

УДК 004.7

DOI: 10.31891/2219-9365-2021-68-2-8

БАБЧУК С. М.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАЛЕЖНОСТІ ШВИДКОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ ВІД ДОВЖИНИ СЕГМЕНТУ СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ЦИФРОВОЇ МЕРЕЖІ COMLI НА БАЗІ RS-232C

Спеціалізована цифрова мережа COMLI є детермінованою. Користувачі даної мережі можуть бути впевненими в передбачуваній, незмінній реакції на зовнішні події, а розробники систем управління технологічними процесами можуть забезпечити надійне управління в режимі реального часу. На першому етапі досліджень було прийнято рішення дослідити яка математична залежність буде найкраще описувати зміну швидкості передавання даних, яка визначена виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини. Зокрема, було проведено розрахунки направлені на порівняння характеру зміни швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C у порівнянні з наступними залежностями: експоненціальною, лінійною, логарифмічною, поліноміальною, степеневою. В результаті проведених досліджень встановлено, що серед вищевказаних математичних залежностей найкраще описує характер зміни швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C степенева залежність. На другому етапі досліджень розроблено математичні моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C. Зокрема, розроблена математична модель, яка відтворює залежність швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C від довжини сегменту з похибкою до 3%. Для попереднього аналізу та попередніх розрахунків така точність може бути прийнятною. Для точних розрахунків швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C розроблена модель, яка забезпечує обчислення з похибкою, яка не перевищує 0,01%. Розроблені математичні моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C сприятимуть ефективнішому проектуванню систем контролю та керування на базі мережі COMLI.

Ключові слова: математична модель, COMLI, COMmunication Link, fieldbus, комп'ютерна мережа, спеціалізована цифрова мережа, системи автоматизації, електроенергія.

S. BABCHUK

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

## MATHEMATICAL MODELS OF DEPENDENCE OF DATA RATE ON LENGTH OF SEGMENT OF SPECIALIZED DIGITAL NETWORK COMLI BASED ON RS-232C

The specialized digital network COMLI is deterministic. Users of this network can be confident in the predictable, consistent response to external events, and developers of process control systems can provide reliable real-time control. At the first stage of research, it was decided to investigate which mathematical dependence will best describe the change in data rate, which is determined by the manufacturer of the COMLI network on segments of this network of different lengths. In particular, calculations were made to compare the nature of the change in data rate from the length of the segment of the specialized digital network COMLI based on RS-232C in comparison with the following dependences: exponential, linear, logarithmic, polynomial, power function. As a result of the conducted researches it is established that among the above-mentioned mathematical dependences the character of change of speed of data transfer from length of a segment of the specialized digital network COMLI on the basis of RS-232C power function dependence best describes. In the second stage of research, mathematical models of the dependence of the data rate on the length of the segment of the specialized digital network COMLI based on RS-232C were developed. In particular, a mathematical model was developed that reproduces the dependence of the data rate in the COMLI network based on RS-232C on the segment length with an error of up to 3%. For preliminary analysis and preliminary calculations, such accuracy may be acceptable. For accurate calculations of data rate from the length of the segment of the specialized digital network COMLI on the basis of RS-232C developed a model that provides calculations with an error not exceeding 0.01%. The developed mathematical models of the dependence of the data rate on the length of the segment of the specialized digital network COMLI based on RS-232C will contribute to more efficient design of control and management systems based on the COMLI network.

Keywords: mathematical model, COMLI, COMmunication Link, fieldbus, network, digital specialized network, automation systems, electricity.

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Енергетична безпека - найважливіша складова життєдіяльності країни. Одним з аспектів енергетичної безпеки є стан потужностей з виробництва і транспортування електроенергії та перспективи їх розвитку на найближчу і довгострокову перспективу. Енергетична безпека не може розглядатися у відриві від стану економіки країни. Не так давно прийнята «Оновлена енергетична стратегія України до 2035 року», в якій визначено основні показники і напрямки діяльності з різних видів генерацій електроенергії [1].

Енергетична стратегія - це невід'ємна складова стратегії економічного розвитку країни, оскільки виробництво електроенергії повинне забезпечити стійкий розвиток економіки у відповідності з принципами і положеннями, обґрунтованим економічною наукою [1].

Електроенергетика - це галузь з надзвичайно тривалим інвестиційним циклом. Наприклад, від ідеї

побудувати ядерний енергоблок до його введення в експлуатацію потрібно від 12 - до 15 років. І це при наявності згоди в суспільстві та наявності політичної волі у влади. Таким чином, рішення, прийняті сьогодні, реалізуються якраз до 2035 року [1].

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Раніше для автоматизації та управління технологічними процесами використовували централізовані системи, а також аналогові технології передачі даних. Централізоване управління має ряд недоліків: такі системи не гнучкі, складні і дорого обходяться в створенні. Аналогова передача даних з більшої кількості датчиків і взаємодія з великою кількістю виконавчих механізмів пов'язані з використанням кілометрів дорогих кабелів і складністю їх обслуговування. Крім того, аналогові електричні або пневматичні сигнали слабшають з відстанню, а на електричні аналогові сигнали також негативно впливають перешкоди від зовнішніх джерел, які спотворюють інформацію про технологічний процес. Зараз у цих походах практично не залишилося прихильників, але оскільки свого часу такі технології були впроваджені на великій кількості підприємств і з тим, що багато виробничих підприємств відчувають нестачу оборотних коштів на багатьох з них такі технології ще використовуються. У міру формування фондів для модернізації відбувається їх заміна.

Одним із способів вирішення вищезазначеної проблеми є впровадження в системи автоматизації цифрових спеціалізованих комп'ютерних мереж, які забезпечують надійну передачу цифрових даних, які уможливають децентралізацію управління різними контурами управління, зменшується кількість кабелів, а для передачі цифрових даних між великим числом різних пристроїв (контролери, датчики, виконавчі механізми) можна використати дешеву виту пару [2].

В результаті проведених досліджень встановлено, що для побудови систем контролю та автоматизації управління енергетичними об'єктами та їх інфраструктурою можна використовувати цифрову спеціалізовану цифрову мережу COMLI [3-11].

COMLI (COMmunication LInk) - це система передачі даних в системах автоматизації для зв'язку між системами управління. Мережа COMLI була розроблена компанією Alfa Laval. Згодом компанію Alfa Laval поглинула шведсько-швейцарська компанія ABB, що спеціалізується в галузі електротехніки, енергетичного машинобудування та інформаційних технологій, офіси якої представлені у понад 100 країнах світу.

Мережа COMLI є детермінованою завдяки тому, що в ній реалізовано режим обміну даними Master / Slave. Користувачі даної мережі можуть бути впевненими в передбачуваній, незмінній реакції на зовнішні події, а розробники систем управління технологічними процесами можуть забезпечити надійне управління в режимі реального часу [8].

В зв'язку з вищевказаним спеціалізовану цифрову мережу COMLI можна використати в системах автоматизації енергетичних підприємств, де важлива передбачувана реакція на зміни, що відбуваються на об'єкті контролю чи керування [8].

В спеціалізованій цифровій мережі COMLI викорисовуються тільки два рівні з семирівневої моделі ISO/OSI: прикладний рівень та фізичний рівень [4].

Перший рівень моделі ISO/OSI в мережі COMLI може бути реалізований на базі RS-232C (V.24) [4].

В спеціалізованій цифровій мережі COMLI RS232C/V24 використовується в основному для підключення до терміналів, але також може бути використаний для комунікації точка-точка [9].

Максимальна довжина сегменту мережі COMLI може становити до 600 м. Швидкість передавання даних в мережі змінюється в залежності від довжини сегменту від 9600 біт/с на відстані 40 м до 600 біт/с на відстані 600 м.

В джерелі [9] вказано швидкості передавання даних визначені виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини (табл.1)

Таблиця 1

#### Швидкості передавання даних визначені виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини

Довжина сегменту мережі COMLI на базі RS232C, м	Швидкість передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, біт/с
40	9600
75	4800
150	2400
300	1200
600	600

Відсутність залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI ускладнює проектуванню систем контролю та керування на базі мережі COMLI.

### Формулювання цілей статті

Метою проведених досліджень було розробити математичну модель залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C.

### Виклад основного матеріалу

#### Розробка математичної моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C.

На першому етапі досліджень було прийнято рішення дослідити яка математична залежність буде найкраще описувати зміну швидкості передавання даних, яка визначена виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини. Зокрема, було проведено розрахунки направлені на порівняння характеру зміни швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C у порівнянні з наступними залежностями:

експоненціальною;

- лінійною;
- логарифмічною;
- поліноміальною;
- степенною.

В результаті проведених досліджень встановлено, що серед вищевказаних математичних залежностей найкраще описує характер зміни швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C степенна залежність:

$$y(x) = ax^{-b} . \quad (1)$$

Після цього було здійснено пошук коефіцієнтів  $a$  та  $b$ , які б дозволили моделі (1) найкраще відобразити залежність зміни швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C. В результаті проведених досліджень було визначено, що:

$$a = 400411$$

$$b = -1,019$$

Враховуючи визначені значення коефіцієнтів  $a$  та  $b$  вираз (1) отримав вигляд:

$$y(x) = 400411x^{-1.019} . \quad (2)$$

Графік визначеної математичної моделі (2) швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C та точок швидкостей передавання даних визначених виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини на ньому зображено на рис. 1.

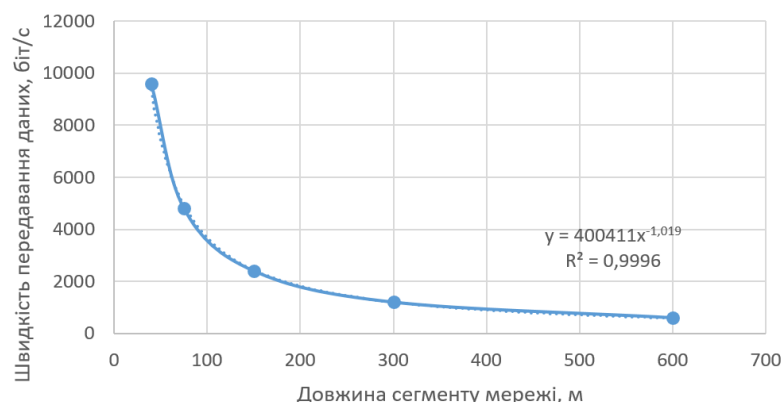


Рис. 1. Графік зміни швидкості передавання даних в залежності від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C побудований за допомогою розробленої математичної моделі (2) та точки швидкостей передавання даних, які визначені виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини

В таблиці 2 відображено порівняння значень швидкості передавання даних визначеної виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини та швидкості передавання даних, яка обчислена за

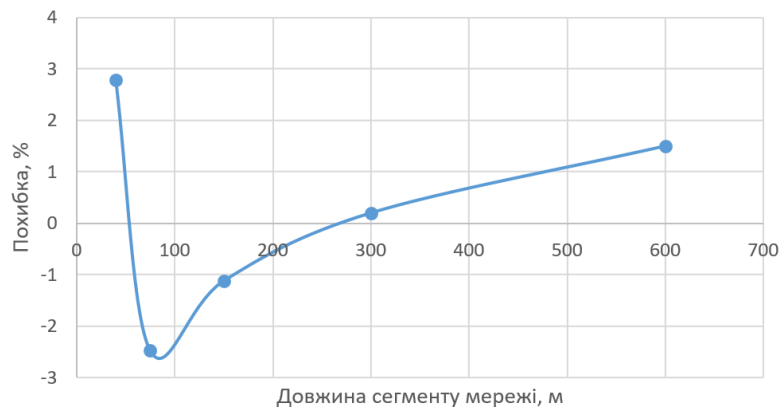
допомогою розробленої математичної моделі (2) залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C.

Таблиця 2

**Аналіз відповідності швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, яка обчислена за допомогою розробленої математичної моделі (2), швидкостям передавання даних, які визначені виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі відповідної довжини**

Довжина сегменту мережі COMLI на базі RS232C, м	Швидкість передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, яка визначена виробником мережі COMLI, біт/с	Швидкість передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, яка обчислена за допомогою розробленої математичної моделі (2), біт/с	Похибка, біт/с	Похибка, %
40	9600	9332,69	267,31	2,78
75	4800	4918,34	-118,34	-2,47
150	2400	2427,00	-27,00	-1,12
300	1200	1197,62	2,38	0,20
600	600	590,98	9,02	1,50

Графік зміни величини похибки обчислення швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C за допомогою розробленої математичної моделі (2) показаний на рис.2.



**Рис. 2. Похибка обчислення швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C за допомогою розробленої математичної моделі 2**

Як видно з табл.2 та з рис.2 розроблена математична модель (2) відтворює залежність швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C від довжини сегменту з похибкою до 3%. Для попереднього аналізу та попередніх розрахунків така точність може бути прийнятною.

Подальші дослідження були направлені на пошук математичної моделі, яка б відтворювала залежність швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C від довжини сегменту з похибкою меншою 1%.

З цією метою було проведено ряд досліджень зміни швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C від довжини сегменту на окремих ділянках мережі різної довжини.

В результаті проведених досліджень було розроблено математичну модель:

$$\begin{cases} y(x) = 560806x^{-1.103} & , \quad x \in [40; 75) \\ y(x) = 360000x^{-1} & , \quad x \in [75; 600] \end{cases} \quad (3)$$

В таблиці 3 відображено порівняння значень швидкості передавання даних визначеної виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі різної довжини та швидкості передавання даних, яка обчислена за допомогою розробленої математичної моделі (3) залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C.

Як видно з таблиці 3 похибка визначення за допомогою розробленої математичної моделі зміни швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої комп'ютерної мережі COMLI на базі RS-232C не перевищує 0,01%.

Таблиця 3

**Аналіз відповідності швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, яка обчислена за допомогою розробленої математичної моделі (3), швидкостям передавання даних, які визначені виробником мережі COMLI на сегментах даної мережі відповідної довжини**

Довжина сегменту мережі COMLI на базі RS232C, м	Швидкість передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, яка визначена виробником мережі COMLI, біт/с	Швидкість передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C, яка обчислена за допомогою розробленої математичної моделі (3), біт/с	Похибка, біт/с	Похибка, %
40	9600	9600	0	0
75	4800	4800	0	0
150	2400	2400	0	0
300	1200	1200	0	0
600	600	600	0	0

#### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті проведених досліджень було розроблено математичні моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C. Зокрема, розроблена математична модель (2), яка відтворює залежність швидкості передавання даних в мережі COMLI на базі RS-232C від довжини сегменту з похибкою до 3%. Для попереднього аналізу та попередніх розрахунків така точність може бути прийнятною. Для точних розрахунків швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C розроблена модель (3), яка забезпечує обчислення з похибкою, яка не перевищує 0,01%. Розроблені математичні моделі залежності швидкості передавання даних від довжини сегменту спеціалізованої цифрової мережі COMLI на базі RS-232C сприятимуть ефективнішому проектуванню систем контролю та керування на базі мережі COMLI.

#### Література

1. Копчинський Г., Шендерович В. Електроенергетика України - від виживання до розвитку. - Українського Ядерного Товариства. - 2018. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ukrns.org/ua/publikatsiji/item/1097-elektroenerhetyka-ukrainy-vid-vyzhyvannia-do-rozvytku>
2. Бабчук С.М. Монографія «Спеціалізовані комп'ютерні мережі і системи» - 2021 – 124 с.
3. Zenon driver manual COMLI v.8.00. COPA-DATA GmbH. - 2018. - 47 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://download.copadata.com/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Dokumentation/800SP0/ENGLISH/Driver/COMLI.pdf](https://download.copadata.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Dokumentation/800SP0/ENGLISH/Driver/COMLI.pdf)
4. COMLI. IPCOMM GmbH (Germany). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ipcomm.de/protocol/COMLI/en/sheet.html#REF0>
5. ABB Comli. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.avineas.org/index.php?page=abb-comli>
6. 200-CIPB/DP-UMS User's Manual. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.abb.com/products/ru/493106201/493106201>
7. COMLI protocol for MORSE. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.racom.eu/eng/support/prot/comli/index.html>
8. Babchuk S.M. Direction of improvement of control and management systems at energy companies. Technique and technology of the future '2021. – Karlsruhe, Germany. – 2021.
9. COMLI System Description. ABB Satt AB. – 117 p. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.sattcontrol.se/doc/COMLI\\_en.pdf](http://www.sattcontrol.se/doc/COMLI_en.pdf)
10. ABB SattCon COMLI. - Cimrex Electronics AB. - 17 p.
11. User Manual COMLI Protocol for MVI56-ADM. - Rockwell Automation AB. - 124 p.

#### References

1. V. Shenderovych, M. Shteinberh. Elektroenerhetyka Ukrainy - vid vyzhyvannia do rozvytku. – Ukrainske Yaderne Tovarystvo. - 2018. – Access mode: <https://ukrns.org/ua/publikatsiji/item/1097-elektroenerhetyka-ukrainy-vid-vyzhyvannia-do-rozvytku>
2. Babchuk S.M. Spetsializovani kompiuterni merezhi i systemy [Specialized computer networks and systems] - 2021 – 124 p.
3. Zenon driver manual COMLI v.8.00. COPA-DATA GmbH. - 2018. - 47 p. – Access mode: [https://download.copadata.com/fileadmin/user\\_upload/Downloads/Dokumentation/800SP0/ENGLISH/Driver/COMLI.pdf](https://download.copadata.com/fileadmin/user_upload/Downloads/Dokumentation/800SP0/ENGLISH/Driver/COMLI.pdf)
4. COMLI. IPCOMM GmbH (Germany). – Access mode: <https://www.ipcomm.de/protocol/COMLI/en/sheet.html#REF0>
5. ABB Comli. – Access mode: <https://www.avineas.org/index.php?page=abb-comli>
6. 200-CIPB/DP-UMS User's Manual. – Access mode: <https://new.abb.com/products/ru/493106201/493106201>
7. COMLI protocol for MORSE. – Access mode: <https://www.racom.eu/eng/support/prot/comli/index.html>
8. Babchuk S.M. Direction of improvement of control and management systems at energy companies. Technique and technology of the future '2021. – Karlsruhe, Germany. – 2021.
9. COMLI System Description. ABB Satt AB. – 117 p. – Access mode: [http://www.sattcontrol.se/doc/COMLI\\_en.pdf](http://www.sattcontrol.se/doc/COMLI_en.pdf)
10. ABB SattCon COMLI. - Cimrex Electronics AB. - 17 p.
11. User Manual COMLI Protocol for MVI56-ADM. - Rockwell Automation AB. - 124 p.