
DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.43.06.107>
УДК 004.75

О.А. Чемерис, д-р техн. наук
Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України
Україна, 03164, Київ, вул. Генерала Наумова, 15
e-mail: a.a.chemeris@gmail.com

О.В. Бушма, д-р техн. наук, **О.С. Литвин**, канд. фіз.-мат. наук
Київський університет ім. Бориса Грінченка
Україна, 04053, Київ, вул. Бульварно-Кудрявська, 18/2
e-mail: o.bushma@kubg.edu.ua; o.lytvyn@kubg.edu.ua

Мережа автономних модулів для надійного моніторингу складних технологічних об'єктів *

Розглянуто актуальну і перспективну концепцію розробки ІоТ (Industrial Internet-of-Things) — масштабовану неоднорідну мережу, що складається з стаціонарних і мобільних вузлів для моніторингу стану складних розподілених технологічних об'єктів. При проектуванні та створенні такої мережі багато питань необхідно вирішувати комплексно. Це стосується систем управління, каналів передачі інформації, обробки потоків даних, їх аналізу, масштабованості, прийняття рішень. Подано нову концепцію розробки багаторівневої архітектури ІоТ-мережі для моніторингу стану географічно розподілених технологічних об'єктів, яка складається з неоднорідного набору вузлів (стаціонарних і мобільних блоків), оснащених різними датчиками і відеокамерами.

К л ю ч о в і с л о в а: моніторинг, Інтернет речей, безпека промислових об'єктів, розподілена інформаційна система.

Автономні системи дистанційного моніторингу і управління необхідні для надійної роботи складних, особливо розподілених на великих площах або в важкодоступних місцях, технологічних об'єктів і систем різного призначення (сільське господарство, урбаністика, охорона навколишнього середовища, надзвичайні природні і техногенні ситуації тощо), а також для оперативних технологічних або управлінських рішень.

Для контролю за станом об'єкта зазвичай використовують розподілену стаціонарну систему датчиків різного призначення. При цьому необ-

* Робота виконана в рамках гранту за програмою спільних українсько-білоруських наукових проєктів для реалізації у 2021—2022 рр. (Наказ МОН України від 5.11.21 №1189 «Про фінансування спільних українсько-білоруських науково-дослідних проєктів у 2021 р.»)

хідно враховувати баланс між функціональністю і вартістю системи в кожному конкретному випадку. Під функціональністю розуміємо не тільки набір можливостей, але і енергоспоживання, яке повинно бути максимально низьким для дистанційного моніторингу, продуктивності, зокрема при обробці зображень камер і передачі даних в мережі, і захисту від зовнішніх втручань. Швидкість отримання даних і їх повнота залишається проблемою при використанні стаціонарних систем. Можна збільшити число стаціонарних точок, але при цьому ефективність мережі знизиться.

Автономні і дистанційні системи моніторингу і управління дозволяють контролювати в режимі реального часу виробництво і споживання природних ресурсів, а також запобігати викидам шкідливих речовин і надзвичайним ситуаціям або мінімізувати їх шкідливий вплив.

Сучасні промислові підприємства — це складні, географічно розподілені об'єкти. Їх управління вимагає впровадження сучасних комп'ютерних технологій. Системи моніторингу працюють з максимальною ефективністю при інкапсуляції в єдиній корпоративній інформаційній системі. Вони повинні передбачити потенційну небезпеку, що може призвести до руйнування об'єктів і негативного впливу на навколишнє середовище.

Небезпека — це властивість складної технічної системи, яка може бути реалізована у вигляді прямих або непрямих пошкоджень постраждалого об'єкта, поступово або раптово, в результаті збою системи. Аналіз реальних надзвичайних ситуацій, подій і факторів, діяльності людини дозволив виявити такі небезпечні властивості технічних систем [1]:

- потенційно небезпечною є будь-яка технічна система;
- техногенна небезпека існує, якщо добові потоки речовини, енергії та інформації в техносфері перевищують порогові значення;
- джерелами техногенних небезпек є елементи техносфери;
- створені людиною небезпеки діють у просторі та часі;
- техногенні небезпеки негативно впливають на людину, природне середовище і елементи техносфери одночасно.

Техногенні небезпеки погіршують здоров'я людини, призводять до травм, матеріальних втрат і деградації природного середовища. Для усвідомлення небезпеки необхідно знати наступне:

- небезпека дійсно існує;
- об'єкт розташовано в небезпечній зоні;
- об'єкт не має достатніх засобів захисту.

Щоб протистояти техногенним небезпекам, необхідно знати стан об'єкта в кожній точці простору, в якому він перебуває. Використання вимірюваних параметрів віртуальної моделі об'єкта дає можливість прий-

мати рішення про відповідні дії в моменти часу, які передують надзвичайним ситуаціям, що дозволяє запобігти катастрофам. У разі виникнення надзвичайних ситуацій система моніторингу повинна оперативно передбачити план дій щодо мінімізації пошкоджень, захистити персонал і прилеглі до об'єкта території, автоматично виконати низку дій з припинення діяльності об'єкта тощо. Отже, система моніторингу в поєднанні з рішеннями системи прийому є невід'ємною частиною інформаційної структури складних об'єктів, зокрема промислових підприємств.

Моніторинг потенційно небезпечних об'єктів (ПНО) — це безперервний збір інформації, спостереження і контроль об'єкта, включаючи процедури аналізу ризиків, вимірювання технологічних параметрів об'єктів, викидів шкідливих речовин, стану навколишнього середовища в районах поблизу об'єкта. Моніторинг даних та інформації про різні процеси і явища є основою для аналізу та прогнозування ризиків.

Метою прогнозування надзвичайних ситуацій є визначення часу виникнення небезпечної ситуації, можливого місця розташування, масштабів і наслідків для населення і навколишнього середовища. Для споруд і будівель промислових об'єктів, які тривалий час працювали, причиною аварій може стати деградація матеріальних властивостей, кінцеві рівні накопичених пошкоджень, утворення і розмноження тріщин, кавітація зносу [2].

У складних системах аварії мають логічний і ймовірнісний характер. Завчасно може бути складений сценарій катастрофи або невдачі, розроблена відповідна функція логічного ризику і відтворено багаточлен ризику ймовірності. На етапі експлуатації оцінка та аналіз ризику системної аварії виконується за відповідними сценаріями з використанням результатів моніторингу значень зносу елементів, реальних навантажень і вібрацій, особливостей роботи, готовності обслуговуючого персоналу. Кількісна оцінка та аналіз ризиків дозволяють прийняти обґрунтовані рішення про продовження терміну служби системи, розробити пропозиції щодо забезпечення безпечної роботи, організувати підготовку персоналу в надзвичайних ситуаціях.

Моніторинг є невід'ємною частиною систем управління безпекою та ризиками для складних технічних, технологічних, економічних, організаційних та соціальних систем. Як інформаційна технологія моніторинг призначений для оцінки технічного стану складної системи і прийняття рішення про розширення ресурсу і забезпечення безпечної роботи системи з розширеним ресурсом [3]. Наразі інформаційні технології відіграють найважливішу роль у створенні та експлуатації систем моніторингу промислових об'єктів.

Моніторинг складних технологічних об'єктів. Оцінка існуючої структури природної та техногенної системи управління ризиками дозволила виявити, що відносно ПНО моніторинг є постійним збором інформації, наглядом і контролем об'єкта, включаючи процедури аналізу ризиків, вимірювання параметрів технологічного процесу на об'єктах, викидів шкідливих речовин, стану навколишнього середовища на територіях поблизу об'єкта.

Основні оперативно-тактичні завдання, які опрацьовуються системою моніторингу ПНО, можна поділити на три категорії:

1) виявлення ситуації, отримання необхідних даних про безпеку, вивчення причин виникнення пожеж і надзвичайних ситуацій, вжиття заходів щодо забезпечення безпеки;

2) прогнозування розвитку ситуацій, що призводять до пожеж і надзвичайних ситуацій, моделювання динаміки їх розвитку та оцінка ресурсів для їх ліквідації, оцінка необхідності евакуації населення;

3) розробка та аналіз стратегії реагування на пожежі та надзвичайні ситуації, поділ території на ділянки та зони обслуговування і призначення відповідальних за них працівників, визначення кількості необхідних підрозділів та їх складу, розподіл сил і засобів між об'єктами для досягнення тактичних цілей, створення закритих зон і зон патрулювання, організація евакуації (повна або часткова).

Основними функціями системи моніторингу є наступні:

- відстеження з посиланням на об'єкт і реальний час роботи контролерів і датчиків як в режимі події, так і в режимі періодичного обстеження з ініціативи центрального контролера з диспетчерського центру, автоматичний режим включення;

- фіксація подій, що відбуваються на контрольованих об'єктах, з їх прив'язкою до об'єкта, географічними координатами і реальним часом;

- нагальні та попереджувальні сигнали про виникнення надзвичайних ситуацій на контрольованих об'єктах;

- автоматизований аналіз подій у вигляді різних звітів.

Прогнозування також є особливістю такої системи: наслідки аварій на об'єктах з використанням активних хімічно небезпечних речовин і при їх транспортуванні; наслідки аварій на вибухонебезпечних предметах; наслідки аварій на нафто- і газопроводах тощо.

Для контролю за станом об'єкта зазвичай використовується розподілена стаціонарна система датчиків різного призначення. При цьому необхідно враховувати баланс між функціональністю і вартістю системи в кожному конкретному випадку використання.

Прикладом є розробки компанії АВВ, спрямовані на моніторинг технологічного обладнання промислових підприємств. У 2019 р. компанія

сформулювала концепцію інтеграції прогностичної системи моніторингу викидів з традиційними системами безперервного моніторингу викидів в повітря. Це забезпечило широкий спектр аналітичних рішень для різних застосувань в різних галузях промисловості [4].

Таким чином, сучасні системи моніторингу здебільшого стаціонарні і призначені для вимірювання фізичних параметрів, які впливають на стан об'єктів. Вони також сповіщають персонал у разі відхилення контрольованих параметрів від граничних значень.

Пропонується концепція інтегрованої неоднорідної стаціонарно-мобільної системи моніторингу, яка є мережею незалежних пристроїв, здатних до самостійного збору та попереднього аналізу даних, включаючи візуальні дані.

Інтернет речей для моніторингу технологічних об'єктів. Останнім часом концепція Інтернету речей (IoT) стрімко розвивається. Ця концепція заснована на побудові мережі автоматично взаємодіючих автономних пристроїв. Застосування основних положень концепції в системах моніторингу розподілених промислових об'єктів дозволить вирішити такі проблеми, як підвищення якості оцінки ситуації, продуктивності системи, масштабованості, енергоефективності.

Найпростіші системи моніторингу, основані на технології IoT, з'явилися не так давно. Були враховані технічні можливості, бездротова передача даних і безліч можливих типів датчиків для визначення параметрів об'єктів, які були розташовані в окремих кімнатах або будівлях. Датчики були статичними, використовували як дротові, так і бездротові канали зв'язку.

У роботі [5] описано систему моніторингу та контролю в режимі реального часу, розроблену для моніторингу параметрів навколишнього середовища, таких як температура, вологість і показники тиску на будь-якій рослині, а також для контролю за допомогою периферійних систем. Управління здійснювалось з кімнати моніторингу за допомогою бездротового зв'язку за технологією Zigbee, призначеною для дуже чутливих і критично важливих додатків. Віддалено система дозволяє користувачеві ефективно контролювати і управляти офісним обладнанням за допомогою мобільного телефону, відправляючи команди у вигляді SMS-повідомлень і отримуючи інформацію про стан обладнання.

Прикладом використання мобільних пристроїв в рамках систем моніторингу є проект Facebook Aquila зі створення безпілотних літальних апаратів для забезпечення ширококутового доступу в Інтернет мешканцям важкодоступних районів. Проект почався в 2014 р., але в 2018 р. Facebook вирішив припинити створювати інтернет-дрони самостійно [6].

Ще одним прикладом використання Інтернету дронів в рамках IoT є проект компанії Uavia (Франція), спрямований на створення інструмен-

ту, який дозволяє підприємствам проводити повітряні інспекції і спостереження в режимі реального часу з будь-якої точки світу в будь-який час. Передбачалося, що один або кілька користувачів можуть одночасно збирати необроблені аерофотознімки, аналізувати і отримувати дані, необхідні для використання при прийнятті управлінських рішень [7].

У роботах [8, 9] наведено концепцію та структуру системи радіаційного фонових моніторингу післяаварійної ситуації на атомних електростанціях. Система основана на даних множини безпілотних літальних апаратів (БПЛА), оснащених датчиками випромінювання. Дані моніторингу передаються на наземні станції по бездротових каналах зв'язку. Далі через цей інтерфейс система дронів взаємодіє з центром управління і прийняття рішень. Однак впровадження такої системи вимагає вирішення багатьох технічних і організаційних проблем.

Останнім часом також розробляється концепція промислового Інтернету речей (IIoT) або IIoT для корпоративного використання. За цією концепцією визначається система взаємопов'язаних комп'ютерних мереж і промислових об'єктів з вбудованими датчиками і програмним забезпеченням для збору і обміну даними, яка має можливість дистанційного моніторингу і управління в автоматизованому режимі без втручання людини.

Використання принципів IIoT для проектування систем моніторингу складними промисловими підприємствами є перспективним і актуальним завданням. В [10] показано майбутнє IIoT, де структура системи включає мобільні мережі, мережу автомобільних та бездротових датчиків. Вони дозволяють обмінюватися даними між різними мережами. Таким чином, підрозділи в мережі моніторингу можуть робити обмін інформацією і діяти як одна команда.

Рівень і динаміка розвитку IIoT і напрямків його застосування зумовили зростання складності систем управління [11]. Для неоднорідної системи, що містить мережу різних типів пристроїв, на концептуальному рівні стикаємось зі складністю їх формального опису і моделювання процесів та всіх можливих нормальних і ненормальних станів. Це проблеми в структурному і функціональному поданні, складність управління, прийняття рішень і вибір стратегій. При цьому необхідно забезпечити ступінь працездатності, автономності, якості та ефективності передачі даних та їх обробки, а також зворотного зв'язку для управління мережею при різних станах самої мережі моніторингу і об'єктів або середовища моніторингу, що потрібно в кожному конкретному випадку.

В [12] розглянуто проблеми, властиві розподіленим смарт-системам з бездротовою комунікацією, до яких належать системи IIoT, а саме проблеми безпеки системи та захист від зовнішнього втручання.

лів зв'язку, які можуть базуватися на провідних каналах для стаціонарних пристроїв і на основі бездротового зв'язку для мобільних пристроїв. Кожен пристрій оснащено датчиками, які визначають набір вимірюваних параметрів. Наявними каналами зв'язку пристрої передають дані через місцевого диспетчера в систему моніторингу та прийняття рішень. У зворотній бік вони отримують контрольні команди керування. На своєму рівні пристрої приймають рішення про рух, уникнення перешкод тощо. Обмінюючись інформацією через диспетчера, пристрої забезпечують ефективний рух для кращого покриття моніторингового простору.

Таким чином, систему можна відобразити наступним кортежем:

$$N = \langle \mathbf{P}, U(V, S, XY), C \rangle,$$

де \mathbf{P} — набір вимірюваних параметрів; V — швидкість руху пристрою; S — напрямок руху; XY — координати пристрою в просторі; C — набір каналів зв'язку, які з'єднують U в мережу.

Мобільні платформи зараз широко використовуються в різних сферах, зокрема в промисловості (роботари), при ліквідації наслідків техногенних аварій і катастроф (в середовищах, недоступних для людей або небезпечних для них), у військовій справі (розвідувальні роботи) тощо.

Типовою мобільною платформою є малогабаритний дистанційно керований транспортний засіб, що складається з кузова, джерела живлення, трансмісії та рушії. Він оснащений необхідним набором датчиків і фото-та (або) відеокамерою, а також може мати маніпулятор для виконання необхідних операцій. Як рушійні платформи використовуються або колеса з шинами, або гусениці з підресореними котками, що забезпечує ефективне переміщення в різних середовищах і на поверхнях, в тому числі по пересіченій місцевості, пухкому ґрунту, снігу тощо. В економічно обґрунтованих випадках доцільно використовувати БПЛА для виконання конкретних завдань моніторингу в якості рушіїв мобільної платформи.

Набір стаціонарних і мобільних сенсорних вузлів належить до нижчого виконавчого рівня контролю, оскільки визначає якість реалізації процедури моніторингу з практичної системної точки зору. Водночас, виконавчий рівень повністю визначається як проектуванням основних засобів керованої системи (датчиків, технічного зору, зв'язку, руху, фізичних маніпуляцій в контрольованому середовищі), так і проектуванням інформаційно-вимірювальної та контрольної системи (IMCS), організацією роботи всього обладнання.

Гетерогенна мережа, що з'єднує мобільні MSP і стаціонарні SSP сенсорні платформи одну з одною і з IMCS через скоординовану множину дротових WRNS, бездротових WINS, стільникових CLNS і супутникових SANS сегментів, забезпечує надійний зв'язок у віртуальному мереже-

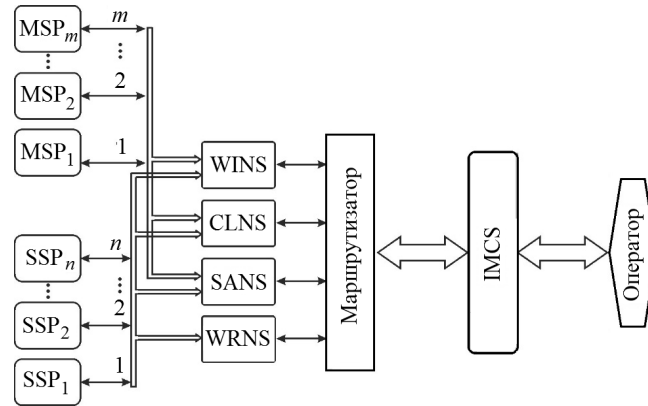


Рис. 2. Функціональна схема гетерогенної мережі автономних пристроїв

вому середовищі (рис. 2). Керування потоком даних забезпечується ІМКС за допомогою маршрутизатора.

Особливістю мережі є те, що мобільні платформи MSP і стаціонарні SSP з'єднані, принаймні, двома її сегментами. Однак мобільні платформи не використовують провідний сегмент WRNS. Принципи множинного підключення формуються при проектуванні мережі з урахуванням інформаційного навантаження відповідної групи платформ, просторової зони їх відповідальності, критичності цієї сфери в плані моніторингу надзвичайних ситуацій, необхідності постачання та підтримки енергії на платформі, а також економічної складової конкретного проєкту. Додаткові інформаційні потоки, що передаються по різних сегментах, забезпечують резервування даних, підтримуючи необхідний рівень інформаційної надійності системи. Управління процедурою резервування покладено на ІМКС.

Загальна надійність системи з використанням її послідовнісної моделі може бути оцінена так [13, 14]:

$$P_{\text{sys}} = P_{\text{hard}} \cdot P_{\text{soft}} \cdot P_{\text{inf}} \cdot P_{\text{erg}},$$

де P_{sys} — ймовірність безвідмовної роботи системи; P_{hard} , P_{soft} , P_{inf} , P_{erg} — ймовірності безвідмовної роботи складових системи: апаратної, програмної, передачі даних, ергатичної (взаємодії з людиною-оператором).

Очевидно, що кілька з'єднань значно підвищують інформаційну складову надійності системи P_{inf} , але певною мірою знижують апаратну P_{hard} та програмну P_{soft} . При цьому слід враховувати збільшення енергоспоживання платформ і витрати на отримання інформації в ІМКС внаслідок дублювання потоків даних більш коштовними каналами передачі.

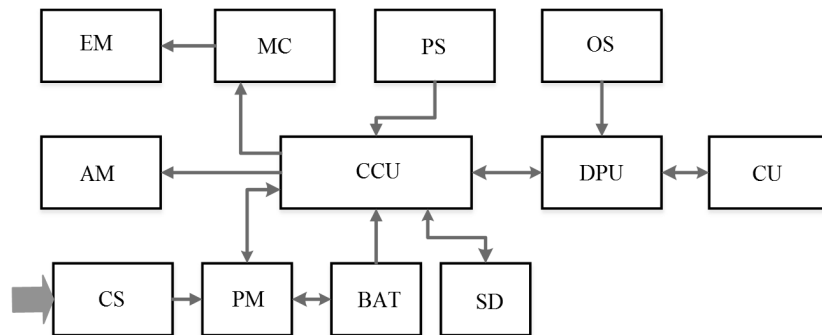


Рис. 3. Блок-схема мобільної платформи

Одним з найважливіших завдань забезпечення надійності ергатичної (за участю людини) системи моніторингу є компонент, який враховує відповідні параметри каналу зв'язку з оператором P_{erg} . Ця складова суттєво залежить від психологічного стану людини за пультом керування та має тенденцію до зниження в критичних та аварійних ситуаціях. Очевидно, що оцінка P_{erg} повинна визначатися окремо для типової та аварійної ситуації на об'єкті.

Принципи формування інформаційного поля засобів виведення візуальних даних суттєво впливають на забезпечення необхідного рівня надійності процесу моніторингу в цілому [15, 16]. Це стає вкрай актуальним в критичних ситуаціях, коли запобігання аварії на контрольованому об'єкті залежить від дій оператора. Оптимальним вибором слід вважати образне подання параметрів моніторингу, включаючи використання шкальних індикаторів або синтез на дисплеї оператора зображень з використанням гістограм.

Такий підхід успішно реалізується на основі програмних або апаратно-програмних рішень [17]. Використання додаткових функціональних можливостей шкальних засобів взаємодії з оператором системи дозволяє значно підвищити надійність зв'язку оператора та технічних засобів [18].

Принципи, покладені в основу апаратного рішення мобільної платформи, суттєво позначаються на ймовірності безвідмовної роботи двох складових системи: апаратної P_{hard} та програмної P_{soft} . Незалежність сенсорної підтримки руху платформи та отримання інформації про контрольований об'єкт дозволяє підвищити загальну надійність системи моніторингу. Структурна схема мобільної платформи, що реалізує цей підхід, зображена на рис. 3.

Така мобільна платформа отримує інформацію із зовнішнього середовища по двом незалежним каналам, в яких інформація обробляється окремо.

Перший канал забезпечує функціонування самої платформи. Він використовує дані, отримані від сенсорів платформи PS. Цей комплект складається з контактних та ультразвукових датчиків і сенсора швидкості, на які покладена задача виявлення порешкод та факту відриву платформи від поверхні. Обробка отриманої інформації відбувається в центральному керуючому блоці CCU. Він відповідає за обробку даних щодо поточного стану платформи та координацію роботи усіх її складових.

Другий канал використовується для моніторингу. Інформація про контрольований об'єкт збирається блоком сенсорів OS, до складу якого включено відеокамеру, датчики температури, вологості, газів, електромагнітного поля, пірометри тощо, відповідно до технічного завдання на систему моніторингу. Отримана інформація обробляється в блоці DPU, який зменшує потоки даних, що підлягають передачі до центрального вузла системи. Підготовлені дані про контрольований об'єкт передаються комунікаційними засобами CU. Інформація про стан систем платформи від центрального керуючого блоку CCU також передається на центральний вузол.

Рух платформи забезпечується електродвигунами EM, керованими окремою підсистемою платформи MC. Такий розподіл функцій розвантажує центральний керуючий блок CCU, підвищуючи надійність його функціонування. У випадку аварійної ситуації на платформі (перевертання, пошкодження, збій системи керування тощо) автоматично або за сигналом з пульта оператора вмикається аварійна сигналізація платформи AM, що забезпечує швидкий пошук та усунення несправності оперативним персоналом.

Для живлення платформи використовуються акумуляторні батареї ВАТ. Їх стан контролюється блоком PM, який надає відповідні відомості блоку CCU та керує заряджанням від зовнішніх джерел енергії через автоматизовану контактну систему CS.

Найбільш важливі дані моніторингу, критична інформація, журнали подій зберігаються в накопичувачі SD. Необхідні відомості можуть бути отримані з нього при технічному обслуговуванні персоналом або оперативно через засоби комунікації CU безпосередньо на пульт керування системою.

Дані моніторингу та службова інформація системи, отримана з периферійних вузлів, збирається і накопичується на центральному вузлі системи. Обробка цієї інформації спрямована на створення актуальної динамічної моделі технологічного об'єкта, на якому організовано процес моніторингу, і навколишнього середовища. Модель в режимі реального часу відображає поточний стан і фіксує прояви критичних і близьких до них ситуацій за певними параметрами.

Особливістю створеної динамічної моделі є високий рівень деталізації і надійності, що формується на основі відповідної інформації одночасно як зі стаціонарних, так і з мобільних вузлів системи.

Одним з найактуальніших завдань є програмування траєкторії мобільних платформ. У відомому детермінованому середовищі найбільш ефективним є використання відстані як основного параметра для контролю руху. Однак такий підхід в раніше невідомому зовнішньому середовищі може призвести до значних помилок і, зрештою, до зіткнень з перешкодами.

Датчики зазвичай вирішують цю проблему так: логіка управління трансформується в умови управління і навігації за пам'ятками, визначеними сенсорною системою. При цьому опис контрольної мети може здійснюватися і в інших термінах (наприклад, «рухатися прямо вперед до появи перешкоди, виявленої ультразвуковим датчиком»). Такий підхід реалізується на основі дерева рішень. Вихідними даними для цього є побудова інформаційного простору робочого середовища платформи з використанням сенсорних елементів для навігації, управління рухом, формування відповідної поведінки, а також можливий вплив на навколишнє середовище за допомогою маніпуляторів.

Траєкторії руху мобільних сенсорних елементів оперативно коригуються за допомогою системи відповідно до виявлених критичних і близьких до них станів технологічного об'єкта і навколишнього середовища. Така конфігурація системи дозволить оперативно виявляти та запобігати аварійним ситуаціям на технологічному об'єкті, адекватно реагувати на такі випадки, підвищувати ефективність роботи оперативного персоналу, швидко та адекватно нейтралізувати критичні ситуації за допомогою втручання відповідних аварійних служб.

Поточні ситуації на об'єкті моніторингу оцінюються за чотирма рівнями: червоний, помаранчевий, жовтий і зелений.

Зелений рівень відповідає нормальній ситуації, а червоний рівень — критичній.

Жовтий рівень направляє додаткові мобільні сенсорні платформи до джерела (джерел), генеруючи відхилення від нормального стану системи.

Помаранчевий рівень, оцінений як передкритичний, вимагає втручання оператора ІМCS і термінової концентрації у відповідних місцях датчиків і платформ з маніпуляторами, щоб не допустити виходу ситуації на червоний рівень.

У критичній ситуації (червоний рівень) необхідно залучити максимально можливу кількість мобільних платформ для моніторингу подій і підключення оперативного персоналу для термінових дій щодо запобігання аварійній ситуації.

Отже, при проектуванні системи моніторингу складних об'єктів вирішуються завдання створення мережі стаціонарних і рухомих пристроїв, оснащених різними датчиками, з'єднаних дротовими і бездротовими каналами зв'язку. Вирішуються такі завдання як оптимальне розміщення і траєкторія руху, обмін даними між вузлами, попередня обробка даних і прийняття рішень з використанням цих даних і віртуальної моделі об'єкта тощо. Вузли системи передають поточну інформацію, в тому числі візуальну, в підсистему для прийняття рішень і відображення реального стану об'єкта на його віртуальній моделі. Особливе значення має обробка відеопотоків з багатьох камер, встановлених на системних пристроях, особливо рухомих. Відповідно до конкретних параметрів контролюваного об'єкта подається відеоінформація на монітори диспетчерського центру управління для чіткого відображення поточного стану об'єкта.

Висновки

Надійна система моніторингу будується на основі комплексної інтеграції технічних засобів, які отримують дані з об'єкта і передають їх на центральний вузол. На них поширюються жорсткі вимоги до відповідного набору параметрів. При цьому ефективним є використання пулу стаціонарних і мобільних мультисенсорних платформ з різними рушіями. Передача отриманих даних здійснюється за допомогою гетерогенної мережі, яка одночасно використовує провідні, бездротові, стільникові та супутникові технології. Управління дублюванням даних, підвищення рівня їх інформаційного вмісту та організація паралельних каналів передачі здійснюється центральним вузлом системи.

Алгоритми, що використовуються для підвищення достовірності й адекватності інформації, визначаються рівнем критичності ситуації, що виникла на контролюваному об'єкті.

У критичній і аварійній ситуації роль відеопотоків збільшується, а вимоги до надійності прийняття рішень істотно підвищуються. Використання образного подання інформації та шкальних індикаторних засобів забезпечує необхідний рівень швидкості та надійності зчитування даних, прискорює прийняття правильних рішень у надзвичайних ситуаціях.

Таким чином, систему моніторингу розроблено за функціональними принципами неоднорідної інфраструктури, що складається із стаціонарних і мобільних пристроїв, оснащених відеокамерами і набором датчиків для збору інформації про стан об'єкта. Ця інфраструктура також включає в себе систему відеоспостереження, зберігання та обробку потоків відеоінформації, а також прийняття рішення про якість функціонування великої технічної системи. Запропонований підхід дозволяє отримати швидку та адекватну реакцію системи на зміну стану контролюваного об'єкта та запобігти виникненню аварійних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Мосягин А.А.* Мониторинг потенциально опасных объектов на основе логико-вероятностного моделирования. Дис. канд. техн. наук. Москва, МВД РФ, 2009, 212 с. Режим доступа: <https://tekhnosfera.com/view/309856/a?#?page=1>
2. *Соложенцев Е.Д.* Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб.: Изд. дом "Бизнес-пресса", 2004, 432 с.
3. *Ткаченко Т.Е.* Мониторинг промышленных объектов как основа предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты, 2013. №1. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoringpromyshlennyh-obektov-kak-osnova-preduprezhdeniya-chrezvychaynyh-situatsiy-tehnogennogoharaktera>.
4. Predictive Emission Monitoring Systems Monitoring Emissions from Industry. // ABB measurement & analytics, 2019, 8 p. Режим доступа: https://library.e.abb.com/public/8d5f837418774f4a83d61cbc935c49e0/PB_PEMS-EN_A.pdf
5. *Rakesh Trivedi, Vishal Vora.* Real-Time Monitoring and Control System for Industry // International Journal for Scientific Research & Development (IJSRD), 2013, Vol. 1, Issue 2, pp. 142—147. ISSN (online): 2321-0613. Режим доступа: https://www.academia.edu/6792977/Real_Time_Monitoring_and_Control_System_for_Industry
6. *Russell John.* Facebook is reportedly testing solar-powered internet drone s a ga-i nthis time with Airbus. // TechCrunch. Retrieved. Режим доступа: <https://techcrunch.com/2019/01/21/facebook-airbus-solar-drones-internet-program/>.
7. UAVIA Releases Its «Uavia Inside» Program For Drone Solutions Providers. Paris, France, 2019May 07th. Режим доступа: https://www.uavia.eu/PR_20190506_UA-VIA_INSIDE
8. *Kharchenko V., Yastrebenetsky M., Fesenko H. et al.* NPP Post-Accident Monitoring System Based on Unmanned Aircraft Vehicle: Reliability Models // Nuclear and Radiation Safety, 2017, No 4(76), pp. 50—55. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2017.4\(76\).08](https://doi.org/10.32918/nrs.2017.4(76).08)
9. *Sachenko A., Kochan V., Kharchenko V. et al.* NPP Post-Accident Monitoring System Based on Unmanned Aircraft Vehicle: Concept, Design Principles. // Nuclear and Radiation Safety, 2017, №1(73), pp. 24—29. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.1\(73\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.1(73).04)
10. *Younana M., Housseina E.H., Elhoseny M., Alia A.A.* Challenges and recommended technologies for the industrial internet of things: A comprehensive review //Measurement, 2020, Vol. 151, p. 107-198. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107198>
11. *Grösser S.N.* Complexity Management and System Dynamics Thinking. // In: Grösser S., Reyes-Lecuona A., Granholm G. (eds) Dynamics of Long-Life Assets. Springer, Cham, 2017, pp 69-92. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45438-2_5
12. *Певнев В.Я., Торяник В.В., Харченко В.С.* Кібербезпека безпроводових смарт-систем: канали втручання та радіочастотні вразливості. // Радіоелектронні і комп'ютерні системи, 2020, № 4(96), с. 79—92. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2020.4.07>.
13. European Standard EN 1990:2002+A Eurocode — Basis of Structural Design. -Brussels: European Committee for Standardization, 2005, 119 p. Режим доступа: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>
14. ДСТУ 2862-94 Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. Київ: Держстандарт, 1994 р., 16 с. Режим доступа: [https:// dnaop.com/html/43856/doc-ДСТУ_2864-94](https://dnaop.com/html/43856/doc-ДСТУ_2864-94)
15. *Vincent G.* Duffy Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering. ISBN 9781420063523. CRC Press, 2016, 1006 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420063523>

16. Cruz, Pedro Miguel Amaral Melo da. Semantic figurative metaphors in information visualization (дис.), Univ. da Coimbra (Portugal), 2016, 218 p. Режим доступу: <http://hdl.handle.net/10316/31166>
17. Bushma A.V., Turukalo A.V. Software controlling the LED bar graph displays // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics, 2020, 23 (3), pp. 329—335. DOI: <https://doi.org/10.15407/spqeo23.03.329>
18. Бушма О.В., Турукало А.В. Багатоелементні шкальні індикаторні пристрої у вбудованих системах // Кібербезпека: освіта, наука, техніка, 3 (11), 2021, с. 43—60. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.4360>

Отримано 16.11.21

REFERENCES

1. Mosyagin, A.A. (2009), “Monitoring of potentially dangerous objects based on logical and probabilistic modeling”, Abstract of Cand. Sci. (Tech.), Academy of the Ministry of Internal Affairs, Moscow, Russia, available at: <https://tekhnosfera.com/view/309856/a?#?page=1>
2. Solozhentsev, E.D. (2004), *Sisenarnoye logiko-veroyatnostnoye upravleniye riskom v biznese i tekhnike* [Scenario logic-probabilistic risk management in business and technology], Izd. dom “Biznes-pressa”, Saint Petersburg, Russia.
3. Tkachenko, T.E. (2013), “Monitoring of industrial objects as the basis for the prevention of techno-genic emergencies”, *Scientific and educational problems of civil protection*, Vol. 1, pp. 62-65, available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoringpromyshlennyh-obektov-kak-osnova-preduprezhdeniya-chrezvychaynyh-situatsiy-tehnogennogoharaktera>
4. Predictive Emission Monitoring Systems Monitoring Emissions from Industry (2019), ABB measurement & Analytics, available at: https://library.e.abb.com/public/8d5f837418774f4a83d61cbc935c49e0/PB_PEMS-EN_A.pdf
5. Rakesh, T. and Vishal, V. (2013), “Real-Time Monitoring and Control System for Industry”, *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*, Vol. 1, no. 2, pp. 142-147, available at: https://www.academia.edu/6792977/Real_Time_Monitoring_and_Control_System_for_Industry
6. Russell, J. (2019), “Facebook is reportedly testing solar-powered internet drones again — this time with Airbus”, *TechCrunch*. Retrieved, available at: <https://techcrunch.com/2019/01/21/facebook-airbus-solar-drones-internet-program/>
7. UAVIA Releases Its “Uavia Inside” Program For Drone Solutions Providers (2019), Paris, France, available at: https://www.uavia.eu/PR_20190506_UAVIA_INSIDE
8. Kharchenko, V., Yastrebenetsky, M., Fesenko, H., Sachenko, A. and Kochan, V. (2017), “NPP Post-Accident Monitoring System Based on Unmanned Aircraft Vehicle: Reliability Models”, *Nuclear and Radiation Safety*, Vol. 4, no. 76, pp. 50-55. DOI: [https://doi.org/10.32918/nrs.2017.4\(76\).08](https://doi.org/10.32918/nrs.2017.4(76).08)
9. Sachenko, A., Kochan, V., Kharchenko, V., Yastrebenetsky, M., Fesenko, H. and Yanovsky, M. (2017), “NPP Post-Accident Monitoring System Based on Unmanned Aircraft Vehicle: Concept, Design Principles”, *Nuclear and Radiation Safety*, Vol. 1, no. 73, pp. 24-29, available at: [https://doi.org/10.32918/nrs.2017.1\(73\).04](https://doi.org/10.32918/nrs.2017.1(73).04)
10. Younana, M., Housseina, E.H., Elhoseny, M. and Alia, A.A. (2020), “Challenges and recommended technologies for the industrial internet of things: A comprehensive review”, *Measurement*, Vol. 151, available at: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107198>
11. Grösser, S.N. (2017), *Complexity Management and System Dynamics Thinking*, Springer, Cham, Switzerland, available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-45438-2_5
12. Pevnev, V.Ya., Toriyanik, V.V. and Kharchenko, V.S. (2020), “Cybersecurity of wireless smart systems: channels of interference and radio frequency vulnerabilities”, *Radioelektronni i komp'yuterni systemy*, Vol. 4, no. 96, pp. 79-92, DOI: 10.32620/reks.2020.4.07

13. EN 1990:2002 E, Eurocode — Basis of Structural Design, CEN (2005), available at: <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>.
14. SSTU 2862-94 Reliability of equipment. Methods of calculating reliability indicators. General requirements, available at: https://dnaop.com/html/43856/doc-ДСТУ_2864-94.
15. Vincent, G. Duffy (2016), Handbook of Digital Human Modeling: Research for Applied Ergonomics and Human Factors Engineering, CRC Press. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781420063523>
16. Cruz, Pedro Miguel Amaral Melo da (2016), “Semantic figurative metaphors in information visualization”, Abstract of Cand. Sci. (Tech.), Coimbra, Portugal, available at: <http://hdl.handle.net/10316/31166>.
17. Bushma, A.V. and Turukalo, A.V. (2020), “Software controlling the LED bar graph displays”, *Semi-conductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, Vol. 23, no. 3, pp. 329-335, available at: <https://doi.org/10.15407/spqeo23.03.329>.
18. Bushma, O.V. and Turukalo, A.V. (2021), “Multi-element scale indicator devices in embedded systems”, *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika*, Vol. 3, no. 11, pp. 43-60. DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.11.4360>

Received 16.11.21

O.A. Chemerys, O.V. Bushma, O.S. Lytvyn

NETWORK OF AUTONOMOUS MODULES FOR RELIABLE MONITORING OF COMPLEX INDUSTRIAL FACILITIES

Authors consider the relevant and perspective IIoT (Industrial Internet-of-Things) development concept - a scalable heterogeneous network consisting of fixed and mobile nodes for monitoring the state of complex distributed technological objects. Many issues must be solved comprehensively at designing and creating such a network. This is especially true for control systems, data transmission channels and data stream processing, their analysis, scalability, decision making. The paper describes a new concept for development of a multi-level architecture IoT network for monitoring the state of geographically distributed technological objects, consisting of a heterogeneous set of nodes (stationary and mobile units) equipped with various sensors and video cameras.

Keywords: monitoring, Internet of things, security of industrial facilities, distributed information system.

ЧЕМЕРИС Олександр Анатолійович, д-р техн. наук, ст. наук. співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова НАН України. В 1982 р. закінчив Київський політехнічний інститут. Область наукових досліджень — розподілені інформаційні та обчислювальні системи, високопродуктивні обчислення та автоматичне розпаралелювання задач.

БУШМА Олександр Володимирович, д-р техн. наук, професор кафедри комп'ютерних наук і математики Київського університету ім. Бориса Грінченка. В 1976 р. закінчив Київський політехнічний інститут. Область наукових досліджень — інформаційно-вимірні системи, біосенсорика, ергатичні системи.

ЛИТВИН Оксана Степанівна, канд. фіз.-мат. наук, зав. кафедри комп'ютерних наук і математики Київського університету ім. Бориса Грінченка. В 1993 р. закінчила Прикарпатський національний університет ім. Василя Стефаника. Область наукових досліджень — інтернет речей, штучні нейронні мережі.