

## КРИТЕРІЇ ВИБОРУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ БЕЗПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ

*В результаті проведених досліджень визначено основні критерії вибору безпроводних мереж, які можна впровадити в сучасних системах автоматизації технологічних процесів на об'єктах нафтогазового комплексу.*

*Встановлено, що вищевказаним критеріям в даний час відповідають три безпроводні спеціалізовані цифрові мережі: induraNET p, Wireless HART та ISA100.11a.*

*Отримані під час дослідження результати сприятимуть формуванню методичної бази щодо проведення вибору безпроводних спеціалізованих цифрових мереж для об'єктів нафтогазового комплексу.*

*Ключові слова: критерії, детермінізм, забезпечення функцій реального часу, безпроводні спеціалізовані цифрові мережі, промислові мережі, fieldbus, WirelessHART, ISA-100.11a, induraNET p.*

S. BABCHUK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

## CRITERIA FOR SELECTION OF SPECIALIZED NETWORK FOR OBJECTS OF THE OIL & GAS COMPLEX

*For many years, the control system of technological processes in the oil and gas complex, as a rule, was created on the basis of cable networks (twisted pair, fiber optic). The laying of such cable networks at the objects of the oil and gas complex is a complex and expensive task. The use of cables as a data medium in conditions of some objects is complicated or generally unacceptable technologically. Therefore, the actual task for such enterprises, which carry out modernization of their production facilities, is the creation of automation systems for technological processes based on wireless technologies. Automation systems based on wireless technology are much easier to deploy. In addition, they are much more flexible with further upgrades or configuration changes. And most importantly, they do not create inconveniences and do not interfere with the implementation of technological operations and other actions, unlike systems based on cable data transmission systems.*

*As a result of the research, the main criteria for choosing wireless networks, which can be implemented in modern systems of automation of technological processes at the objects of the oil and gas complex: "strict deterministic behavior" and "providing real-time functions" are determined.*

*An important criterion for choosing a network among networks that meet the criteria for "strict determinism behavior" and "providing real-time functions" is the criterion of "openness of the network." Successfully integrate into a single system products from different manufacturers, allows the use of the principles of open systems. For example, systems based on networks created using the open standard IEEE 802.15.4e-2012.*

*The above criteria are currently met by three wireless specialized digital networks: induraNET p, Wireless HART and ISA100.11a. Data wireless specialized digital networks can be used on objects of the oil and gas complex.*

*The results obtained during the research will contribute to the formation of a methodological basis for the selection of wireless specialized digital networks for objects of the oil and gas complex.*

*Keywords: criteria, determinism, provision of real-time functions, wireless specialized digital networks, industrial networks, fieldbus, WirelessHART, ISA-100.11a, induraNET p.*

### Постановка проблеми

Енергетична безпека є одним із визначальних факторів національної безпеки. Важливою складовою паливно-енергетичного комплексу країни є нафтогазовий комплекс. Природний газ та нафтопродукти – це тепло і комфорт в оселях, електроенергія, мінеральні добрива та метал, машинобудівна продукція, сільськогосподарське виробництво, транспорт. Окрім того, це конкурентоспроможність держави, підґрунтя для створення енергетично ефективних інноваційних технологій. Основною метою функціонування нафтогазового комплексу є забезпечення потреб національної економіки у вуглеводнях – поточних і перспективних, а також ефективне використання власних запасів нафти і газу. Ця мета досягається комплексом заходів економічного, правового та науково-технічного характеру [1].

Вітчизняна економіка є частиною світового ринку, що глобалізується, і це найбільш помітно на його енергетичній складовій. Тенденції світової енергетики тією чи іншою мірою позначаються на енергетиці України, зокрема на її нафтогазовому комплексі. Реалізація перспективних напрямів розвитку нафтогазового комплексу залежить від багатьох чинників, тому потрібно глибоко і всебічно опрацьовувати рішення, які приймаються у цій сфері, адже хибні можуть призвести до серйозних негативних наслідків [1].

Багато років системи управління технологічними процесами в нафтогазовому комплексі, як правило, створювалися на базі кабельних мереж (вита пара, оптоволоконний кабель, коаксіальний кабель). Прокладання таких кабельних мереж на об'єктах нафтогазового комплексу є складним і дорогим завданням. Використання кабелів, як середовища передавання даних в умовах деяких об'єктів є ускладненим або взагалі неприйнятним технологічно. Тому актуальним завданням для таких підприємств, які проводять модернізацію своїх виробничих потужностей, є створення систем автоматизації технологічних процесів на базі безпроводних технологій. Системи автоматизації на базі безпроводних технологій значно простіше розгортаються. Крім того, вони значно гнучкіші при подальшій модернізації чи зміні конфігурації. А саме головне, вони не створюють незручностей і не заважають здійсненню технологічних операцій та інших дій на відміну від систем, які базуються на кабельних системах передавання даних [2].

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Останні роки характеризуються все більшим поширенням мереж, які побудовані за допомогою радіотехнологій, що дозволяють забезпечити максимальну мобільність і незалежність. В даний час очевидно, що безпроводні мережі практично знаходяться поза конкуренцією по оперативності розгортання, мобільності, широті можливих додатків, у багатьох випадках будучи єдиним економічно виправданим рішенням [3].

У мережах радіодоступу використовуються різні технології фізичного (сигнального) рівня. Зокрема, використовуються наступні способи розширення смуги частот радіосигналу: за допомогою стрибкоподібної зміни частоти сигналу (англ. Frequency Hop Spread Signal - FHSS), за допомогою зміни фази одночастотного сигналу відповідно до коду полосорозширюючої послідовності (Direct Sequence Spread Spectrum - DSSS), шляхом застосування безлічі сигналів на ортогональних (незалежних) несучих (Orthogonal Frequency Digital Multiplexing - OFDM) та інші [3].

В даний час в світі виробляються та експлуатуються десятки безпроводних спеціалізованих цифрових мереж для різних сфер народного господарства.

Для систем життєзабезпечення будівель та квартир використовується майже три десятки різних безпроводних спеціалізованих цифрових мереж, які забезпечують ефективну роботу як невеликих об'єктів так і об'єктів дуже великих розмірів і складності [4-7]. Зокрема, можна відмітити:

- BACnet (з різними середовищами передавання даних, в т.ч. з безпроводними сегментами);
- KNX / EIB (з різними середовищами передавання даних, в т.ч. з безпроводними сегментами);
- ZigBee (безпроводна мережа);
- Z-Wave (безпроводна мережа);
- ONE-NET (безпроводна мережа).

Для систем віддаленого зчитування показників лічильників води, газу, тепла, електроенергії за кордоном використовуються наступні безпроводні спеціалізовані цифрові мережі [8-9]:

- WM-Bus (розробник: Open Metering Systems. Затверджена європейським стандартом EN13757-4:2012);
- WMRNET (розробник: APPCON Technologies (Китай));
- EverBlu (розробник: Itron).

Останнім часом набувають поширення безпроводні спеціалізовані цифрові мережі і в інших сферах (відмінних від вищевказаних): інтелектуальні системи освітлення вулиць, системи паркування автотранспорту в містах, сільське господарство, в медицині для безперервного моніторингу пацієнтів (температури, ЕКГ, частоти серцевих скорочень, рівня кисню, рівня цукру в крові). Проте застосування безпроводних спеціалізованих цифрових мереж в промислових умовах в т.ч. і на підприємствах нафтогазового комплексу відбувається досить повільно і обмежено. Це зумовлено в першу чергу тим, що відсутня методична база щодо проведення вибору безпроводних спеціалізованих цифрових мереж для таких об'єктів.

### Формулювання завдання дослідження

Метою дослідження є визначення основних критеріїв вибору безпроводних мереж, які можна впровадити в сучасних системах автоматизації технологічних процесів на об'єктах нафтогазового комплексу.

### Визначення критеріїв вибору яким мають відповідати спеціалізовані безпроводні мережі для об'єктів нафтогазового комплексу

З метою визначення критеріїв вибору яким мають відповідати безпроводні спеціалізовані цифрові мережі для об'єктів нафтогазового комплексу було прийнято рішення спочатку проаналізувати існуючі безпроводні спеціалізовані цифрові мережі за наступними їх характеристиками:

- мережа затверджена стандартом або розроблена у відповідності до існуючого стандарту;
- топологія мережі;
- максимальна довжина сегменту мережі в метрах;
- максимальна швидкість передавання даних в кбіт/с;
- сфера використання.

Результати аналізу джерел інформації [8-11] для зручності подальшого дослідження було сформовано в табличній формі (її невелика частина зображена нижче в таблиці 1).

Основними критеріями для вибору безпроводних спеціалізованих цифрових мереж для об'єктів нафтогазового комплексу мають бути критерії:

- жорсткої детермінованості поведінки;
- забезпечення функцій реального часу.

## Безпроводні спеціалізовані комп'ютерні мережі

Назва мережі	Затверджена стандартом або розроблена у відповідності до існуючого стандарту	Топологія	Максимальна довжина сегменту мережі, м	Максимальна швидкість передавання даних, кбіт/с	Сфера використання
ZigBee	IEEE 802.15.4	зірка, дерево, mesh	100	250	“розумний” будинок
Z-Wave	ITU-T G.9959	mesh	40	100	“розумний” будинок
ONE-NET		зірка, mesh	кілька кілометрів при топології “mesh” та швидкості передавання даних 38,4 кбіт/с	230 (для топології “зірка”)	“розумний” будинок
WM-Bus	EN13757-4:2012	зірка	5000	2,4 (для відстані – до 5000 м) 100 (для відстані – до 1000 м)	для віддаленого зчитування показників лічильників води, газу, тепла
WMRNET		mesh	3000	5	для віддаленого зчитування показників лічильників газу і води
EverBlu		mesh	300	Зчитування даних з 100 лічильників за 5-10 хвилин в груповому режимі або 250-500 в одинарному режимі	для віддаленого зчитування показників лічильників води, газу, тепла, електроенергії
Industrial Radio Network (induraNET p)		зірка	100		промисловість
Wireless HART	IEEE 802.15.4e	зірка	200	250	промисловість
ISA100.11a	IEEE 802.15.4e	зірка, дерево, mesh	200	250	промисловість

Тобто, для таких об'єктів необхідні безпроводні спеціалізовані цифрові мережі, які забезпечать реакцію автоматизованої системи керування на зміни, які відбуваються на об'єкті нафтогазового комплексу передбачувано (прогнозовано) із заданою точністю і швидкістю в заданий час.

Встановлено, що більшість існуючих безпроводних спеціалізованих цифрових мереж не відповідають цьому критерію. Це зумовлено тим, що на етапі проектування для них дані критерії не були визначальними. Адже, наприклад, якщо світло в кімнаті ввімкнеться на одну секунду пізніше з якихось причин, то це не призведе до катастрофічних наслідків (тому в системах будинкової та квартирної автоматизації дані критерії не виконуються – адже їх реалізація призвела б до здорожчання таких систем). Проте, якщо на нафтохімічному заводі система керування зреагує на зміни на об'єкті через одну секунду, то це може призвести до катастрофи з важкими наслідками (втрата обладнання через його руйнування,

екологічними, та навіть призвести до людських жертв).

Також для промислового використання не придатні безпроводні спеціалізовані цифрові мережі, які розроблялись для віддаленого зчитування показників лічильників води, газу, тепла, електроенергії. В таких системах кінцеві пристрої більшість часу перебувають в режимі “сну” і виходять з даного режиму для зняття даних з лічильників і їх подальшої передачі згідно встановленого графіка, наприклад, раз в годину, чи раз в 12 годин, чи раз в день. Такий підхід при розробці вищевказаних мереж був зумовлений досягненням іншої мети: максимально довго працювати автономно без заміни елемента живлення.

Безпроводні спеціалізовані цифрові мережі, які розроблені для інтелектуальних систем освітлення вулиць, сільського господарства теж не відповідають критеріям жорсткої детермінованості поведінки та забезпечення функцій реального часу, адже при їх розробці вони не були реалізовані з причин:

- для виконання основних функцій згідно призначення вони не потрібні;
- реалізація відповідності критеріям “жорсткої детермінованості поведінки” та “забезпечення функцій реального часу” призвела б до здорожчання комп’ютерних систем на базі таких мереж.

Крім того, тривалий період не було відкритих базових технологій для розробки кінцевих безпроводних спеціалізованих цифрових мереж промислового призначення. В зв’язку з цим в 2007 році компанія “Pilz GmbH & Co. KG” розробила безпроводну спеціалізовану цифрову мережу Industrial Radio Network (induraNET p), яка була призначена саме для впровадження на промислових об’єктах. Дана мережа має топологію “зірка” з одним центральним вузлом, до якого підключають до 64 пристроїв.

В другій половині 2000-х років робоча група IEEE 802.15.4 розпочала роботу над змінами до MAC-рівня для існуючого стандарту IEEE 802.15.4-2006. Метою цієї роботи було покращення функціональності MAC 802.15.4-2006.

28 березня 2012 року був опублікований стандарт IEEE 802.15.4e-2012. В порівнянні з попередньою редакцією від 2011 року було додано ряд функціональних можливостей для MAC-рівня IEEE 802.15.4, щоб він краще підтримував промислові рішення та забезпечив сумісність із модифікаціями китайської спеціалізованої комп’ютерної мережі WPAN.

На базі вищевказаної відкритої технології IEEE 802.15.4e-2012 розроблені та вданий час експлуатуються в промислових умовах дві безпроводні спеціалізовані цифрові мережі:

- Wireless HART (розроблена і виробляється компанією “Rosemount (США)”)
  - ISA100.11a (розроблена International Society of Automation (ISA), виробляється компаніями Yokogawa (Японія) та Honeywell Process Solutions (США)).

Специфікація IEEE 802.15.4e значно покращила стандарт IEEE 802.15.4. Найбільш важливим вдосконаленням стала розробка механізму TSCH (Time Slotted Channel Hopping), який забезпечуватиме детерміновану (прогнозовану, передбачувану) роботу та збільшить пропускну здатність мережі [12].

Інші характеристики мереж доцільно розглядати тільки якщо дані мережі відповідають критеріям “жорсткої детермінованості поведінки” та “забезпечення функцій реального часу”.

Важливим критерієм при виборі мережі серед мереж, які відповідають критеріям “жорсткої детермінованості поведінки” та “забезпечення функцій реального часу” є критерій “відкритості мережі”.

Унікальні системи, тобто системи, що працюють по унікальних протоколах зв’язку, які вироблені й підтримуються однією компанією, одержали назву закритих систем. При використанні таких систем можуть виникнути проблеми з інтеграцією виробів від різних виробників.

Успішно інтегрувати в єдину систему виробу від різних виробників, дозволяє використання принципів відкритих систем. Наприклад, системи, які побудовані на базі мереж що створені з використанням відкритого стандарту IEEE 802.15.4e-2012 (зокрема, мережі Wireless HART та ISA100.11a).

### Висновки

В результаті проведених досліджень визначено основні критерії вибору безпроводних мереж, які можна впровадити в сучасних системах автоматизації технологічних процесів на об’єктах нафтогазового комплексу: “жорсткої детермінованості поведінки” та “забезпечення функцій реального часу”.

Важливим критерієм при виборі мережі серед мереж, які відповідають критеріям “жорсткої детермінованості поведінки” та “забезпечення функцій реального часу” є критерій “відкритості мережі”. Успішно інтегрувати в єдину систему виробу від різних виробників, дозволяє використання принципів відкритих систем. Наприклад, системи, які побудовані на базі мереж що створені з використанням відкритого стандарту IEEE 802.15.4e-2012.

Вищевказаним критеріям в даний час відповідають три безпроводні спеціалізовані цифрові мережі: induraNET p, Wireless HART та ISA100.11a. Дані безпроводні спеціалізовані цифрові мережі можна використовувати на об’єктах нафтогазового комплексу.

Отримані під час дослідження результати сприятимуть формуванню методичної бази щодо проведення вибору безпроводних спеціалізованих цифрових мереж для об’єктів нафтогазового комплексу.

### Література

1. Карп І. М. Нафтогазовий комплекс України [Text] / І. М. Карп // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С.32-41.

2. Бабчук С.М. Визначення шляхів підвищення гнучкості автоматизованих систем управління технологічними процесами // Конференція "Measuring and computing equipment in technological processes". – 2017.
3. Сайко В. Г. Мережі безпроводного широкосмугового доступу [Текст] / В. Г. Сайко, В. Я. Казіміренко, Ю. М. Літвінов // Навчальний посібник. – К.: ДУТ. – 2015. – 196 с.
4. Бабчук С. М. Визначення спеціалізованої комп'ютерної мережі для підвищення енергоефективності експлуатації будівель підприємств нафтогазового комплексу [Текст] / С. М. Бабчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2016. – №3. – С. 96-99.
5. Babchuk, S. Classification of Specialized Computer Networks [Text] / S. M. Babchuk // Journal of Automation and Information Sciences. – 2016. – Vol. 48. – P. 57-64.
6. Бабчук С. М. Впровадження енергозберігаючих технологій на базі спеціалізованої комп'ютерної мережі LON [Текст] / С. М. Бабчук // Научные труды SWorld. – 2016. – Т. 2. – №3. – С. 14-17.
7. Бабчук С. М. Класифікація спеціалізованих комп'ютерних мереж для автоматизації систем життєзабезпечення будівель [Текст] / С. М. Бабчук // Сборник научных трудов SWorld. – 2014. – Т. 11. – № 3 (36). – С. 33-35.
8. Wireless M-Bus Suite and Silabs specific documentation: Quick Start Guide. – Steinbeis Transfer Center for Embedded Design and Networking. – 2014. – 71 p.
9. Internet of Things. - Keysight Technologies, 2016. – 10 p.
10. Nixon M. A Comparison of WirelessHART and ISA100.11a. - Emerson Process Management. – 2012 – 39 p.
11. InduraNET – industrial wireless communication. - Pilz. – 2007. - 31 p
12. Shuguang Chen, Tingting Sun, Jingjing Yuan, Xiaoyan Geng, Changle Li, Sana Ullah, Mohammed Abdullah Alnuem / Performance Analysis of IEEE 802.15.4e Time Slotted Channel Hopping for Low-Rate Wireless Networks // KSII transactions on internet and information systems. – 2013 - Vol. 7, № 1 – P. 1-21

#### References

1. Karp I. M. Naftogazoviy kompleks Ukrainy [Text] / I. M. Karp // Visnyk NAN Ukrainy. – 2006. – # 2. – S.32-41.
2. Babchuk S.M. Vyznachennya shlyakhiv pidvyshchennya gnuchkosti avtomatyzovanykh system upravlinnya tekhnologichnymy procesamy // Konferenciya "Measuring and computing equipment in technological processes". – 2017.
3. Sajko V. G. Merezhi bezdrotovogo shirokosmugovogo dostupu [Text] / V. G. Sajko, V. Ya. Kazimirenko, Yu. M. Litvinov // Navchalnyj posibnyk. – K.: DUT. – 2015. – 196 s.
4. Babchuk S. M. Vyznachennya specializovanoi kompyuternoi merezhi dlya pidvyshchennya energoefektyvnosti ekspluatatsiyi budivel pidpryyemstv naftogazovogo kompleksu [Text] / S. M. Babchuk // Vymiryuvalna ta obchyslyuvalna texnika v tekhnologichnyx procesax. – 2016. – #3. – S. 96-99.
5. Babchuk, S. Classification of Specialized Computer Networks [Text] / S. M. Babchuk // Journal of Automation and Information Sciences. – 2016. – Vol. 48. – P. 57-64.
6. Babchuk S. M. Vprovadzhennya energozberigayuchykh tehnologij na bazi specializovanoi kompyuternoi merezhi LON [Text] / S.M. Babchuk // Nauchnie trudi SWorld. – 2016. – Т. 2. – #3. – S. 14-17.
7. Babchuk S. M. Klasyfikaciya specializovanykh kompyuternyx merezh dlya avtomatyzaciyi system zhytlyezabezpechennya budivel [Text] / S. M. Babchuk // Sbornyk nauchnyx trudov SWorld. – 2014. – Т. 11. – # 3 (36). – S. 33-35.
8. Wireless M-Bus Suite and Silabs specific documentation: Quick Start Guide. – Steinbeis Transfer Center for Embedded Design and Networking. – 2014. – 71 p.
9. Internet of Things. - Keysight Technologies, 2016. – 10 p.
10. Nixon M. A Comparison of WirelessHART and ISA100.11a. - Emerson Process Management. – 2012 – 39 p.
11. InduraNET – industrial wireless communication. - Pilz. – 2007. - 31 p
12. Shuguang Chen, Tingting Sun, Jingjing Yuan, Xiaoyan Geng, Changle Li, Sana Ullah, Mohammed Abdullah Alnuem / Performance Analysis of IEEE 802.15.4e Time Slotted Channel Hopping for Low-Rate Wireless Networks // KSII transactions on internet and information systems. – 2013 - Vol. 7, № 1 – P. 1-21

Рецензія/Peer review : 17.06.2017 р.

Надрукована/Printed :24.10.2017 р.

Стаття рецензована редакційною колегією