

СОЦІОГУМАНІТАРНИЙ ПОТЕНЦІАЛ РОЗВИТКУ СЕНСОРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Ю. Д. Генсіцький

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна
yuraletter@ukr.net

Стаття присвячена аналізу соціогуманітарних наслідків розвитку сенсорних технологій. Зазначається, що створені сенсорні пристрої формують нову реальність і нові можливості сприйняття такої реальності. Нові технології виходять за рамки виробництва, роблячи соціосферу «технологічною» в широкому сенсі цього слова. При цьому класичні погляди про людські сенсори перестають відповідати вимогам часу і мають бути розглянуті з врахуванням медіафілософського підходу.

У статті доводиться, що сенсорні технології разом з можливостями Інтернету розумних речей у форматі безпроводних сенсорних мереж забезпечують нові сенсорні способи взаємодії з оточуючою дійсністю. У такій концепції сенсорних мереж руйнується гомоцентрична модель мережевої взаємодії, оскільки сенсорні пристрої стають більш автономними та інтелектуальними, здатні самостійно конфігуруватись, вступати в комунікацію, самостійно створювати власні мережі. Завдяки створенню актуаторів сенсорні пристрої здатні впливати на середовище, а не тільки реєструвати його стан. Функціональне значення сенсорних технологій в життєдіяльності людини обумовлено їх зв'язком з іншими традиційними і сучасними технологіями. Центром дослідження сенсорних мереж, координуючим зусилля академічної спільноти та індустрії стають ІТ корпорації.

У статті акцентується, що сенсорні технології та системи носять дуальний характер, оскільки вони можуть викликати як позитивні, так і негативні соціокультурні наслідки. Розвиток сенсорного Інтернету розумних речей вимагає необхідності вироблення активної суспільної позиції та професійного контролю. Розробки автономних сенсорних систем несуть загрозу втручання в людську природу, а зважаючи на відсутність належної безпеки не існує жодної гарантії, що чекає на людство в випадку збою управління або проникнення вірусної програми.

Ключові слова: сенсор, сенсорні технології, моти, розумний пил, медіафілософія.

SOCIOHUMANITARIAN POTENTIAL OF SENSOR TECHNOLOGIES DEVELOPMENT

Yu. Gensitskiy

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv
yuraletter@ukr.net

The article analyzes social and humanitarian consequences of sensor technology development. It is reported that created sensor devices form a new reality and new possibilities of perception of this reality. New technologies are beyond the scope of production, making sociosphere "technological" in the broadest sense of the word. At the same time classic views about human sensors no longer meet the requirements of time and should be considered in view of mediaphilosophical approach.

It is proved that sensor technology with the power of the Internet of smart things in the form of sensor wireless sensor networks provide new ways of interacting with the surrounding reality. In this conception of sensor networks homocentric model of networking is destroyed as sensory devices become more autonomous and intelligent, able to configure independently, enter into communication, independently create their own networks. Through creation of actuators sensor devices can affect environment, but not only register its condition. Functional significance of sensor technology in human life is due to their relationship with other traditional and modern technologies. Sensor Networks Research Center, coordinating the efforts of academic community and industry, becomes IT corporation.

The article emphasizes that sensor technology and systems are of a dual nature, because they can cause both positive and negative socio-cultural implications. The development of Internet of smart things requires the need to develop an active social position and professional control. Development of autonomous sensor systems threaten intervention in human nature, and because of the lack of adequate security, there is no guarantee that await humanity in the case of management failure or penetration of virus program.

Keywords: sensor, sensor technology, motes, smart dust, media philosophy.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Прогресуючий розвиток сенсорних технологій пов'язаний з проблемою створення нових органів чуття людини. Індивідуальні можливості людини в пізнанні зовнішнього світу і внутрішнього середовища організму є обмеженими і визначаються сформованими в ході еволюції органами чуття. Розширення та створення нових сенсорних можливостей за допомогою медіаторів комунального користування [9], технічно репрезентованих у вигляді біосенсорних пристроїв, базується на принципах дії органів чуття людини [5].

Створення численного роду підсилювачів нашої сенсорики, або ж за термінологією медіафілософії – медіаторів комунального користування, забезпечило проникнення людини в мікро та макросвіти [9]. Забезпечення таких пристроїв певним ступенем автономності та розуміння механізму роботи сенсорної системи людини призвело до інтенсивного розвитку сенсорних технологій. Дослідження орієнтовані на створення аналітичних пристроїв, що дозволяють отримувати інформацію про властивості різних середовищ у вигляді електричного сигналу. Сенсорика людини імітується роботою аналітичних пристроїв, що використовуються в якості селективного елемента біомакромолекул, – біосенсори [8]. Практика застосування сенсорних технологій породжує нове проблемне поле медіафілософської рефлексії.

Метою статті є аналіз соціогуманітарних наслідків розвитку сенсорних технологій, зокрема, перспективи створення та широкого застосування мереж сенсорних пристроїв, їх взаємодії з людиною. Проблемне поле філософської рефлексії застосування сенсорних технологій є мало дослідженим як в вітчизняній так і зарубіжній літературі. Концептуальні та методологічні основи дослідження сенсорних технологій і систем в життєдіяльності людини розглядаються в роботах Камалової О.Н. та Джіоевої Д.А [4; 5; 8]. Зміна сенсорного досвіду людини в новому інформаційному середовищі аналізується в роботі Папченка Є.В [10]. Про створення сенсорних мереж мовлять, їх науково-технічний потенціал йдеться мова в роботах Варнека В., Kahna J., та Pistera K. [11; 13; 14]. Створенню підходів до моделювання сенсорних мереж присвячена робота Дорошенка А.Е. [6]. Проблема створення нових органів чуття на базі біосенсорних технологій досліджується в роботах Варфоломєєва С.Д. [2; 3; 12].

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНОГО АНАЛІЗУ ПРОБЛЕМИ

Сприйняття світу та формування пізнавального потенціалу людської свідомості як ключова особливість сутності людини завжди було і залишається ключовою філософською проблемою. Намагаючись зрозуміти суть пізнавальних процесів, філософи шукають відповідь на ряд питань, починаючи від принципів світобудови і до формувальних підходів в наукових дослідженнях. Давньогрецький філософ Аристотель першим класифікував п'ять чуттів людини у своїй фундаментальній роботі «Про душу», ретранслюючи ідеї античної філософії про те, як людина сприймає реальність [1]. Філософська та інструментальна рефлексія вчення Аристотеля про відчуття трансформувалась, але змістовно залишається актуальною. Наші органи чуття забезпечують нас пізнавальними можливостями і лежать в основі опосередкування взаємодії з оточуючою та створюваною реальністю, або ж словами медіафілософії є медіаторами індивідуального користування [9].

Сенсорні системи, або органи чуття забезпечують організм інформацією про навколишній світ і внутрішній стан самого організму. Фізіологічно людська біосенсорика здатна сприймати і перетворювати сигнали трьох модальностей: електромагнітні поля у видимій (зір) і інфрачервоній (температурна чутливість) областях спектра; механічні збурення – звукові хвилі (слух), силу тяжіння (гравітаційна і вестибулярна чутливість), механічний тиск (дотик); хімічні сигнали – виявлення речовин в рідкій фазі (смак) і в газовій фазі (нюх) [3].

Сенсорні системи людини характеризуються досить високою чутливістю, сформованою в процесі еволюції. Визначально також, що при цьому вони здатні регулювати ступінь власного сприйняття. Спеціалізовані рецепторні клітини сприймають та через проміжні нейрони кодують і передають сенсорну інформацію електричним способом в мозок. Після обробки отриманого повідомлення негайно формуються вихідні команди або ж відбувається запис в пам'ять для подальшого використання.

Незважаючи на штучну природу та будову, між сенсорними системами і проєктованими біосенсорами багато спільного. Механізм їх роботи базується на перетворенні зовнішнього впливу в електричний сигнал. Інформацію, перетворену в форму електричної відповіді, можна ефективно трансформувати і переробляти. Органи чуттів і біосенсори мають відповідні системи переробки інформації: в одному випадку це мозок, в іншому – комп'ютер або ж певна мікросхема [2].

Розвиток смарт-речей, створених на базі таких сенсорних технологій, створює не тільки нову реальність і нові можливості сприйняття такої реальності, при цьому класичні погляди про

людські сенсори перестають відповідати вимогам часу і мають бути розглянуті з врахуванням медіафілософського підходу.

«Виникає питання: чи здатна людина вийти за рамки сенсорних можливостей, даних їй природою? Чи може вона, безпосередньо використовуючи свої органи чуття, реєструвати електромагнітні поля не тільки у видимому діапазоні, але і в області ультрафіолетового, рентгенівського або радіаційного випромінювань? Чи може за допомогою сенсорних систем детектувати в навколишньому середовищі речовини, для яких не існує природних рецепторних механізмів? Нарешті, чи можна очікувати появи «штучних» інтерорецепторних сенсорних систем, орієнтованих на «внутрішній зір» – виявлення, реєстрацію та контроль ключових метаболітів, що визначають узгодженість біохімічних механізмів в нормі, і їх порушення при різних патологіях? [3]

У міру того, як Інтернет розумних речей об'єднує все більше людей, процесів, даних і фізичних об'єктів, зростає роль нових технологій і підтримуючих їх мереж для розвитку та доповнення сенсорики людини. Щоб взаємодіяти з новими рішеннями, створеними на базі сенсорних технологій, датчиках і протоколах передачі даних в реальному часі, більше не потрібно безпосередньо контактувати з технологіями або бачити їх. Ці інновації разом з можливостями Інтернету розумних речей забезпечують нові сенсорні способи бачити, чути, відчувати запах, пробувати на смак тощо.

Сучасні смарт-технології відкривають двері в майбутнє безпроводних сенсорних мереж, де сотні мільярдів мікроскопічних датчиків, вбудованих буквально в усі предмети аж до мозку зможуть реагувати на довкілля і контактувати один з одним безпроводним чином, спричиняючи кардинальну і, можливо, безповоротну зміну соціосфери.

Науковці визначають безпроводну сенсорну мережу як розподілену, самоорганізовану мережу безлічі датчиків (сенсорів) і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою певного радіоканалу.

Такі сенсорні мережі створюються кожен раз заново для вирішення конкретних задач, і миттєво після їх виконання розпадаються на окремі елементи, здатні до створення нових мереж, як тільки в цьому виникне необхідність. Крихітні, розміром з пилінки, напівпровідникові пристрої, що виконують одночасно обчислювальні і комунікаційні функції і здатні найбільш оптимальним чином автоматично конфігуруватись в самоорганізовані мережі, є основою таких мереж [7].

Сенсорні пристрої, що формують сенсорну мережу – «моти» – представляють собою інтегровану платформу, яка поєднує можливості сенсорної платформи, що базуються на роботі зовнішніх датчиків, які реєструють певні параметри або їх сукупність, комп'ютерів і комунікаційних пристроїв. Таким мікрокомп'ютерним системам технічно надається можливість тільки «розрізняти» навколишній світ, але й діяти залежно від його стану. І всі вони з'єднуються в єдину безпроводну мережу, щоб мати можливість передавати інформацію в необхідному порядку [6].

У концепції сенсорних мереж істотно змінюється роль людини, оскільки їх елементи – сенсорні мікрокомп'ютери – стають більш самостійними, точно передбачують запити людини, задово до їх надходження. Гомоцентрична модель мережевої взаємодії з людиною в якості центральної ланки в мережі відходить в минуле – людина зміщується з центру обчислень на його периферію, концентруючись на управлінні процесом та удосконаленні автономності сенсорних пристроїв, стаючи своєрідним посередником між реальним світом і комп'ютерами. Вперше за історію людина, техніка самостійно здатна створювати та трансформувати реальність, раніше всемогутній творець нових технологій поступово може перетворитись в заручника своїх творінь, сліпо віруючи в релігію постмодернізму – меганауку, локомотив для реалізації наукових амбіцій без достатньої соціальної експертизи.

Центром дослідження сенсорних мереж, координуючим зусилля академічної спільноти та індустрії стають ІТ корпорації. Автономність та інтелектуальність таких сенсорних пристроїв забезпечується створенням безпроводної інтегрованої обчислювальної платформи-сенсора з низьким енергоспоживанням і роботою в трьох основних напрямках: розробка гнучкої і відкритої операційної системи; створення мережевих технологій, що забезпечують самоорганізацію мереж з сенсорів; розробка затребуваних додатків для ad hoc мереж. Оскільки головне призначення сенсорних мереж – сприйняття і передача корисної інформації, фахівці зайняті розробкою методики об'єднання сенсорів з предметами, за якими здійснюється моніторинг, а також досліджують можливість створення «актуаторів» – пристроїв на основі сенсорів, які дозволяють впливати на ситуацію, а не тільки реєструвати її стан.

Перспективна ІТ-технологія, створювана для комфортизації життя людини, отримує можливість самостійно конфігуруватись, вступати в комунікацію і, навіть, впливати на предмети та процеси. Розробка настільки могутніх технологій, що наділяють смарт-речі сенсорами, бізнес-корпораціями чомусь залишається поза увагою суспільства, в якому науковці активно підігрують і люблять інтереси ІТ-гігантів. Ціль же бізнес структур цілком прагматична, і меншою мірою ви-

значається турботою про майбутнє людства. Наскільки розробки, з інтелектом та самостійністю та створеною технологією сприйняття, будуть безпечними для людства?

Як загроза зміни біо-психо-соціо-духовної природи людини насторожує перспектива зрощення людини з такими мотами та актуаторами. Науковці, за активної підтримки ІТ компаній, активно працюють над створенням біочипів. Крім сенсорного сприйняття світу твердих речей, досліджується можливість «відчувати» різні рідкі середовища і біологічні об'єкти. Подібні дослідження позиціонують як такі, що відкривають колосальні перспективи для медичних і фармацевтичних розробок, здійснення хімічних процесів і виготовлення біологічних препаратів.

Характеризуючи нову технологію, навіть ІТ-корпорації, зацікавлені в нових розробках, не без остраху, заявляють, що ера коли комп'ютери робили тільки те, що їм говорила людина, може закінчитись. А ось в майбутньому, наші ПК будуть самі передбачати наші потреби, самостійно діяти та взаємодіяти. Комп'ютер буде аналізувати поточну обстановку, виробляти попереджувальні обчислення і пропонувати нам ті чи інші варіанти можливих подальших дій, а в ряді випадків навіть діятиме сам, звільняючи нас від необхідності вчинення рутинних процедур. Сенсорні мережі, що складаються з безлічі самостійних мініатюрних автономних пристроїв, що володіють можливостями безпроводного зв'язку, будуть здатні самоорганізовуватися в мережі і взаємодіяти один з одним і з «центром». Наскільки безпечним буде існування такого центра самоорганізованих мотів та актуаторів, кому він підпорядковуватиметься, на яких принципах будуватиметься взаємодія з людиною – джерело теперішніх і майбутніх екзистенційних тривог людства.

Мислячий очерет – вислів, що характеризує сукупний розумовий потенціал людства, був сформульований Блезом Паскалем. Як відповідник для колективного штучного інтелекту запропоновано визначення – розумний пил. Саме поняття розумний пил (smartdust) введено в науковий ужиток американським вченим Крістофером Пістером в 2001 році [14]. Кожна порошок такого «розумного пилу» або «mote» є бездротовою, абсолютно автономною і в кожному випадку використовується у великих кількостях. І ще одна важлива характеристика – буквально зливаючись з фізичним світом, мережі крихітних комунікативних комп'ютерів можуть функціонувати як новий вид Інтернету, сенсорного Інтернету розумних речей. Така технологія вже далеко не фантастика, перші моти вже розроблені і виконують експериментальні завдання в рамках різних наукових проектів.

Найнебезпечніше, що деякі проекти впровадження мотів дуже тісно пов'язують з функціонуванням людського тіла. Ведуться активні розробки «нейронного пилу», який має бути розсіяний в мозку. Зараз його позиціонують як пристрій магнітно-резонансної томографії, що працює всередині мозку в цілодобовому режимі. Він дозволяє здійснювати моніторинг активності нейронів, в медичних і наукових цілях. Трансгуманісти вважають, що саме на основі такого «розумного пилу» в майбутньому стане можливою технології безсмертя. У більш доступній для огляду перспективі технологія допоможе у взаємодії людини і комп'ютера. Проникнення технології цілком самостійних та самоорганізованих мотів в людський мозок загрожує непередбачуваними наслідками. Наскільки ймовірною може стати ситуація, коли роботи-моти зможуть використовувати і управляти нашим мозком, розумом, проникнувши і, можливо, поглинувши біологічну основу нашої людяності? Така загроза замовчується, незважаючи на ствердження недосконалої системи безпеки мережевих мотів, не говорячи вже про відсутність способів їх нейтралізації. Дозвіл на радикальні експерименти над мозком з застосуванням могутньої і небезпечної технології ще одне свідчення неготовності суспільства до розробки сенсорних смарт-технологій, необхідності вироблення активної суспільної позиції та професійного контролю.

«Розумний пил» починає приживатися в практиці різних галузей, на що антропологі та, навіть, деякі творці новітньої технології, висловлюють сумніви у безпечності такої технології. Сенсорна смарт-технологія мотів таїть в собі великі можливості для вторгнення в особисте життя, і в міру того, як вона буде впроваджуватися все ширше і ширше, потенціал зловживань її інформацією може зростати.

Не існує жодної гарантії, що чекатиме на людство, в тому випадку якщо трапитися збій управління або станеться проникнення вірусних програм, і весь цей «розумний пил» одночасно вийде з-під контролю. Не можна виключати і злий умисел, оскільки, незважаючи на прогрес в області техніки, людина від цього моральнішою не стає. У будь-якому випадку прогрес в цій області важко зупинити.

Моти та актуатори можуть активно застосовуватись владними структурами не тільки для шпіонажу, але і для контролю над людиною, перетворенням її в бездушну машину. Як свідчення реальності наближення загрози відомо, що експерименти над корекцією біохімічних процесів в людському організмі за допомогою існуючих технологій вже активно ведуться в військовій сфері. Наслідки, що чекатимуть людство, якщо вдосконалена технологія мотів буде поставлена на озброєння військових, можуть бути фатальними. Людяність як джерело екзистенційних пережи-

вань може бути назавжди знищено новою технологією, а разом з людяністю зникає і сама людина. Це переродження в кіборга, в механізм, однак цю істоту вже ніколи не можна буде назвати людиною.

ВИСНОВКИ

Загроза людству з розвитком таких нових технологій стає все більш і більш очевидною, хоча для більшості здається навіть фантастичною на перший погляд. Однак, це тільки на перший погляд, з розвитком сенсорних технологій загроза приймає все більш реалістичні обриси і вже зараз вимагає розроблення спеціальної політики по відношенню до неї.

Створення смартмереж сенсорних пристроїв та їх автономізація разом з комфортизацією життя та широким застосуванням спричиняють зміну існуючої соціореальності, її технізацію. Використання сенсорних технологій без належної безпеки в проектах по посиленню людської сенсорики та вивченню мозку загрожує зміною біо-психо-соціо-духовної природи людини. Комерціалізація таких досліджень та втрата провідної ролі наукових інститутів свідчить про пасивність суспільства та трансформацію етичних цінностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аристотель. Сочинения: в 4 т. / Аристотель. – Т.1. – М. : Мысль, 1976. – 550 с.
2. Варфоломеев С. Д. Биосенсоры / С. Д. Варфоломеев // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 1. – С. 47–50.
3. Варфоломеев С. Д. Сенсорная биология, сенсорные технологии и создание новых органов чувств человека / С. Д. Варфоломеев, Ю. М. Евдокимов, М. А. Островский // Вестник РАН. – 2000. – № 1. – Т. 70. – С. 21–30.
4. Джиоева Д. А. Биосенсорные технологии и системы в условиях современного инновационного общества сети / Д. Каллер, Х. Малдер // Гуманитарные и социально-экономические науки. – 2011. – № 1. – С. 2–5.
5. Джиоева Д. А., Камалова О. Н. Значение сенсорных технологий в жизнедеятельности человека / Д.А. Джиоева, О.Н. Камалова // Экономические и гуманитарные исследования регионов. – 2011. – № 2. – С. 136–143.
6. Дорошенко А. Е. О Моделирование сенсорных сетей средствами высокого уровня / А. Е. Дорошенко, К. А Жереб, Р. С. Шевченко // Проблемы програмування : Матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. з програмування УкрПРОГ. – К. : НАН України. Ін-т програмних систем, 2006. – № 2-3. – С. 718–727.
7. Каллер Д. Сенсорные сети / Д. Каллер, Х. Малдер // В мире науки. – 2004. – № 10. – С. 36–43.
8. Камалова О. Н., Джиоева Д. А. Перспективы развития сенсорных технологий и проблема расширения чувственных возможностей человека / О. Н. Камалова, Д. А. Джиоева // Северо-Восточный научный журнал. – 2011. – Вып. 1. – С. 37–40.
9. Лукьянец В. С. Мегатренд «converging technologies» и его влияние на многовековой процесс преобразования человека / В. С. Лукьянец // SciTecLibrary.ru. – 2013. – С. 1–15.
10. Папченко Е. В. Сенсорный опыт человека: возможности и перспективы в информационном обществе / Е. В. Папченко // Культура, наука, образование : проблемы и перспективы. – 2012. – С. 341–345.
11. Kahn, J., Randy, H., Pister, K. (1999) Next century challenges : mobile networking for “Smart Dust”. Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking. ACM.
12. Varfolomeev, S. D., Kurochkin, I. N., Yaropolov, A. I. (1996) Direct electron transfer BIOSensors. In : BIOSensors Bioelectronics, 863–871.
13. Warneke B. (2001) Smart dust: Communicating with a cubic-millimeter computer. Computer 34.1, 30–51.
14. Warneke, B., Atwood, B., Pister, K. (2001) Smart dust mote forerunners. In: Micro Electro Mechanical Systems, 2001. MEMS 2001. The 14th IEEE International Conference on. IEEE, 357–360.

REFERENCES

1. Aristotel'(1976) Sochinenija : v 4 t.T.1. Moskva : Mysl'.
2. Varfolomeev, S. D. (1997) Biosensory. Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal, 1, 47–50.

3. Varfolomeev, S. D., Evdokimov, Ju. M., Ostrovskij, M. A. (2000) Sensornaja biologija, sensornye tehnologii i sozdanie novyh organov chuvstv cheloveka. Vestnik RAN, 1, t. 70, 21–30.
4. Dzhioeva, D. A. (2011) Biosensornye tehnologii i sistemy v uslovijah sovremennogo innovacionnogo obshhestva seti. Gumanitarnye i social'no – jekonomicheskie nauki, 1, 2–5.
5. Dzhioeva, D. A., Kamalova, O. N. (2011) Znachenie sensornyh tehnologij v zhiznedejatel'nosti cheloveka. Ekonomicheskie i gumanitarnye issledovanija regionov, 136–143.
6. Doroshenko, A. E. Zhereb, K. A, Shevchenko, R. S. (2006) O Modelirovanie sensornyh setej sredstvami vysokogo urovnja. Problemi programuvannja : Materiali p'jatoї Mizhnar. nauk.-prakt. konf. z programuvannja UkrPROG. Kiev : NAN Ukraїni. In-t programnih sistem, 2–3, 718 – 727.
7. Kaller, D. Malder, H. (2004) Sensornye seti. V mire nauki, 10, 36–43.
8. Kamalova, O. N., Dzhioeva, D. A. (2011) Perspektivy razvitija sensornyh tehnologij i problema rasshirenija chuvstvennyh vozmozhnostej cheloveka. Severo-Vostochnyj nauchnyj zhurnal, 1, 37–40.
9. Luk'janec, V. S. (2013) Megatrend «converging technologies» i ego vlijanie na mnogovekovej process preobrazhennja cheloveka. SciTecLibrary.ru, 1–15.
10. Papchenko, E. V. (2012) Sensornyj opyt cheloveka: vozmozhnosti i perspektivy v informacionnom obshhestve. Kul'tura, nauka, obrazovanie: problemy i perspektivy, 341–345.
15. Kahn, J., Randy, H., Pister, K. (1999) Next century challenges : mobile networking for “Smart Dust”. Proceedings of the 5th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking. ACM.
16. Varfolomeev, S. D., Kurochkin, I. N., Yaropolov, A. I. (1996) Direct electron transfer BIOSensors. In : BIOSensors Bioelectronics, 863–871.
17. Warneke B. (2001) Smart dust: Communicating with a cubic-millimeter computer. Computer 34.1, 30–51.
18. Warneke, B., Atwood, B., Pister, K. (2001) Smart dust mote forerunners. In: Micro Electro Mechanical Systems, 2001. MEMS 2001. The 14th IEEE International Conference on. IEEE, 357-360.

Стаття надійшла до редакції 22.05.2015 р.