вологості від 0 до 100%. [4,5]

Датчики підключаються до сенсорних вузлів для передачі їх в цифровому вигляді на комп'ютер з використанням бездротового інтерфейсу за допомогою комунікаційного середовища бездротової сенсорної мережі ZigBee. Сенсорний вузол побудований на апаратній платформі Arduino Leonardo. Ar-

duino Leonardo – це контролер на базі ATmega32u4. Платформа має 20 цифрових вхід / виходів (7 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ і 12 як аналогові входи), кварцовий генератор 16 МГц, роз'єм мікро-USB.

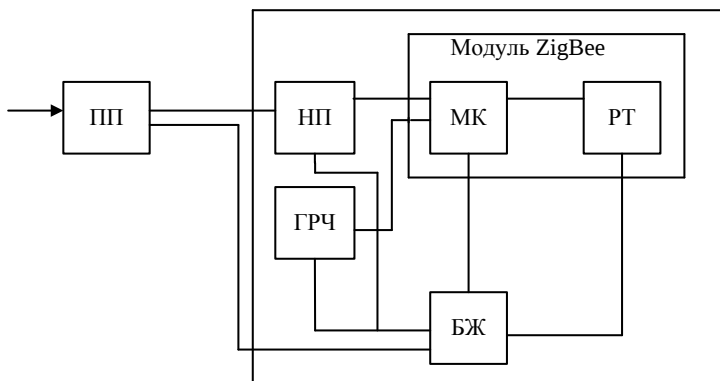


Рис.2 – Структурна схема сенсорного вузла

На схемі використані такі скорочення: ПП – первинний перетворювач, НП – нормуючий підсилювач, МК – мікроконтролер, РТ – радіотрансивер, ГРЧ – годинник реального часу, БЖ – блок живлення.

Для організації бездротової мережі, використовується малопотужний радіочастотний трансивер компанії Atmel, що працює на частоті 2,4 ГГц. Радіотрансивер має дальність зв'язку між сусідніми датчиками, яка визначається умовами поширення сигналів і може досягати відстані до 500 метрів. Завдяки такому рішенню досягається більш висока ступінь надійності в порівнянні з провідними системами передачі даних, оскільки при проведенні будівельних робіт вкрай висока вірогідність механічних пошкоджень кабельних ліній зв'язку.

В якості координатора використовуються мінікомп'ютер Minix Neo X8-H. Координатор опитує сенсорні вузли відповідно до заданої програми, організує і зберігає інформацію в пам'яті. Опрацьовувати дані безпосередньо на координаторі недоцільно, оскільки потужність мікроконтролера координатора для цього мала. Тому необхідно передавати дані з координатора мережі на автоматизоване робоче місце оператора системи через локальне з'єднання або на центральний сервер через мережу спільного використання. [6]

Основою для організації контролю поточного технічного стану будівель і споруд є періодичне проведення обстеження їх технічного стану. Тому немає необхідності встановлювати датчики на довгий час. Система має бути портативною. Це дозволить використовувати її для контролю необмеженої кількості будівель. Це зменшить вартість моніторингу об'єктів, оскільки немає необхідності встановлювати окрему систему на кожен об'єкт. На об'єктах, які підлягають моніторингу необхідно відвести спеціальні місця: встано-

вити анкерні кріплення для струнних датчиків та DIN – рейки для кріплення модульного обладнання.

**Висновки.** Таким чином, запропонована система моніторингу напружено-деформованого стану конструкцій будівель і споруд дозволить отримувати, реєструвати і відображати необхідну інформацію від датчиків. Основні переваги даної системи: відсутність витрат на прокладку кабелів; зменшення витрат на персонал, оскільки роботу може виконати один спеціаліст; можливість розташування у важкодоступних місцях, куди важко та дорого проводити стандартні дротові системи; можливість встановлення системи на всі без винятку види будівельних конструкцій.

На даному етапі система забезпечує лише збір, реєстрацію та відображення показників датчиків, встановлених на різних елементах конструкції для аналізу структурної цілісності будівель. Подальша інтерпретація та аналіз отриманих даних потребують застосування експертних знань та спеціалізованих математичних пакетів.

**Список літератури:** 1. Таракановский В. К. Обзор современных средств мониторинга состояния конструкций высотных зданий. //Таракановский В. К.// Вестник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. – М.: – 2010 – 40 с. 2. Михайлов А. Н. Построение системы мониторинга напряженно-деформированного состояния конструкций зданий и сооружений на основе сенсорных сетей. //Михайлов А. Н.// Вестник Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – СПб – 2013 – 56 с. 3. Горпиченко В. М., Егорова М. И. Мониторинг эксплуатационной пригодности особо ответственных, сложных и уникальных сооружений. //Горпиченко В. М.// Промышленное и гражданское строительство №10 – 2004 – 4 с. 4. Грачев В. И. Автоматизированные системы мониторинга – современные тенденции в проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений //Грачев В. И.// Стройкомплекс Среднего Урала 2011, №9 –37 с. 5. Пичугин С. Ф. Надежность стальных конструкций производственных зданий //Пичугин С. Ф.// Ассоциация строительных вузов – 2011 – 184 с. 6. Михайлов А. Н. Интегрированные системы безопасности строительных объектов и сооружений //Михайлов А. Н.// Электроника: НТБ, Спецвыпуск – М: - 2008 – 92 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Tarakanovskij V. K. *Obzor sovremennyh sredstv monitoringa sostojanija konstrukcij vysotnyh zdaniy.* Vestnik Instituta fiziki Zemli im. O.Ju. Shmidta RAN. – М.: – 2010 – 40 p. 2. Mihajlov A. N. *Postroenie sistemy monitoringa naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija konstrukcij zdaniy i sooruzhenij na osnove sensornyh setej.* Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. – SPb – 2013 – 56 p. 3. Gorpichenko V. M., Egorova M. I. *Monitoring jekspluatacionnoj prigodnosti osobo otvetstvennyh, slozhnyh i unikal'nyh sooruzhenij.* Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo No10 – 2004 – 4 p. 4. Grachjov V. I. *Avtomatizirovannye sistemy monitoringa – sovremennye tendencii v proektirovanii, stroitel'stve i jekspluatacii zdaniy i sooruzhenij.* Strojkompleks Srednego Urala 2011, No9 –37 p. 5. Pichugin S. F. *Nadezhnost' stal'nyh konstrukcij proizvodstvennyh zdaniy.* //Associacija stroitel'nyh vuzov – 2011 – 184 p. 6. Mihajlov A. N. *Integrirrovannye sistemy bezopasnosti stroitel'nyh ob'ektov i sooruzhenij.* Jelektronika: NTB, Specvypusk – М: - 2008 – 92 p.

*Надійшла (received) 26.03.2015*