

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2026-1\(97\)-359-364](https://doi.org/10.26642/ten-2026-1(97)-359-364)
УДК 004.75

**Ю.О. Подчашинський, д.т.н., проф.
О.С. Іщенко, аспірант**

Державний університет «Житомирська політехніка»

Оцінка швидкодії та надійності інформаційно-вимірювальної системи з адаптивним налаштуванням методів передачі та обробки даних

Розглянуто проблему оцінювання показників якості інформаційно-вимірювальної системи як кількісних характеристик її властивостей (швидкодія, затримка передавання, надійність, інтегральна достовірність, завадостійкість). Ці показники якості суттєві для вимірювання механічних параметрів рідини в закритих резервуарах розподіленою інформаційно-вимірювальною системою та визначають здатність системи задовольняти задані потреби відповідно до технічних умов. Досліджувана система передбачає застосування адаптивного налаштування методів передавання та обробки даних. Основну увагу зосереджено на формуванні узагальненої моделі траси передавання інформації, яка враховує апаратні, програмні та каналні складові затримки, а також імовірнісні чинники спотворення даних.

В ході дослідження вирішено такі завдання: аналіз обмежень традиційних підходів до оцінювання швидкодії, надійності та достовірності інформаційних, інформаційно-вимірювальних та інформаційно-керуючих систем; розроблення структурної моделі траси передавання інформації для вимірювального каналу систем з адаптивними механізмами; розрахунок часових складових затримки на всіх етапах проходження сигналу з вимірювальною інформацією; побудова аналітичної моделі реальної швидкодії з урахуванням повторних передавань в умовах певної ймовірності спотворень; обґрунтування необхідності комплексного підходу до оцінювання показників якості інформаційно-вимірювальної системи на основі інтегральної достовірності.

Методологічною основою роботи є системний підхід, структурно-функціональний аналіз траси передавання інформації, а також імовірнісні методи оцінювання достовірності та оперативності функціонування інформаційно-вимірювальної системи з адаптивним налаштуванням методів передачі та обробки даних.

Ключові слова. *інформаційно-вимірювальна система; адаптивна система; траса передавання інформації; швидкодія; затримка передавання; надійність; інтегральна достовірність; завадостійкість.*

Актуальність теми. Упровадження інформаційних технологій на промислових підприємствах та об'єктах комунального господарства потребує створення багатофункціональних інформаційних, інформаційно-керуючих та інформаційно-вимірювальних систем (ІВС). Сучасна елементна база і засоби передавання інформації дозволяють інтегрувати в одну систему територіально розподілені об'єкти, віддалені від центрів управління на відстань 100 км і більше.

Традиційно такі системи поділялися на три основні класи: автоматизовані системи диспетчерського управління (АСДУ); автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ); реєстратори аварійної інформації (РАІ). Функціональне навантаження на вказані системи, висока вартість створення окремих каналів зв'язку для кожного класу систем, складність їх обслуговування сприяють об'єднанню різних класів пристроїв у багатофункціональні (інтегровані) комплекси, у яких зазначені класи (інформаційні, інформаційно-керуючі та інформаційно-вимірювальні системи) вводяться як підсистеми.

Поряд з очевидними перевагами створення інтегрованих таких комплексів виникають апаратні й програмні труднощі. Складність синтезу інтегрованих ІВС можна звести до двох основних проблем: необхідності забезпечення високих показників достовірності інформації та оптимізації спряження між компонентами єдиної системи, особливо під час інтеграції компонентів різних виробників.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. У роботі [1] Є.М. Портнова та О.С. Іщенко увагу зосереджено на системотехнічних основах створення сучасних інформаційно-керуючих комплексів та ІВС. Під час проектування таких систем важливо враховувати не лише характеристики окремих модулів, а й особливості їх взаємодії в межах єдиної структури.

Окремо слід відзначити дослідження Ю.О. Подчашинського та О.С. Іщенко, присвячене вибору й оптимізації уніфікованого протоколу передавання вимірювань у ІВС [2]. У цій роботі підкреслено, що ефективність протоколу залежить від його узгодження зі структурою системи та умовами її роботи.

Теоретичною основою дослідження також є праці з теорії ймовірностей і цифрового зв'язку, у яких розглянуто вплив завад, імовірність помилок, часові затримки, а також методи кодування і декодування даних [3–6]. Практичні питання організації обміну даними в розподілених системах висвітлено в роботах, присвячених сучасним SCADA-протоколам [7] та ІВС системам [8–12].

Отже, наявні публікації достатньо добре описують окремі сторони побудови ІВС, проте питання комплексного оцінювання їх показників якості в умовах адаптивного налаштування методів передавання й обробки даних потребує подальшого опрацювання. Саме на розв'язання цього завдання і спрямована стаття.

Метою статті є розроблення та обґрунтування узагальненої моделі оцінювання показників якості (швидкодії, затримки передавання, надійності, інтегральної достовірності, завадостійкості) ІВС з адаптивним налаштуванням методів передавання й обробки даних, а також визначення критеріїв, що дозволяють оцінювати реальну швидкодію, надійність і достовірність функціонування таких систем.

Оцінка ефективності та якості в інформаційних системах з адаптивним налаштуванням методів передачі та обробки даних. Аналіз наявних технічних рішень показує, що багато інтегрованих ІВС створюються механічним об'єднанням різнорідних компонентів, причому для оцінки якості утвореного конгломерату складових частин використовуються показники, які не відображають реальні параметри системи в цілому.

Наведемо кілька характерних прикладів:

- як показник оперативності (швидкодії) системи пропонується використовувати час передавання одного інформаційного повідомлення каналом зв'язку між датчиком і обчислювальним блоком ІВС;
- показник надійності системи оцінюється напрацюванням на відмову для кожного окремого модуля;
- достовірність інформації часто визначається лише впливом завад на повідомлення, що передається каналом зв'язку між датчиком і обчислювальним блоком ІВС.

Наведена підміна показників створює ілюзію забезпечення високих показників якості складної системи й не відображає реального стану справ, особливо під час роботи ІВС у нештатних ситуаціях.

За спотвореного тлумачення показника оперативності системи не враховуються:

- імовірність спотворення даних з відмовою приймача від обробки та реєстрації отриманих даних;
- затримка між первинною і повторною передачею одного й того самого повідомлення у разі спотворення раніше переданого;
- імовірність спотворення під час введення інформації від датчиків;
- імовірність спотворення даних у лінійних адаптерах та інших пристроях, увімкнених у трасу доставки інформації до приймача;
- затримка початку передачі вже підготовленої інформації.

Для ілюстрації сказаного на рисунку 1 наведено схематичне зображення траси передавання інформації для акустичних сигналів, що використовуються для вимірювання механічних параметрів рідини в закритих резервуарах розподіленою інформаційно-вимірювальною системою.

Модель траси передавання інформації



Рис. 1. Траса передавання інформації розподіленої інформаційно-вимірювальної системи механічних параметрів рідини в закритих резервуарах

Сумарний час затримки передавання інформації у системі визначається як сума часових затримок усіх її елементів:

$$T_{\text{заг}} = t_{\text{PA}} + t_{\text{C}} + t_{\text{BIK}} + t_{\text{COD}} + t_{\text{TX}} + t_{\text{CH}} + t_{\text{RX}} + t_{\text{DEC}} + t_{\text{OUT}}. \quad (1)$$

До формули (1) входять такі часові складові затримки елементів системи:

t_{PA} – час затримки у перетворювачі акустичному (ПА):

$$t_{PA} = t_{\text{мех}} + t_{\text{сенси}} + t_{\text{фільтр}},$$

де $t_{\text{мех}}$ – механічна інерційність чутливого елемента; $t_{\text{сенси}}$ – час електроакустичного перетворення; $t_{\text{фільтр}}$ – затримка первинної аналогової фільтрації;

t_C – затримка поширення сигналу в кабелі:

$$t_C = L / v + t_{\text{спотвор}},$$

де L – довжина кабелю; v – швидкість поширення сигналу; $t_{\text{спотвор}}$ – додаткова затримка, зумовлена ємнісними та індуктивними параметрами лінії;

t_{BIK} – затримка в блоці інформаційному комбінованому (БІК):

$$t_{BIK} = t_{\text{АЦП}} + t_{\text{буф}} + t_{\text{оброб}} + t_{\text{черга}},$$

де $t_{\text{АЦП}}$ – час аналого-цифрового перетворення; $t_{\text{буф}}$ – час накопичення даних у буфері; $t_{\text{оброб}}$ – затримка первинної цифрової обробки; $t_{\text{черга}}$ – час очікування обслуговування;

t_{COD} – час кодування інформації:

$$t_{COD} = L_{\text{код}} / F_{\text{CPU}} + t_{\text{FEC}},$$

де $L_{\text{код}}$ – довжина алгоритму кодування; F_{CPU} – тактова частота процесора; t_{FEC} – час формування завадостійкого коду;

t_{TX} – затримка у передавачі:

$$t_{TX} = t_{\text{мод}} + t_{\text{синхр}} + t_{\text{буф}_{TX}},$$

де $t_{\text{мод}}$ – час модуляції сигналу; $t_{\text{синхр}}$ – формування синхрослів; $t_{\text{буф}_{TX}}$ – затримка передавального буфера;

t_{CH} – затримка у каналі зв'язку:

$$t_{CH} = N / R + t_{\text{пошир}} + t_{\text{ретранс}},$$

де N – кількість біт повідомлення; R – швидкість передавання; $t_{\text{пошир}}$ – затримка поширення сигналу; $t_{\text{ретранс}}$ – додаткові затримки, пов'язані з повторними передаваннями;

t_{RX} – затримка у приймачі:

$$t_{RX} = t_{\text{декод}} + t_{\text{віднов}} + t_{\text{буф}_{RX}},$$

де $t_{\text{декод}}$ – час демодуляції; $t_{\text{віднов}}$ – відновлення тактової синхронізації; $t_{\text{буф}_{RX}}$ – затримка приймального буфера;

t_{DEC} – час декодування:

$$t_{DEC} = L_{\text{дек}} / F_{\text{CPU}} + t_{\text{FEC}_{\text{кор}}},$$

де $L_{\text{дек}}$ – довжина алгоритму декодування; $t_{\text{FEC}_{\text{кор}}}$ – час виявлення та виправлення помилок;

t_{OUT} – затримка системи виводу інформації:

$$t_{OUT} = N_{\text{out}} / F_{\text{out}} + t_{\text{віз}} + t_{\text{реакц}},$$

де N_{out} – обсяг даних, що виводяться; F_{out} – швидкість інтерфейсу; $t_{\text{віз}}$ – затримка візуалізації; $t_{\text{реакц}}$ – час формування події або архівації.

Таким чином, сумарна затримка системи передавання інформації визначається сукупністю апаратних, програмних та каналних складових. Отримана модель дозволяє виконувати аналітичну оцінку швидкодії системи, а також визначати критичні елементи, оптимізація яких забезпечує зменшення загального часу затримки.

Для визначення показника реальної швидкодії ІВС необхідно також урахувати імовірність виявлення приймачем спотворення інформації, унаслідок чого виникає потреба повторної передачі. У такому разі реальну швидкодію (оперативність) слід визначати за формулою:

$$T_{\text{реал.заг}} = T_{\text{заг}} + R_{\text{спот}} \cdot (T_{\text{оч.квит}} + T_{\text{заг}} + T_{\text{гот.перед}}), \quad (2)$$

де $R_{\text{спот}} = N \cdot P_1$, $P_1 = 10^{-3} \dots 10^{-4}$ – імовірність одноразового спотворення інформації завадами в каналі зв'язку;

$T_{\text{оч.квит}}$ – час очікування квитанції, що підтверджує нормальний прийом інформації (найчастіше 1...10 с);

$T_{\text{гот.перед}}$ – час затримки між фіксацією факту необхідності повторної передачі інформації та готовністю передавача реалізувати повторне виведення даних.

Розрахунок за формулою (2) показує, що реальна швидкодія системи у 3–5 разів нижча за ту, що зазвичай наводиться в рекламних матеріалах ІВС.

Розрахунок реальної надійності одного каналу ІВС. Показники надійності ІКС необхідно виражати часом напрацювання на відмову для **одного каналу** кожної виконуваної функції. Однак багато виробників ІВС наводять інший показник – напрацювання на відмову **одного модуля**. У результаті «надійність» виражається цифрами напрацювання на відмову 100 000, а інколи й 1 000 000 годин. Підкреслимо, що ці цифри не відображають реальної надійності ІВС.

Пояснимо сказане аналізом структури частини ІВС, яка має враховуватися під час розрахунку реальної надійності одного каналу (рис. 2).

Структура каналу ІКС для визначення надійності

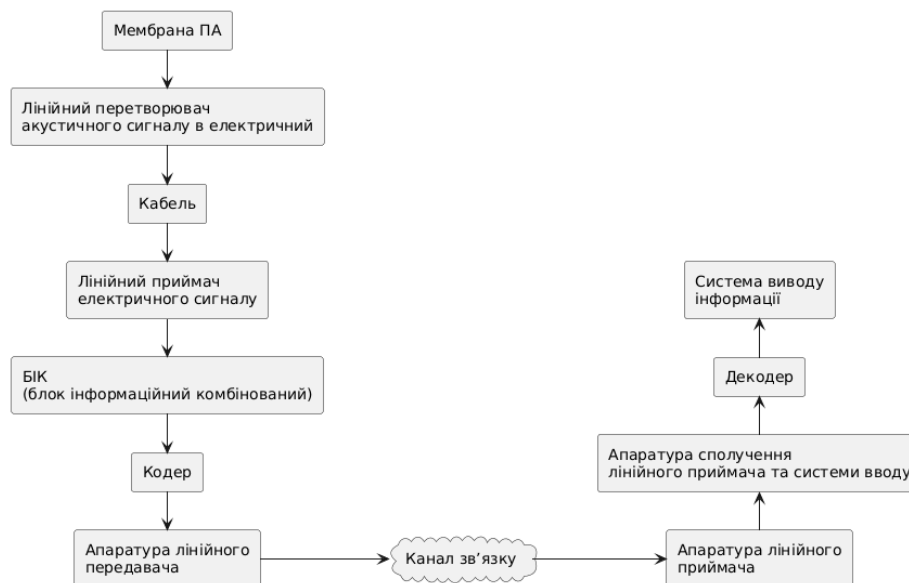


Рис. 2. Структура каналу ІКС для визначення надійності

Для визначення надійності одного каналу необхідно враховувати більшу частину апаратури всієї ІВС. Показник надійності залежить не лише від побудови модуля для вибраного виду інформації, а й, у ще більшій мірі, від загальної структури розподіленої системи.

Показники швидкодії, оперативності, надійності, заводськості є складовими узагальненого показника – інтегральної достовірності, яка визначається за імовірністю невиявленого спотворення інформації. Під час розрахунку інтегральної достовірності необхідно враховувати дані всіх модулів, наведених на рисунку 2. Зазначена імовірність невиявленого спотворення інформації $P_{н.с}$ визначається формулою:

$$P_{н.с} = P_{ввід} + P_{к.зв} + P_{кодер} + P_{декодер},$$

де $P_{ввід}$ – імовірність спотворення під час введення сигналу від датчика;

$P_{к.зв}$ – імовірність спотворення під час передавання інформації каналом зв'язку;

$P_{кодер}$ – імовірність спотворення під час кодування;

$P_{декодер}$ – імовірність спотворення під час декодування інформації на боці приймача.

Таким чином, високі показники якості ІВС не можуть бути досягнуті без теоретичної, структурної та системної розробки методів інтеграції окремих підсистем в єдину інтегровану систему.

Іншим важливим чинником, що впливає на показники комп'ютеризованих ІВС, є коректний вибір протоколу інформаційного обміну між периферійними і центральними пунктами.

Особливу увагу зазначеному чиннику слід приділяти під час синтезу ІВС із компонентів різних виробників. Стандартами на ІВС рекомендується використовувати міжнародні протоколи інформаційного обміну.

Однак за практикою, що склалася, пропоновані для використання протоколи не пов'язуються з розробленням або доопрацюванням ІВС для узгодження структур та алгоритмів роботи з ідеологією використовуваних протоколів. Як правило, пропоновані протоколи «підтримуються» вже наявними системами незалежно від того, наскільки оптимально протокол може бути в них реалізований. У результаті очікуваний ефект від уніфікації інформаційних обмінів може бути зведений до нуля. Застосування інтелектуальних протоколів за умови збереження високого показника інтегральної достовірності потребує жорсткої кореляції протоколу та структури ІВС у цілому.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті показано, що створення сучасних ІВС з адаптивним налаштуванням методів передачі та обробки даних потребує всебічного системного теоретичного аналізу реальних показників якості ІВС. Багато проблем, що виникають під час використання ІВС, пов'язані з тим, що чинні стандарти не відображають сучасний стан та розвиток інформаційних технологій.

Традиційні підходи до оцінювання якості інформаційних, інформаційно-керуючих та інформаційно-вимірювальних систем, які базуються на локальних показниках швидкодії окремих модулів або пропускної здатності каналу зв'язку, не відображають реальних характеристик складних інтегрованих систем, особливо в умовах завод і нештатних режимів роботи.

Об'єктивна оцінка якості інформаційних, інформаційно-керуючих та інформаційно-вимірювальних систем повинна базуватися на інтегральних показниках, які поєднують оперативність, надійність і достовірність інформації. Показано, що досягнення високих показників якості неможливе без системної оптимізації структури складної системи, адаптивного налаштування методів передавання і обробки даних та узгодження протоколів обміну зі структурою системи.

Список використаної літератури:

1. *Портнов Є.М.* Системотехніка сучасних інформаційно керуючих комплексів / *Є.М. Портнов, О.С. Іщенко* // Вісник Інженерної академії України. – 2006. – № 1. – С. 39–46.
2. *Подчашинський Ю.О.* Вибір та оптимізація уніфікованого протоколу передачі результатів вимірювань в інформаційно-вимірювальних системах з адаптивним налаштуванням / *Ю.О. Подчашинський, О.С. Іщенко* // Технічна інженерія. – 2024. – № 1 (93). – С. 289–294. DOI: 10.26642/ten-2024-1(93)-289-294.
3. *Ventcel E.S.* Theory of Probability and Its Engineering Applications / *E.S. Ventcel*. – New York : Dover Publications, 2007. – 527 p.
4. *Колієнов С.О.* Цифровий зв'язок: методичний посібник до лабораторного практикуму для студентів радіофізичного факультету / *С.О. Колієнов*. – Київ : Радіофізичний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2013. – 76 с.
5. *Proakis J.G.* Digital Communications / *J.G. Proakis, M.Salehi*. – 5th ed. – McGraw-Hill, 2008. – 1170 p.
6. *Haykin S.* Communication Systems / *S.Haykin*. – 5th ed. – Wiley, 2009. – 260 p.
7. *Clarke G.* Practical Modern SCADA Protocols / *G. Clarke, D.Reynders, E.Wright* // Newnes, 2004. – 548 p.
8. IEC 60870-5-101 Transmission Protocols – Companion standards especially for basic telecontrol tasks. – 2003.
9. IEC 60870-5-104 Transmission Protocols – Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles. – 2016.
10. Modbus application protocol specification, v1.3 / The Modbus Organization. – 2012.
11. IEEE Standard for Electric Power Systems Communications-Distributed Network Protocol (DNP3). – 2012.
12. IEC TR 61850-90-2:2016 Using IEC 61850 for communication between substations and control centers. – 2016.

References:

1. Portnov, Ye.M. and Ishchenko, O.S. (2006), «Systemotekhnika suchasnykh informatsiino keruiuchykh kompleksiv», *Visnyk Inzhenernoi akademii Ukrainy*, No. 1, pp. 39–46.
2. Podchashynskiy, Yu.O. and Ishchenko, O.S. (2024), «Vybir ta optymizatsiia unifikovanoho protokolu peredachi rezultativ vymiryuvan v informatsiino-vymiryualnykh systemakh z adaptyvnyim nalashtuvanniam», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (93), pp. 289–294, doi: 10.26642/ten-2024-1(93)-289-294.
3. Ventcel, E.S. (2007), *Theory of Probability and Its Engineering Applications*, Dover Publications, New York, 527 p.
4. Koliyev, S.O. (2013), *Tsyfrovyy zvyazok, metodychnyy posibnyk do laboratornoho praktykumu dlia studentiv radiofizychnoho fakultetu*, Radiofizychnyy fakultet Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Kyiv, 76 p.
5. Proakis, J.G. and Salehi, M. (2008), *Digital Communications*, 5th ed., McGraw-Hill, 1170 p.
6. Haykin, S. (2009), *Communication Systems*, 5th ed., Wiley, 260 p.
7. Clarke, G., Reynders, D. and Wright, E. (2004), «Practical Modern SCADA Protocols», *Newnes*, 548 p.
8. IEC (2003), *IEC 60870-5-101 Transmission Protocols – Companion standards especially for basic telecontrol tasks*.
9. IEC (2016), *IEC 60870-5-104 Transmission Protocols – Network access for IEC 60870-5-101 using standard transport profiles*.
10. The Modbus Organization (2012), *Modbus application protocol specification*, v1.3.
11. IEEE (2012), *IEEE Standard for Electric Power Systems Communications-Distributed Network Protocol (DNP3)*.
12. IEC (2016), *IEC TR 61850-90-2:2016 Using IEC 61850 for communication between substations and control centers*.

Подчашинський Юрій Олександрович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0000-0002-8344-6061>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання;
- інформаційні системи та технології.

Іщенко Олександр Сергійович – аспірант кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Державного університету «Житомирська політехніка».

<http://orcid.org/0009-0003-8626-8656>.

Наукові інтереси:

- комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні системи;
- цифрова обробка сигналів і відеозображень;
- метрологія, засоби вимірювання.

Podchashynskiy Yu.O., Ishchenko O.S.

Assessment of the speed and reliability of an information and measuring system with adaptive tuning of data transmission and processing methods

The problem of assessing the quality indicators of an information and measuring system as quantitative characteristics of its properties (speed, transmission delay, reliability, integral reliability, noise immunity) is considered. These quality indicators are essential for measuring the mechanical parameters of a liquid in closed tanks by a distributed information and measuring system and determining the system's ability to meet the specified needs in accordance with the technical conditions. The system under study involves the use of adaptive tuning of data transmission and processing methods. The main attention is focused on the formation of a generalized model of the information transmission route, which takes into account the hardware, software and channel components of the delay, as well as probabilistic factors of data distortion.

The following tasks were solved during the study: analysis of the limitations of traditional approaches to assessing the speed, reliability and reliability of information, information and measuring and information and control systems; development of a structural model of the information transmission path for the measuring channel of systems with adaptive mechanisms; calculation of the time components of the delay at all stages of the signal with the measuring information; construction of an analytical model of the real speed, taking into account repeated transmissions under conditions of a certain probability of distortions; justification of the need for a comprehensive approach to assessing the quality indicators of the information and measuring system based on integral reliability.

The methodological basis of the work is a system approach, structural and functional analysis of the information transmission path, as well as probabilistic methods for assessing the reliability and efficiency of the functioning of the information and measuring system with adaptive settings of data transmission and processing methods.

Keywords: information and measuring system; adaptive system; information transmission path; speed; transmission delay; reliability; integral reliability; noise immunity.

Стаття надійшла до редакції 14.01.2026.