

## МОНІТОРИНГ ОБ'ЄКТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

**Бабак В.П.**, член-кореспондент НАН України

*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, 03680, Україна*

Розглянуто засади створення і практичного використання мобільних інформаційно-вимірвальних систем моніторингу характеристик довкілля об'єктів теплоенергетики та можливості використання з цією метою безпілотних літальних апаратів.

Рассмотрены основы создания и практического использования мобильных информационно-измерительных систем мониторинга объектов теплоэнергетики и возможность использования с этой целью беспилотных летательных аппаратов.

Considered principles of creation and practical use of mobile information and measurement systems to monitor environmental characteristics of thermal power facilities and the possibility of using this purpose unmanned aerial vehicles.

Бібл. 6, рис. 7.

**Ключові слова:** моніторинг технічного стану, об'єкти теплоенергетики, безпілотні літальні апарати, інформаційно-вимірвальні системи.

### Вступ

Важливою складовою комплексної проблеми забезпечення енергетичної стійкості і незалежності України є організація постійного моніторингу об'єктів теплоенергетики. До числа останніх належать теплові електростанції (ТЕС) та теплові мережі. Як відомо, функціонування значної частини потужних теплогенеруючих об'єктів супроводжується викидом в атмосферу шкідливих речовин та випромінювань, а робота теплових мереж – зміною температурних полів середовища. Тому концентрація та рівень шкідливих домішок та випромінювань в атмосфері в околі ТЕС і конфігурація теплових полів теплотрас є зручними інтегральними характеристиками, за якими можна опосередковано і дистанційно виконати оцінювання технічного стану та режимів роботи об'єктів теплоенергетики, виявити небезпечні зміни в їх роботі на ранніх стадіях розвитку аварійних ситуацій. Отримання цих характеристик ускладнено такими особливостями об'єктів як їх розгалуженість у просторі на десятки і сотні кілометрів, розташування у важкодоступних місцях, існування кінцевої ймовірності виникнення техногенної небезпеки, що передбачає можливість моніторингу в умовах значного перевищення гранично допустимих для людини норм і доз шкідливих речовин і випромінювань.

До теперішнього часу залишаються недостатньо розробленими теоретичні та методологічні основи проектування і практичного використання мобільних інформаційно-вимірвальних систем (ІВС) контролю

характеристик довкілля об'єктів теплоенергетики. В той же час результати моніторингу довкілля об'єктів енергетики у передових країнах світу [1-3] показали особливу актуальність і необхідність оперативного дистанційного контролю шкідливих домішок в атмосфері в околі ТЕС, дистанційного контролю стану теплотрас тощо. Нові можливості розв'язання цих завдань з'явилась із початком використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА).

Створення та практичне застосування мобільних ІВС для дистанційного контролю на базі БПЛА забезпечить використання можливостей сучасних безлюдних технологій контролю та вимірювань в автоматизованому режимі, функціонування систем у важкодоступних місцях та за умов техногенної небезпеки, багатфункціональність (адаптацію) призначення за рахунок зміни модулів сенсорних підсистем, проведення динамічних вимірювань у 3D просторових координатах [3,4].

### Результати досліджень

В залежності від характеристик (швидкість і напрямок вітру, атмосферний тиск, температура та ін.) метеорологічних полів, а також від кількості, об'єму та наявності тих чи інших забруднюючих речовин, що надходять з ТЕС, здійснюється їх перенесення у певних напрямках та на певні відстані з подальшим опаданням на зелені насадження та поверхню землі (грунт, водна поверхня) шкідливих та небезпечних речовин. Схематично цей процес відображено на рис. 1.

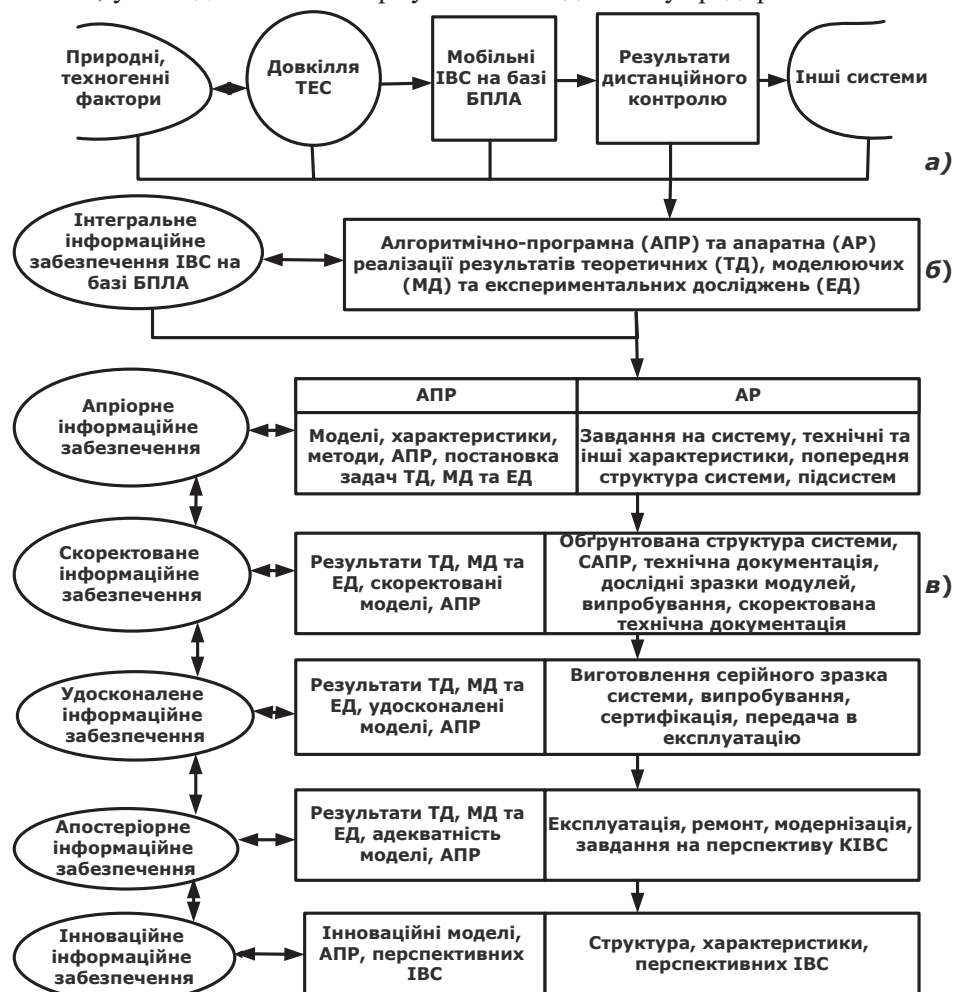


*Рис. 1. Схеми процесу розповсюдження забруднень.*

Ступінь забруднення площин ґрунту, зелених насаджень або власне атмосфери залежить від режиму роботи (штатний, аварійний або катастрофа) ТЕС. Найбільший питомий викид на одиницю виробленої електроенергії дає вугільна станція. У вугіллі містяться природні радіоактивні речовини – торій, два довгоживучі ізотопи урану, продукти їх розпаду (радій, радон і полоній), а також довгоживучий радіоактивний ізотоп калію – калій-40. В процесі спалювання вугілля вони практично повністю потрапляють у зовнішнє середовище. При цьому питома радіаційна активність викидів вугільних ТЕС у 5...10 разів вище, ніж на АЕС. Значна частка природних радіонуклідів, що містяться у вугіллі, скупчується в шлакових відвалах ТЕС і потрапляє в організм людини по харчових ланцюжках після розчинення водою. У тонні золи на ТЕС міститься до 100 г радіоактивних речовин. Викиди ТЕС містять, головним чином, елементи, які беруть активну участь у життєвому циклі. Концентрація багатьох специфічних речовин, яким притаманна висока біологічна небезпека, у викидах ТЕС не нормується.

В процесі спалювання вугілля, крім золи і сажі, утворюються двоокис вуглецю, що створює парниковий ефект; токсичні гази (оксиди вуглецю, сірки, азоту та ванадію), що викликають кислотні дощі і кислотні отруєння; складні поліциклічні ароматичні вуглеводи канцерогенного впливу (бензапірен і формальдегід); пари соляної та плавикової кислот; токсичні метали (миш'як, кадмій, ртуть, свинець, талій, хром, натрій, нікель, ванадій, бор, мідь, залізо, марганець, молібден, селен, цинк, сурма, ко-балът, берилій), які можуть викликати в 1000 разів більше смертей, ніж ядерні відходи.

Основним джерелом забруднення довкілля ТЕС під час роботи як у штатному, так і в аварійному режимах є топково-котельне обладнання (пальники, камери згоряння, котли та ін.). Їх робота супроводжується викидом в атмосферу продуктів згоряння органічного палива (вугілля, мазут, газ). Негативний вплив на довкілля чинить також і викид відпрацьованого пару, частина якого потрапляє у довкілля після роботи парових турбін і охолодження у градирнях.



**Рис. 2. Структура етапів створення та використання інформаційного забезпечення при розробленні та експлуатації мобільних ІВС на базі БПЛА:**  
**а) об'єкти та предмети дослідження; б) предмети розроблення;**  
**в) етапи створення та використання інформаційного забезпечення.**

Крім перелічених вище складових, що забруднюють довкілля в процесі роботи обладнання ТЕС, виникають локальні шкідливі складові, які утворюються внаслідок роботи обладнання для підготовки палива (вугілля) та хімічного очищення води. Це, перш за все, шумовібраційні та хімічні складові. В результаті роботи генераторів, трансформаторів, іншого перетворюючого та розподільчого обладнання виникають також окремі локальні шкідливі складові, які пов'язані з електромагнітними, шумовібраційними та тепловими процесами.

При виникненні аварійних ситуацій (пошкодження топково-котельного обладнання, системи димових фільтрів та ін.) можливе різке посилення забруднюючого впливу на довкілля продуктами згоряння ТЕС. Локальне забруднення виникає також внаслідок аварій потужних трансформаторів, що може супроводжуватись викидом трансформаторного мастила і пожежами.

Використання спеціалізованих ІВС додатково до існуючих методів і засобів моніторингу довкілля і обладнання ТЕС дає можливість (у тому числі і з використанням БПЛА) здійснювати дистанційний багатофункціональний моніторинг, який дозволяє:

- вимірювати ступінь концентрації небезпечних продуктів згоряння (СО, частки золи, диму та ін.); ви-

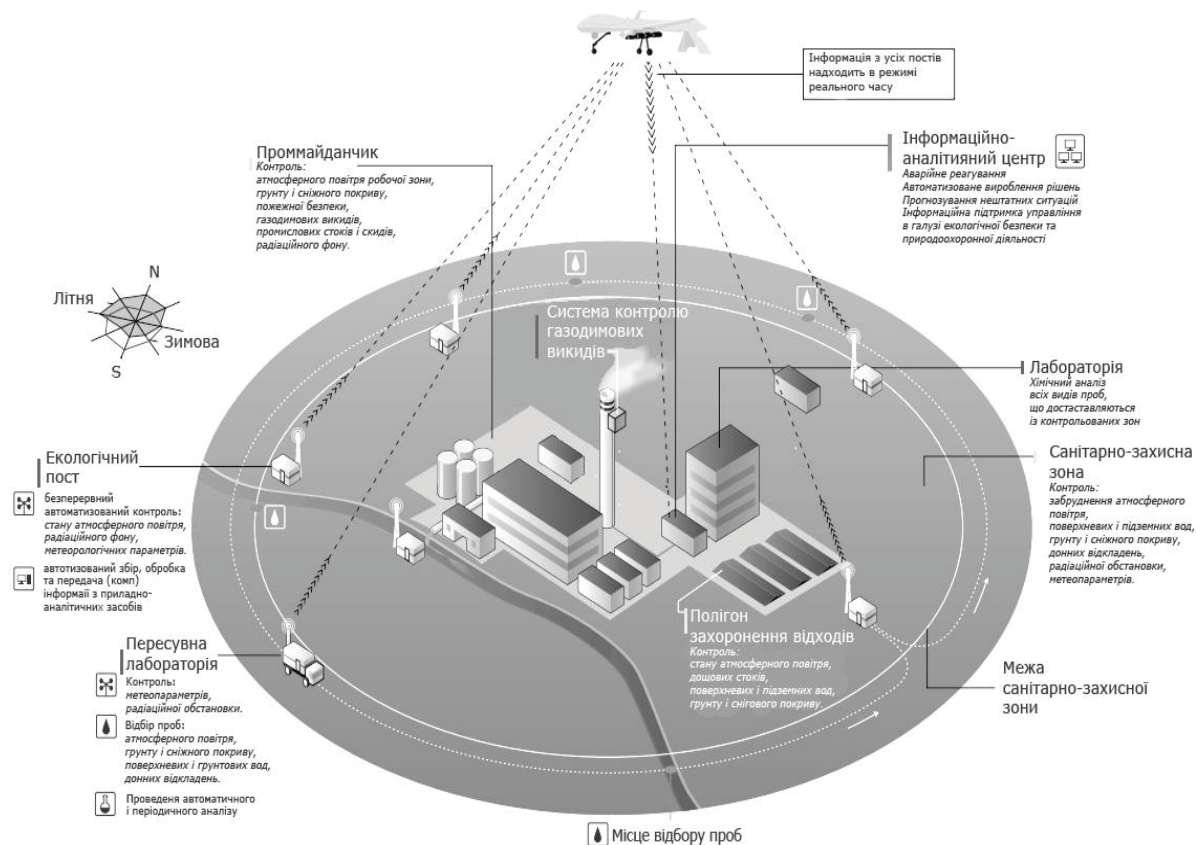
користання БПЛА забезпечує одержання цих даних дистанційно, в різних шарах атмосфери довкілля ТЕС;

- вимірювати температурний стан електротехнічного обладнання ТЕС та магістральних ЛЕП, що призначені для передавання виробленої електроенергії;

- контролювати температурний стан магістральних трубопроводів, що призначені для передавання виробленої теплової енергії.

Багатофункціональність сучасних засобів дистанційного моніторингу об'єктів ТЕС передбачає розширення їх можливостей за рахунок використання відповідних інформаційно-вимірювальних засобів (відеоспостереження довкілля та обладнання ТЕС, вимірювання та аналіз складу речовин у довкіллі, тепловізійний контроль ЛЕП та трубопроводів та ін.).

Для реалізації процесу моніторингу в мобільних ІВС використовуються як апаратно-програмні системи різного призначення, засоби спостереження, так і інформаційні технології, транспортні засоби, в тому числі БПЛА та відповідне інформаційне забезпечення. Інформаційне забезпечення є інтегральним продуктом значної кількості компонент, складових так званого м'якого обладнання досліджуваних систем, об'єктів, комплексів [5].

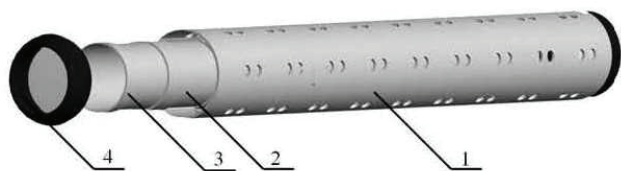


**Рис. 3. Узагальнена схема функціонування інформаційно-аналітичної системи моніторингу ТЕС.**

Вага і значущість кожного з цих видів інформаційного забезпечення різна на різних етапах життєвого циклу систем моніторингу. Нормативно-технічне і проектно-технологічне інформаційне забезпечення складається із загальноприйнятої нормативної бази, стандартів, мето-дичних рекомендацій, існуючих баз даних, санітарних норм. Їх основна функція полягає у інформаційній підтримці існуючих систем, які реалізують відомі, загальноприйняті принципи і методи моніторингу. В певному сенсі їх можна розглядати як базу складову інформаційного забезпечення.

Поетапне створення та використання інформаційного забезпечення ІВС на базі БПЛА схематично зображено на рис. 2.

В зоні розташування ТЕС (рис. 3) за допомогою стаціонарних та пересувних екологічних лабораторій здійснюється періодичний забір проб повітря, води та ґрунту з метою контролю їх забруднення, а також поверхневих і підземних вод, дощових стоків, снігового покриву, донних відкладень водоєм, радіаційного стану, метеопараметрів, газодимових викидів, промислових стоків і скидів, стану пожежної безпеки тощо. Вся інформація збирається з розгалуженої мережі екологічних постів, лабораторій та різних технологічних сегментів ТЕС, передається за допомогою дротової чи бездротової системи передачі даних і обробляється в



**Рис. 4. Схема ФЕП, де 1 – зовнішній корпус (ежектор), 2 – внутрішній сітчастий корпус, 3 – фільтр, 4 – вхідний фланець.**

В цілому ІВС на базі БПЛА суттєво доповнюють системи контролю та моніторингу об'єктів енергетики наземного базування і забезпечують можливість проведення вимірювань параметрів та характеристик довкілля у повітряному середовищі в умовах надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Важливість та необхідність розвитку таких систем пов'язана з тим, що процеси повітряного перенесення шкідливих речовин відіграють вирішальну роль у формуванні полів забруднення повітряного простору, поверхні землі та водоєм за наявності шкідливих викидів на ТЕС. Крім того такі системи можуть стати незамінним інструментом дослідження довкілля на ранніх етапах розвитку нештатних ситуацій в районах ТЕС в умовах гострого дефіциту часу, апаратних засобів та обмеженої апріорної інформації про масштаби аварій.

Програма моніторингу включає контроль концентрації шкідливих речовин у верхніх шарах атмос-

ферної та сумарного внеску джерела забруднення в нижніх шарах атмосфери, траєкторія обльоту визначається площею джерела забруднення, а також технічними можливостями БПЛА, які обумовлюють максимальну дальність польоту [3]. Відбір проб може здійснюватися з допомогою ізокінетичного пробовідбірника, виконаного у вигляді фільтроежекційного пристрою (ФЕП) і наведеного на рис. 4 і 5.

Використання БПЛА під час аварій на енергетичних об'єктах дозволяє отримувати в режимі реального часу фото- та відеозображення для оцінювання реальної ситуації на об'єктах та прийняття рішень щодо вибору ефективних засобів боротьби з наслідками аварій. БПЛА можуть бути обладнані звичайними фото та відеокамерами, інфрачервоними камерами для роботи в нічних умовах, тепловізійними камерами для отримання інформації про температуру в різних частинах об'єкту, пристроями для вимірювання радіаційного

інформаційно-аналітичному центрі, який забезпечує інформаційну підтримку управлінських рішень, енергозберігаючих режимів експлуатації об'єктів енергетики, прогнозування та аварійного реагування на нештатні ситуації.

Оскільки аварійні ситуації виникають несподівано, доцільно в складі таких систем використовувати БПЛА, що не вимагають для старту і посадки підготовленої площадки, мають мінімальний час розгортання та помірні техніко-економічні показники. БПЛА повинен мати можливість дистанційного керування, а також виконувати політ в автоматичному режимі (наприклад, під управлінням автопілоту). З урахуванням корисного навантаження (відеоканал фронтального огляду, автопілот, пристрій відбору проб, вимірювач радіаційного фону тощо) злітна вага повинна становити 2...4 кг. Прийнятним є БПЛА літакового типу зі штовхаючим гвинтом на електричній тязі. Компонівка під різні види корисного навантаження призводить до необхідності в кожному окремому випадку адаптувати їх конструкцію до конкретного завдання.

Побудова ІВС на основі БПЛА дозволяє, з використанням систем GPS, здійснити прив'язку результатів вимірювань у будь-якій точці підконтрольного інформаційного простору до їх географічних координат [3].



**Рис. 5. Фото ФЕП, встановленого на БПЛА.**

фону та аналізаторами повітря для отримання даних про стан атмосфери навколо об'єктів енергетики тощо.

Разом з цим, БПЛА доцільно використовувати не тільки під час аварій, а й для періодичного моніторингу параметрів навколишнього середовища об'єктів енергетики, які працюють в штатному режимі з метою отримання інформації про стан об'єктів і навколишнього середовища в реальному часі, інспектування інфраструктури та запобігання нештатним ситуаціям.

Для моніторингу параметрів навколишнього середовища тепломереж та ЛЕП доцільно рекомендувати використання безпілотних авіаційних комплексів з двома БПЛА літакового та мультироторного типу, класу міні, масою до 10 кг, дальністю польоту до 50 км, мало-



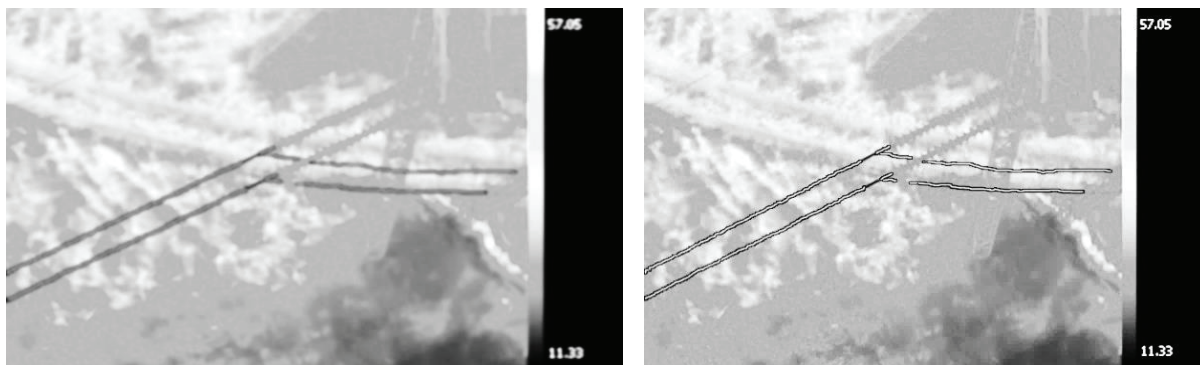
**Рис. 6. Ділянка ЛЕП, на якій проводився тепловізійний контроль.**

висотними (практична стеля до 2 км), з електричним двигуном, дистанційно пілотованими, але з функціями автоматичного польоту за заданим маршрутом, вертикальним зльотом і посадкою (для мультироторної плат-

форми) та пуском з руки і приземленням літаковим способом (для БПЛА літакового типу), з передачею даних в реальному часі (фото- та відеозображення) та накопиченням даних на борту (для інших типів сенсорів).

Для моніторингу протяжних об'єктів (наприклад, ліній електропередач) пропонується застосовувати обліт вздовж об'єкта контролю з використанням БПЛА літакового типу. Для тепловізійної зйомки окремих опор ЛЕП доцільно використовувати БПЛА типу мультикоптерів. Програмне забезпечення наземної станції управління дозволяє використовувати як карту будь-яку топографічну основу. Прив'язка може бути здійснено за двома або кількома точками. Також можливе використання як топологічної основи електронних карт. Програма забезпечує введення, автоматичний контроль і редагування маршруту обльоту. Для кожної точки маршруту може бути задана висота. Для одержання тепловізійного зображення ЛЕП було використано БПЛА зі встановленим тепловимірювальним блоком, основною складовою якого є оптичний тепловізор типу Pulsar Quantum HD 50 S [6].

На рис. 6 наведено фото ділянки ЛЕП з опорою, в районі якої проводилися експериментальні дослідження. Тепловізійне зображення цієї ділянки подано на рис. 7. Проведені експерименти підтвердили працездатність вбудованого тепловізійного блоку у складі БПЛА. Практичне застосування БПЛА, на відміну від існуючих методів, забезпечує швидке проведення дистанційного температурного моніторингу протяжних об'єктів (у нашому випадку ЛЕП) у важкодоступних та небезпечних місцях [6].



**Рис. 7. Тепловізійне зображення ділянки ЛЕП:**

**а) – при температурі проводів 290 °С (7 год.), б) – при температурі проводів 520 °С (11 год.).**

Дослідження можливостей моніторингу температурного стану магістральних трубопроводів, що призначені для передавання теплової енергії, з використанням мобільних ІВС на базі БПЛА знаходяться на етапі проведення натурних експериментів.

#### **Висновки**

Мобільні ІВС на базі БПЛА дають можливість проводити моніторинг стану і динаміки характеристик в часі і в просторі довкілля ТЕС та інших об'єктів теплоенергетики, як в режимах on-line, так і інших режимах.

В штатному режимі функціонування досліджуваних

об'єктів поточний дистанційний контроль з використанням мобільних ІВС є більш економічним у порівнянні з іншими засобами контролю.

Системи моніторингу дозволяють отримувати достовірну інформацію про функціонування об'єктів теплоенергетики. Зокрема, моніторинг параметрів забезпечує неперервний контроль основних параметрів теплотехнічних установок і технологічних процесів вироблення, транспортування та споживання теплоти. В результаті моніторингу технічного стану теплоенергетичного об'єкту встановлюються результати

діагностування об'єкту та прогнозування часу зміни його стану.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Cai G., Dias J., Seneviratne L. A.* Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends / *Unmanned Systems*, 2014, Vol. 02, No. 02, P. 175–184.
2. *Lelong C.C.D., Jubelin P., Burger G., Roux B., Labbe S., Baret F.* Assessment of unmanned aerial vehicles imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots / *Sensors*. – 2008. – No. 8. – P. 3557–3585.
3. *Бабак С.В.* Дистанційний контроль докільля об'єктів енергетики / *Вимірювальна і обчислювальна техніка в технологічних процесах*. – 2015, №4. – С. 107–112.

4. *Honda K., Shrestha A., Witayangkurn A., Chinnachodteeranun R., Shimamura H.* Field servers and sensor service grid as real-time monitoring infrastructure for ubiquitous sensor networks / *Sensors*. 2009. Vol. 9, No. 4. P. 2363–2370.

5. *Інформаційне забезпечення моніторингу об'єктів теплоенергетики* / за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака. – К.: ІТТФ НАН України, 2015. – 512 с.

6. *Бабак С.В., Мислович М.В.* Особливості практичного використання автономних діагностичних комплексів для теплового контролю повітряних ліній електропередачі / *Технічна електродинаміка*. – 2016. – № 1. – С. 73–80.

#### MONITORING OF OBJECTS OF POWER SYSTEM USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

**Babak V.P.**

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
vul. Zheliabova, 2a, Kyiv, 03680, Ukraine

Considered principles of creation and practical use of mobile information and measurement systems to monitor environmental characteristics of thermal power facilities and the possibility of using this purpose unmanned aerial vehicles. References 6, figures 7.

**Key words:** monitoring the technical condition, heating facilities, drones, information-measuring systems

1. *Cai G., Dias J., Seneviratne L. A.* Survey of Small-Scale Unmanned Aerial Vehicles: Recent Advances and Future Development Trends / *Unmanned Systems*, 2014, Vol. 02, No. 02, Pp. 175–184.
2. *Lelong C.C.D., Jubelin P., Burger G., Roux B., Labbe S., Baret F.* Assessment of unmanned aerial vehicles

imagery for quantitative monitoring of wheat crop in small plots / *Sensors*. 2008. No. 8. P. 3557–3585.

3. *Babak S.V.* Remote control environment energy facilities / *Measuring and computing in technological processes*. 2015, №4. P. 107–112. (Ukr)

4. *Honda K., Shrestha A., Witayangkurn A., Chinnachodteeranun R., Shimamura H.* Field servers and sensor service grid as real-time monitoring infrastructure for ubiquitous sensor networks / *Sensors*. 2009. Vol. 9, No. 4. P. 2363–2370.

5. *Information management monitoring facilities heating* / edited corresponding member of NAS of Ukraine V.P. Babak. – K.: Institute of Engineering Thermophysics NAS of Ukraine, 2015. 512 p. (Ukr)

6. *Babak S.V., Myslovych M.V.* Features practical use of independent diagnostic-sector and thermal control air lines / *Technical electro-dynamics*. 2016. № 1. P. 73–80. (Ukr)

Получено 13.03.2017

Received 13.03.2017