

DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2\(44\)-214-225](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2026-2(44)-214-225)

УДК 004.721:621.396:519.6

**Олексій Васильович Красножон<sup>1</sup>, Андрій Васильович Красножон<sup>2</sup>,  
Дмитро Віталійович Корбач<sup>3</sup>, Олександр Миколайович Хропатий<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [wingcommander2011@gmail.com](mailto:wingcommander2011@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2500-254X>

Scopus Author ID: 57190377188

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [red\\_john@ukr.net](mailto:red_john@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6215-7535>. Scopus Author ID: 57191825825

<sup>3</sup>здобувач вищої освіти групи МКІ-241

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [korbachdmytro@gmail.com](mailto:korbachdmytro@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6363-9482>

<sup>4</sup>викладач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [alexhropatiy@gmail.com](mailto:alexhropatiy@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1979-4114>

Scopus Author ID: 57221684314

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТЕЙ МОДУЛЯ HC-11 ДЛЯ РОБОТИ ВСЕРЕДИНИ НАВЧАЛЬНИХ ПРИМІЩЕНЬ

У сучасному світі відбувається процес поступового переходу до бездротових систем обміну даними. Для забезпечення такого зв'язку дуже часто використовуються модулі HC-11 завдяки своїй відносно невеликій ціні і простоті застосування. Метою цієї статті є пошук оптимальних налаштувань параметрів модуля HC-11 для забезпечення якісного зв'язку в навчальних приміщеннях університету.

У статті описано процес та результати проведення серії експериментів, спрямованих на виявлення впливу налаштувань модулів на якість зв'язку, що здійснюється всередині навчальних приміщень в межах одного та декількох поверхів. Аналіз отриманих результатів показав, що найкращі робочі частоти для передачі даних в межах поверху лежать в діапазоні від 300,0 до 433 МГц, при потужності вихідного сигналу передавача +10 dBm, при роботі між поверхами – 300,0 МГц і потужності передавача +10 dBm. У всіх випадках кращою виявилася модуляція GFSK.

**Ключові слова:** бездротовий зв'язок; модуль HC-11; мікросхема CC1101; SmartRF Studio; Average RSSI; середнє арифметичне; модуляція сигналу; передача даних; package error rate; bit error rate.

Рис.: 6. Табл.: 7. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** У сучасному світі системи обробки й передачі інформації все частіше використовуються в різноманітних сферах (від побутової техніки до промислової автоматизації), причому спостерігається чітка тенденція щодо переходу від дротових до бездротових способів передачі даних.

Термін «бездротовий», відповідно до [1], використовується відносно будь-якого виду електричної або електронної дії, що виконується без використання дротового зв'язку. Хоча такий спосіб передачі має свої беззаперечні переваги, недоліків у нього теж не бракує. Одним із популярних модулів бездротової передачі даних є HC-11, який зображено на рис. 1, реалізований на базі мікросхеми CC1101 від Texas Instruments.

У межах виконання НДР «Автоматизована система безпеки навчальних приміщень університету із клієнт-серверною архітектурою» ДР №0125U000504 передбачається використання бездротового способу обміну даними між пристроями системи, а отже, перевірка можливості застосування всередині приміщень модулів HC-11 для розбудови системи є важливим і актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** У переважній більшості прикладів застосування бездротових модулів HC-11 для прийому/передачі даних йде мова про їх використання або у відкритому просторі, або всередині приміщень на невеликій відстані (в межах кімнати або квартири). Однак навчальні приміщення університету мають певну специфіку:

– наявність великої кількості пристроїв, що забезпечують роботу бездротових комп'ютерних мереж стандарту IEEE.802.11 b/g/n;

- наявність великої кількості абонентських пристроїв мереж мобільного зв'язку стандарту GSM 900/1800;
- наявність великої кількості електричного обладнання (персональні комп'ютери, ноутбуки, навчально-відлагоджувальні стенди і т. ін.);
- наявність великих за розмірами приміщень.

Очевидно, що застосування бездротових модулів HC-11 у складі автоматизованої системи безпеки з одного боку не повинно впливати на роботу як бездротових мереж різноманітного призначення, так і іншого обладнання, а з іншого – не зазнавати впливу від них же самих. Крім того, модулі повинні забезпечувати стійкий зв'язок на відстанях, що складають десятки метрів.



Рис. 1. Зовнішній вигляд модуля бездротової передачі даних HC-11:  
а – вид зверху і б – вид знизу

Джерело: наведено в [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Приклади використання бездротових модулів зв'язку HC-11 для вирішення задачі обміну даними між пристроями системи описано в [3-8]. Використання цих модулів дозволяє отримати певні переваги: відносно низьку собівартість, та високу стабільність роботи. Особливої уваги заслуговують джерела [7, 8] оскільки проблеми, які там вирішуються є подібними до описаної, зокрема у [7] вирішується задача розгортання мережі безпроводних пристроїв Інтернету речей на основі модулів HC-11 з метою контролю якості повітря у приміщеннях кампусу університету Сілівангі, також наводиться оцінка таких параметрів мережі як максимальна відстань передачі та якість зв'язку (втрата переданих пакетів). У [8] досліджується можливість побудови бездротової мережі на основі HC-11, яка б дозволяла передавати велику кількість даних на короткі відстані.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Модуль HC-11 будується на базі мікросхеми CC1101 від компанії Texas Instruments, що має характеристики [9]:

- інтерфейс підключення: SPI;
- напруга живлення, В: 1,8 – 3,6;
- діапазони робочих частот, МГц: 300,0 – 348,0; 387,0 – 464,0; 779,0 – 928,0;
- рівень чутливості, dBm: -116,0 (при швидкості передачі 0.6 kBaud), -112,0 (при швидкості передачі 1.2 kBaud) на частоті 868 МГц;
- максимальна потужність вихідного сигналу, dBm: +12;
- потужність сигналу антени, dBm: -30, -20, -15, -10, -6, 0, +5, +7, +10, +12;
- види модуляцій: 2-FSK, 4-FSK, GFSK, ASK, MSK;
- швидкість передачі, Кбіт/с: 0,6 – 600,0;
- довжина буферів для прийому і передачі, байт: по 64;
- максимальний струм споживання при передачі, mA: 22,0;
- струм споживання в режимі Sleep, mA: 80,0;
- струм споживання в режимі Idle, mA: 3,5.

З наведеного вище випливає, що даний модуль має широкий діапазон параметрів для налаштування режиму роботи. Очевидно, що деякі із цих параметрів будуть істотно впливати на дальність зв'язку і швидкість обміну даними в автоматизованій системі безпеки приміщень.

Таким чином, необхідно експериментальним шляхом встановити залежність якості зв'язку, що забезпечує модуль НС-11 від параметрів режиму його роботи. У цьому дослідженні оцінка якості зв'язку буде здійснюватися за трьома параметрами:

- середня потужність прийнятого сигналу MARSSI (Mean Average Received Signal Strength Indicator);
- середня кількість помилкових пакетів MPER (Mean Packet Error Rate);
- середня кількість помилкових бітів MBER (Mean Bit Error Rate).

**Мета статті.** Отже, метою написання цієї статті є опис експериментів та аналіз отриманих даних з метою пошуку найбільш оптимальних наборів робочих параметрів модулів НС-11 для роботи у складі автоматизованої системи.

**Одиниці вимірювання потужності.** Дуже часто в системах бездротового зв'язку як потужність сигналів, що передаються, так і тих, що приймаються, прийнято вимірювати в dBm (іноді dBmW) або децибел-міліватах – це абревіатура для позначення відношення потужності в децибелах (dB) до вимірної потужності відповідно до 1 мВт (1 mW). Ця величина застосовується в радіо-, мікрохвильових пристроях і волоконно-оптичних мережах як зручна міра абсолютної потужності завдяки здатності виражати дуже малі і дуже великі значення в короткій формі [10].

Абсолютна потужність, виражена в dBm, розраховується за формулою.

$$X = 10 \cdot \lg\left(\frac{P}{1\text{mW}}\right), \quad (1)$$

де  $P$  – потужність сигналу, виміряна в мВт.

Усі потужності переданих і прийнятих сигналів, наведені в цій статті, будуть вимірюватись саме в децибел-міліватах.

**Перевірка якості зв'язку в межах одного поверху.** Протягом березня 2025 року було проведено 8 серій експериментів, покликаних дослідити вплив потужності вихідного сигналу, робочої частоти, типу модуляції та довжини пакета даних на якість бездротового зв'язку.

Серія експериментів проводилась в межах поверху 8 корпусу IV Національного університету “Чернігівська політехніка”. Модулі НС-11 розміщувалися в аудиторіях 81 та 83. Між вказаними аудиторіями розташовуються 2 капітальних стіни, та 1 перегородка. Висота розміщення обох модулів відносно підлоги становила 1,5 м. У кожному досліді серії передавалося 100 пакетів із затримкою на передачу в 300 мс між сусідніми пакетами. На рис. 2 наведено фрагмент плану поверху 8 корпусу IV НУ “ЧП”, на якому точками А і В показано розташування модулів при проведенні експериментів. Зазначимо, що модулі НС-11, які використовувались, мали лише вбудовану антену, а самі антени були розташовані вертикально і паралельно одна одній.

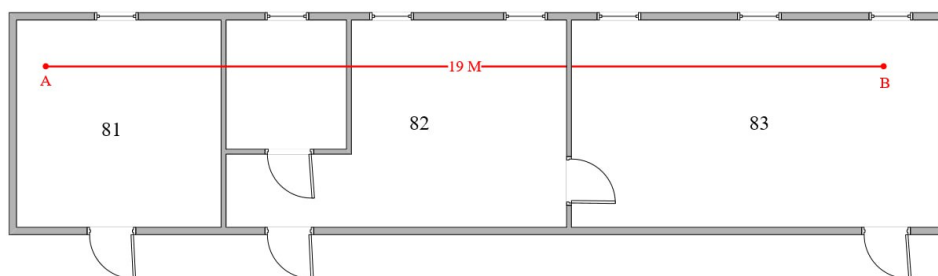


Рис. 2. Фрагмент плану поверху 8 корпусу IV НУ “ЧП”

Джерело: наведено авторами.

Налаштування параметрів на боці передавача для всіх восьми серій експериментів показано нижче, у табл. 1, а результати першої та другої серій експериментів – у табл. 2 і 3 відповідно.

Таблиця 1 – Налаштування параметрів передавача при проведенні експериментів

№ серії	Потужність вихідного сигналу, dBm	Робоча частота, МГц	Тип модуляції	Розмір пакета даних, байт		
				15	30	60
1	+10,0	300,0	GFSK	15	30	60
2	0,0					
3	+10,0	433,0				
4	0,0					
5	+10,0	868,0				
6	0,0					
7	+10,0	915,0				
8	0,0					

Джерело: розраховано авторами.

Таблиця 2 – Результати першої серії експериментів

№ досліду	Місце передавача	Місце приймача	Розмір пакета даних, байт	ARSSI, dBm	Packet error rate, %	Bit error rate, %
1	83	81	15	-75,0	0,0	0,0
2	81	83		-75,2	0,0	0,0
3	83	81		-74,8	0,0	0,0
4	81	83		-74,3	0,0	0,0
5	83	81		-78,1	0,0	0,0
6	81	83		-75,8	0,0	0,0
7	83	81	30	-75,2	1,0	0,0
8	81	83		-73,3	0,0	0,0
9	83	81		-75,2	2,0	0,0
10	81	83		-71,5	0,0	0,0
11	83	81		-73,8	0,0	0,0
12	81	83		-74,1	0,0	0,0
13	83	81	60	-74,5	0,0	0,0
14	81	83		-74,0	0,0	0,0
15	83	81		-78,1	1,0	0,0
16	81	83		-80,2	3,0	0,0
17	83	81		-75,2	0,0	0,0
18	81	83		-75,7	0,0	0,0

Джерело: розраховано авторами.

Варто зазначити, що для керування режимами роботи модулів HC-11 як на прийомі, так і на передачі, налаштування їх робочих параметрів, а також вимірювання параметрів сигналів, що приймаються, було використано фірмове програмне забезпечення – комп'ютерний додаток SmartRF Studio (v.1.18.0) – від компанії-виробника Texas Instruments, що є безкоштовним для використання.

Таблиця 3 – Результати другої серії експериментів

№ досліду	Місце передавача	Місце приймача	Розмір пакету даних, байт	ARSSI, dBm	Packet error rate, %	Bit error rate, %
1	2	3	4	5	6	7
1	83	81	15	-88,0	1,0	0,0
2	81	83		-86,7	0,0	0,0
3	83	81		-85,9	0,0	0,0
4	81	83		-88,1	0,0	0,0

Закінчення таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7
5	83	81	30	-87,9	0,0	0,0
6	81	83		-88,0	0,0	0,0
7	83	81		-86,4	0,0	0,0
8	81	83		-86,0	0,0	0,0
9	83	81		-86,5	0,0	0,0
10	81	83		-86,4	0,0	0,0
11	83	81		-86,4	1,0	0,0
12	81	83		-86,9	0,0	0,0
13	83	81	60	-86,8	1,0	0,0
14	81	83		-86,7	0,0	0,0
15	83	81		-85,9	1,0	0,0
16	81	83		-87,1	0,0	0,0
17	83	81		-86,5	0,0	0,0
18	81	83		-86,6	2,0	0,0

Джерело: отримано авторами

Параметр ARSSI, який автоматично розраховувався на прийомній стороні з допомогою SmartRF Studio для кожної серії зі 100 пакетів, являє собою середнє арифметичне значення потужності прийнятих сигналів і розраховується за формулою:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n P_i, \tag{2}$$

де  $P_i$  – потужність прийнятого сигналу конкретного пакета;  
 $n$  – кількість пакетів (в нашому випадку вона складає 100).

Аналогічним чином здійснювався розрахунок Packet error rate та Bit error rate.

Скориставшись формулою (2), були розраховані значення параметрів MARSSI, MPER та MBER для кожної довжини пакета даних у кожній серії експериментів, їх наведено в табл. 4. З метою дотримання вимог щодо обсягу статті, повністю наведено результати експериментів лише для серій 1 і 2, результати серій 3 – 8 наводяться не будуть (таблиці для них виглядають повністю аналогічно до табл. 2 і 3).

Як видно із табл. 4, результати першої серії експериментів показали, що при робочій частоті 300,0 МГц, потужності вихідного сигналу +10 dBm і модуляції GFSK пакети передаються стабільно, якість зв'язку висока. Додатково слід зазначити, що під час проведення всіх серій експериментів на нижчих поверхах будівлі виконувались ремонтні роботи із застосуванням електроінструменту (перфоратор, дріль та ін.). Такі інструменти є джерелом електромагнітних завад в широкому діапазоні частот, що додатково ускладнює умови роботи модулів, чим і пояснюється ненульове значення параметру MPER.

Крім того, встановлено, що час проведення кожного дослідження збільшився приблизно на 30% при передачі пакетів довжиною 60 байт у порівнянні із пакетами по 15 байт.

Результати другої серії експериментів показали, що при заданих налаштуваннях передавача забезпечується висока якість зв'язку, а поява незначних помилок при прийомі пакетів/бітів не чинить суттєвого впливу. З метою покращення сприйняття результатів, було здійснено їх візуалізацію у вигляді діаграми, зображеної на рис. 3.

Таблиця 4 – Результати розрахунку параметрів для всіх серій експериментів

№ серії	Довжина пакета, байт	MARSSI, dBm	MPER, %	MBER, %
1	2	3	4	5
1	15	-75,53	0,000	0,0000
	30	-73,85	0,500	0,0000
	60	-76,28	0,666	0,0000

Закінчення таблиці 4

2	15	-87,43	0,166	0,0000
	30	-86,43	0,166	0,0000
	60	-86,60	0,666	0,0000
3	15	-95,05	2,500	0,0150
	30	-94,48	14,130	0,0620
	60	-82,20	0,000	0,0000
4	15	-108,17	5,000	0,0560
	30	-103,42	1,166	0,0053
	60	-97,12	0,000	0,0000
5	15	-89,47	0,166	0,0020
	30	-89,23	0,000	0,0000
	60	-87,45	0,000	0,0000
6	15	-97,55	1,000	0,0083
	30	-98,72	2,833	0,0116
	60	-96,97	1,833	0,0033
7	15	-110,30	1,736	0,0114
	30	-109,82	1,903	0,0080
	60	-109,70	3,753	0,0100
8	15	-112,00	100,000	100,0000
	30			
	60			

Джерело: розраховано авторами.

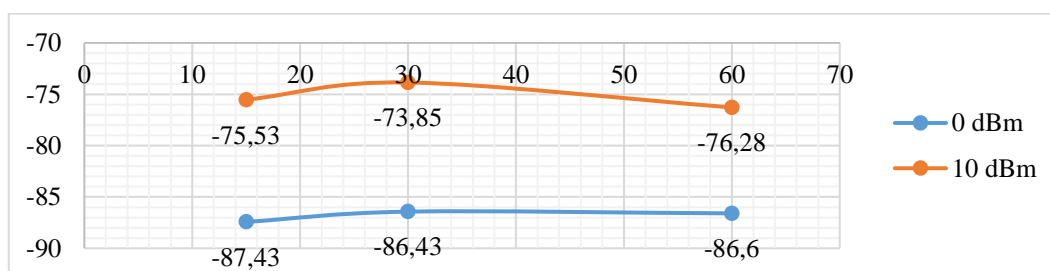


Рис. 3. Залежність середньої потужності прийнятого сигналу від довжини пакета при різних потужностях передавача на частоті 300,0 МГц  
Джерело: складено авторами.

Як видно з рис. 3, всі MARSSI прийнятого сигналу більші за -95,0 dBm (або 0,316 пВт), що перевищує нижню межу потужності сприйняття сигналу для НС-11 [9].

Результати третьої серії експериментів показали, що при робочій частоті 433,0 МГц, потужності вихідного сигналу +10 dBm і модуляції GFSK пакети передаються стабільно, однак якість зв'язку є гіршою, оскільки відчутно зросли значення параметрів MPER та MBER, що пояснюється впливом електромагнітного випромінювання систем автомобільної сигналізації, які працюють в цьому ж частотному діапазоні.

Як видно із результатів четвертої серії, пакети передаються із перебоями та частковою втратою даних, хоча збільшення розміру пакета покращує якість зв'язку.

Результати серій 5, 6 і 7 характеризуються зростанням кількості помилок як при прийомі пакетів, так і при прийомі бітів, а також зниженням потужності прийнятих сигналів. Таким чином, якість зв'язку загалом погіршується.

Значення параметра ARSSI для експериментів серії 8 становило -112,0 dBm не залежно від довжини пакетів даних. Це значення є нижнім порогом чутливості модуля НС-11, тому, дуже імовірно, що потужність вхідного сигналу була навіть меншою за це значення. Саме тому параметри Packet error rate та Bit error rate становили 100 %.

Наведені результати свідчать про те, що частота 915,0 МГц є вкрай неприйнятною для роботи модулів всередині приміщень.

Нижче, на рис. 4 показано зведену діаграму для всіх восьми серій експериментів. Видно, що для обміну даними в межах одного поверху (для типу модуляції GFSK) найбільш придатними є наступні параметри передавача:

- 1) робоча частота – 300,0 МГц, потужність вихідного сигналу +10 dBm;
- 2) робоча частота – 300,0 МГц, потужність вихідного сигналу 0 dBm;
- 3) робоча частота – 433,0 МГц, потужність вихідного сигналу +10 dBm;
- 4) робоча частота – 868,0 МГц, потужність вихідного сигналу +10 dBm;

При інших значеннях параметрів модулів HC-11, середня потужність прийнятого сигналу стає нижче межі стійкого прийому, що спричиняє різке зниження якості зв'язку.

Далі варто дослідити вплив потужності вихідного сигналу, робочої частоти, типу модуляції та довжини пакета на якість бездротового зв'язку при роботі між поверхами.

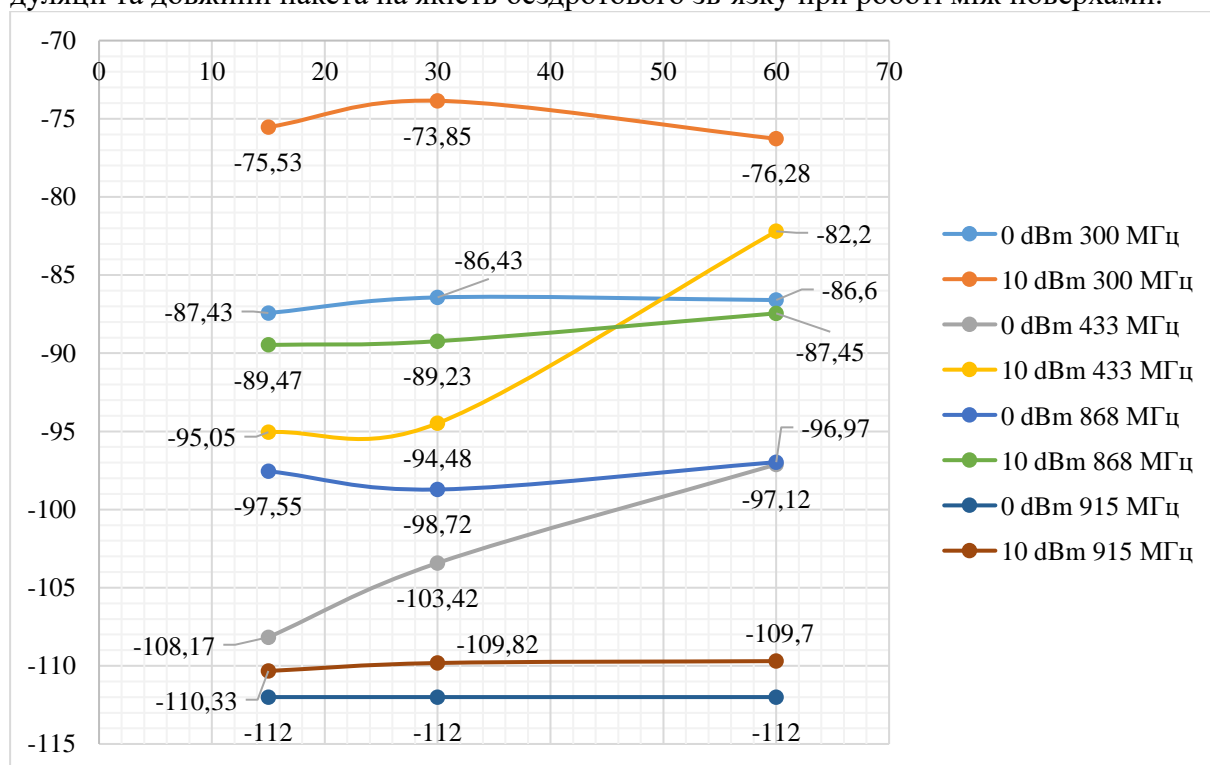


Рис. 4. Зведена діаграма залежності потужності прийнятого сигналу від довжини пакета при різних потужностях передавача та для різних частот

Джерело: складено авторами.

**Перевірка якості зв'язку між поверхами приміщення.** Для дослідження якості зв'язку при роботі між поверхами було обрано аудиторії 93 та 65 корпусу IV університету. На рис. 5 наведено фрагменти планів поверхів 9 і 6 корпусу IV.

Методика проведення експериментів була аналогічною описаній вище: змінювалась довжина пакета даних та потужність сигналу передавача при фіксованій частоті, рівній 300,0 МГц. Для кожної комбінації параметрів було проведено по 6 експериментів, в кожному із яких передавалось 100 пакетів, після чого розраховувались значення параметрів MARSSI, MPER та MBER на прийомній стороні. Висоти розташування передавача і приймача були аналогічними попереднім серіям експериментів, приблизна відстань між модулями становила 19,6 м. На шляху сигналу було 2 несучих стіни та 3 міжповерхових перекриття.

Нижче в табл. 5 наведено результати проведених експериментів, у табл. 6 – значення параметра MARSSI, а на рис. 6 – графічну залежність потужності отриманого сигналу при роботі між поверхами на частоті 300,0 МГц.

Результат дослідження показав, що зі збільшенням довжини пакета, середня потужність прийнятого сигналу трохи зменшується. При потужності сигналу передавача, рівній +10 dBm, потужність отриманого сигналу трохи вища за поріг стійкого прийняття сигналу, що спричиняє періодичну появу помилок. При потужності передавача у +0 dBm приймач взагалі не отримує сигнал. Було проведено декілька експериментів для інших значень робочої частоти, але всі вони показали незадовільну якість бездротового зв'язку.

Загалом передача даних крізь 3 поверхи будівлі є можливою, але у дуже обмеженому діапазоні налаштувань модулів НС-11. Зважаючи на це, в рамках функціонування автоматизованої системи безпеки навчальних приміщень передбачається обмін даними між пристроями, що знаходяться не далі, ніж на сусідніх поверхах. Тобто, можливостей модулів НС-11 для цього цілком вистачить.

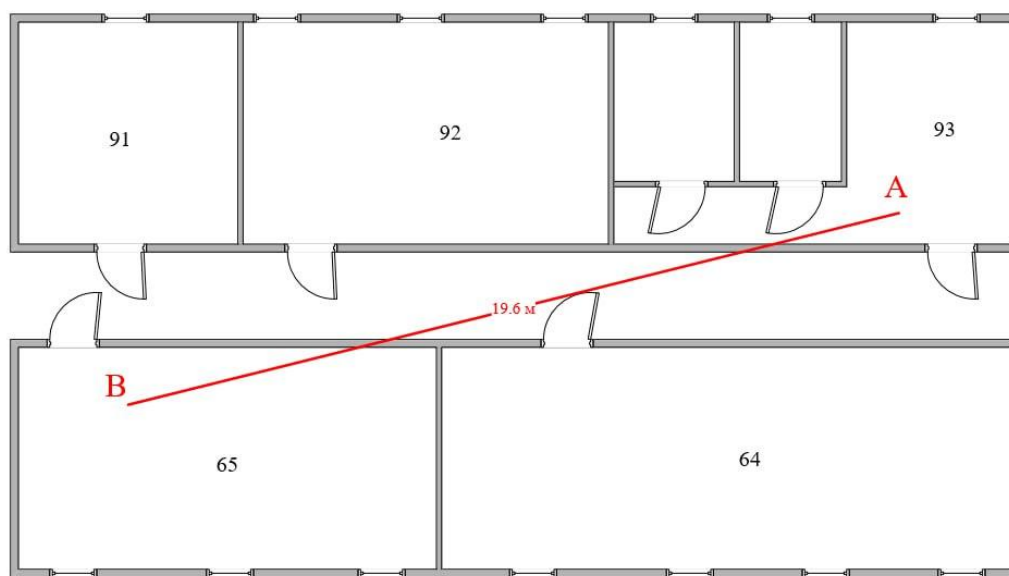


Рис. 5. Фрагменти плану поверху 9 (вгорі) і поверху 6 (внизу) корпусу IV НУ“ЧП”  
Джерело: складено авторами.

Таблиця 5 – Результати досліджень якості зв'язку при роботі між поверхами

№ дос-ліду	Місце пере-давача	Місце приймача	Потужність передавача, dBm	Розмір пакету даних, байт	ARSSI, dBm	Packet error rate, %	Bit error rate, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	93	65	+10,0	15	-98,5	0,0	0,00
2	65	93			-97,0	0,0	0,00
3	93	65			-97,1	0,0	0,00
4	65	93			-98,8	0,0	0,00
5	93	65			-96,0	0,0	0,00
6	65	93			-96,1	0,0	0,00
7	93	65	0,0		-112,0	100,0	100,00
8	65	93			-107,2	56,8	0,54
9	93	65			-112,0	100,0	100,00
10	65	93			-112,0	100,0	100,00
11	93	65			-112,0	100,0	100,00
12	65	93			-112,0	100,0	100,00

Закінчення таблиці 5

1	2	3	4	5	6	7	8
13	93	65	+10,0	30	-98,2	0,0	0,00
14	65	93			-97,8	0,0	0,00
15	93	65			-98,5	0,0	0,00
16	65	93			-96,3	0,0	0,00
17	93	65			-99,5	5,0	0,02
18	65	93			-99,5	0,0	0,00
19	93	65	0,0	30	-112,0	0,0	0,00
20	65	93			-112,0	0,0	0,00
21	93	65			-112,0	0,0	0,00
22	65	93			-112,0	0,0	0,00
23	93	65			-112,0	0,0	0,00
24	65	93			-112,0	0,0	0,00
25	93	65	+10,0	60	-99,3	12,0	0,03
26	65	93			-98,3	0,0	0,00
27	93	65			-97,5	28,0	0,07
28	65	93			-100,8	1,0	0,00
29	93	65			-102,3	61,0	0,19
30	65	93			-100,2	0,0	0,00
31	93	65	0,0	60	-112,0	0,0	0,00
32	65	93			-112,0	0,0	0,00
33	93	65			-112,0	0,0	0,00
34	65	93			-112,0	0,0	0,00
35	93	65			-112,0	0,0	0,00
36	65	93			-112,0	0,0	0,00

Джерело: складено авторами.

Таблиця 6 – Значення параметру MARSSI прийнятого сигналу

Потужність сигналу передавача, dBm	Довжина пакету, байт		
	15	30	60
+0,0	-111,20	-112,00	-112,00
+10,0	-97,25	-98,30	-99,73

Джерело: складено авторами.

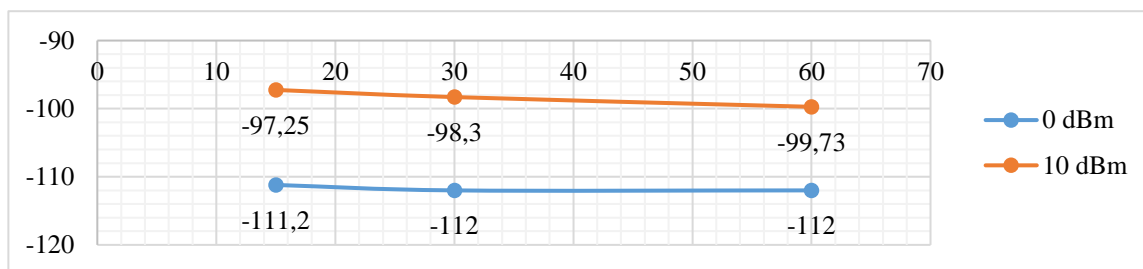


Рис. 6. Залежність середньої потужності прийнятого сигналу від довжини пакету при різних потужностях передавача на частоті 300,0 МГц при роботі між поверхами  
Джерело: складено авторами.

**Перевірка якості зв'язку між поверхами приміщення при різних типах модуляції.** Як зазначалось вище, модуль бездротового зв'язку HC-11 підтримує такі види модуляції: ASK, 2-FSK, 4-FSK, MSK та GFSK. У всіх попередніх серіях експериментів використовувалась лише гауссівська частотна модуляція (GFSK).

Тепер необхідно експериментально перевірити залежність якості зв'язку від типу модуляції. Для цього було обрано аудиторії 93 та 65 корпусу ІV університету. Дослідження проходило за наступних параметрів: робоча частота – 300,0 МГц, довжина пакету – 60 байтів, потужність передавача +10 dBm. У табл. 7 наведено результати дослідження.

На основі даних із табл. 7, було розраховано значення MARSSI, яке склало:

- 112,0 dBm для модуляції ASK (Amplitude Shift Keying);
- 98,7 dBm для модуляції 2-FSK (Binary Frequency Shift Keying);
- 101,45 dBm для модуляції 4-FSK (4-level Frequency Shift Keying);
- 106,55 dBm для модуляції MSK (Minimum Shift Keying);
- 98,8 dBm для модуляції GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying).

Серед зазначених типів модуляції, найкращі показники якості зв'язку притаманні двом типам модуляції – 2-FSK та GFSK.

Таблиця 7 – Результати дослідження якості зв'язку при різних типах модуляції

№ досліду	Місце передавача	Місце приймача	Тип модуляції	ARSSI, dBm	Packet error rate, %	Bit error rate, %
1	93	65	ASK	-112	100,0	-
2	65	93		-112	100,0	-
3	93	65	2-FSK	-96,7	2,0	0,00
4	65	93		-100,7	1,0	0,00
5	93	65	4-FSK	-101,8	60,0	0,18
6	65	93		-101,1	1,0	0,00
7	93	65	MSK	-101,1	8,0	0,01
8	65	93		-112	100,0	-
9	93	65	GFSK	-99,3	12,0	0,03
10	65	93		-98,3	0,0	0,00

Джерело: складено авторами.

**Висновки.** У межах виконання ініціативної ДР № 0125U000504 “Автоматизована система безпеки навчальних приміщень університету із клієнт-серверною архітектурою” експериментальним шляхом було здійснено перевірку можливостей застосування модулів бездротового зв'язку HC-11 всередині навчальних приміщень. Мета перевірки – оцінка якості зв'язку на основі трьох параметрів: середнього значення потужності сигналу, що отримується, кількість помилок при прийомі пакетів даних і кількість помилок при прийомі бітів даних. У результаті аналізу отриманих експериментальних даних було встановлено:

1. Для забезпечення високоякісного зв'язку між модулями в межах одного поверху приміщення найкращим буде використання частот в діапазоні 300,0 – 868,0 МГц, а також передавача із потужність вихідного сигналу в діапазоні від +0,0 до +10,0 dBm.
2. Для забезпечення високоякісного зв'язку між модулями, що знаходяться на різних поверхах будівлі, найкращим буде використання частоти 300,0 МГц із максимально можливою потужністю вихідного сигналу (+10 dBm).
3. У переважній більшості експериментів модулі HC-11 забезпечують вищу якість зв'язку при передачі пакетів обсягом від 30 до 60 байтів.
4. Серед усіх видів модуляції сигналів, які підтримуються модулем HC-11, найбільш висока якість зв'язку забезпечується при використанні гауссівської частотної модуляції (GFSK).
5. При зниженні рівня потужності отриманого сигналу нижче -95 dBm (0,316 пВт) якість зв'язку різко погіршується.

#### Список використаних джерел

1. Бездротовий зв'язок. (б. д.). *Вікі ЦДУ*. [https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/Бездротовий\\_зв'язок](https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/Бездротовий_зв'язок).
2. Модуль HC-11. (б. д.). *Nikom.biz*. [https://www.nikom.biz/ua/product\\_A733009.html](https://www.nikom.biz/ua/product_A733009.html).
3. Gao, J., & Zhu, Y. (2020). Design and implementation of wireless communication system based on CC1100. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 782, 052019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/782/5/052019>.
4. Nawaz, H., Bozkurt, A., & Tekin, I. (2017). A novel power efficient asynchronous time difference of arrival indoor localization system using CC1101 radio transceivers. *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(3), 550–555. <https://doi.org/10.1002/mop.30342>.

5. Nawaz, H., Bozkurt, A., & Tekin, I. (2017). A novel power efficient asynchronous time difference of arrival indoor localization system using CC1101 radio transceivers. *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(3), 550–555. <https://doi.org/10.1002/mop.30342>.
6. Nawaz, H., Tahir, A., Ahmed, N., Fayyaz, U. U., Mahmood, T., Jaleel, A., Gogate, M., Dashtipour, K., Masud, U., & Abbasi, Q. (2021). Ultra-low-power, high-accuracy 434 MHz indoor positioning system for smart homes leveraging machine learning models. *Entropy*, 23(11), 1401. <https://doi.org/10.3390/e23111401>.
7. Nursuwars, F. M. S., Hiron, N., Aldya, A. P., & Wahyudin, A. S. (2024). CC1101 network for healthcare cyber physical system on air quality data acquisition. In *Proceedings of the 4th International Conference on Electronics, Biomedical Engineering, and Health Informatics* (pp. 63–77). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-97-1463-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-97-1463-6_5).
8. Yin, Z., Xiang, K., & Fan, W. (2015). The design of wireless communication system based on STC12+CC1101. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Materials Engineering and Information Technology Applications*. <https://doi.org/10.2991/meita-15.2015.39>.
9. Texas Instruments. (n.d.). *Product description: Low-power sub-1 GHz RF transceiver CC1101*. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>.
10. Корбач, Д., Красножон, О., & Красножон, А. (2025). Експериментальна перевірка роботи модуля безпроводної передачі даних HC-11 всередині приміщень. In *Юність науки – 2025* (pp. 1077–1078). НУ «Чернігівська політехніка». <https://ir.stu.cn.ua/items/7024c8b0-86f3-4ff4-baa0-3548f8c61574>.

### References

1. Wireless communication. (n.d.). Wiki CDU. [https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/Бездротовий\\_зв'язок](https://wiki.cusu.edu.ua/index.php/Бездротовий_зв'язок).
2. HC-11 module. (n.d.). Nikom.biz. [https://www.nikom.biz/ua/product\\_A733009.html](https://www.nikom.biz/ua/product_A733009.html).
3. Gao, J., & Zhu, Y. (2020). Design and implementation of wireless communication system based on CC1100. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 782, 052019. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/782/5/052019>.
4. Nawaz, H., Bozkurt, A., & Tekin, I. (2017). A new energy-efficient asynchronous indoor positioning system using CC1101 radio receivers. *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(3), 550–555. <https://doi.org/10.1002/mop.30342>.
5. Nawaz, H., Bozkurt, A., & Tekin, I. (2017). A new energy-efficient asynchronous indoor positioning system using CC1101 radio receivers. *Microwave and Optical Technology Letters*, 59(3), 550–555. <https://doi.org/10.1002/mop.30342>.
6. Nawaz, H., Tahir, A., Ahmed, N., Fayyaz, U. U., Mahmood, T., Jaleel, A., Gogate, M., Dashtipour, K., Masud, U., & Abbasi, Q. (2021). Ultra-low-power, high-accuracy 434 MHz indoor positioning system for smart homes using machine learning models. *Entropy*, 23(11), 1401. <https://doi.org/10.3390/e23111401>.
7. Nursuwars, F. M. S., Hiron, N., Aldya, A. P., & Wahyudin, A. S. (2024). CC1101 network for healthcare cyber physical system on air quality data acquisition. In *Proceedings of the 4th international conference on electronics, biomedical engineering, and health informatics* (pp. 63–77). [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-1463-6\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-97-1463-6_5).
8. Yin, Z., Xiang, K., & Fan, W. (2015). The design of wireless communication system based on STC12+CC1101. In *Proceedings of the 2015 international conference on materials engineering and information technology applications*. <https://doi.org/10.2991/meita-15.2015.39>.
9. Product description low-power sub-1 ghz RF transceiver CC1101. (n.d.). Texas Instruments. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/cc1101.pdf>.
10. Korbach, D., Krasnozhan, O., & Krasnozhan, A. (2025). Експериментальна перевірка роботи модуля безпроводної передачі даних HC-11 всередині приміщень [Experimental verification of the operation of the HC-11 wireless data transmission module indoors]. In *Youth of Science – 2025* (pp. 1077–1078). Chernihiv Polytechnic National University. <https://ir.stu.cn.ua/items/7024c8b0-86f3-4ff4-baa0-3548f8c61574>.

Дата першого надходження статті до видання: 01.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 19.03.2026

**Oleksii Krasnozhon<sup>1</sup>, Andrii Krasnozhon<sup>2</sup>, Dmytro Korbach<sup>3</sup>, Oleksandr Khropatyi<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, associate professor of the Department of Information and Computer Systems  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [wingcommander2011@gmail.com](mailto:wingcommander2011@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2500-254X>

**Scopus Author ID:** [57190377188](https://orcid.org/0000-0003-2500-254X)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences,

Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Information and Measurement Technologies  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [red\\_john@ukr.net](mailto:red_john@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6215-7535>. **Scopus Author ID:** [57191825825](https://orcid.org/0000-0002-6215-7535)

<sup>3</sup>PhD student of the Department of Electronics, automatics, robotics, mechatronics, group ASD-122-22

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [andrey.dymerets@gmail.com](mailto:andrey.dymerets@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7617-5291>. **Scopus Author ID:** [57204287360](https://orcid.org/0000-0002-7617-5291)

<sup>4</sup>Lecturer, Department of Information and Computer Systems

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [alexhropatyi@gmail.com](mailto:alexhropatyi@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1979-4114>. **Scopus Author ID:** [57221684314](https://orcid.org/0000-0003-1979-4114)

**EXPERIMENTAL TESTING OF THE HC-11 MODULE'S CAPABILITIES  
FOR WORKING INSIDE EDUCATIONAL ROOMS**

*The relevance of this article lies in describing the obtaining and analyzing experimental data on the application of HC-11 wireless communication modules inside educational buildings. These data will form the basis for implementing an automated security system for university classrooms as part of the state-registered research work No. 0125U000504.*

*HC-11 wireless modules are based on the CC1101 integrated circuit from Texas Instruments, which provides a wide range of configurable operating parameters. Evidently, parameters, including operating frequency, signal modulation type, transmitter power, and data packet length substantially affect communication quality; therefore, it is necessary to experimentally determine their influence on communication quality, evaluated using three indicators, namely: the arithmetic mean of the received signal strength, packet error rate, and bit error rate. Module configuration and communication quality assessment were performed in the SmartRF Studio environment provided by the manufacturer.*

*The purpose of this article is to describe the experiments and analyze the obtained data to identify the optimal operating parameter sets for HC-11 modules in an automated security system.*

*The article outlines the experimental procedure and available analysis of results using HC-11 modules on the eighth floor of Building IV at Chernihiv Polytechnic National University. Similar experiments were conducted for modules placed on the 9th and 6th floors of the same building. Additionally, the impact of signal modulation type on communication quality was experimentally verified. The arithmetic mean was used to evaluate the communication quality parameters.*

*The conclusions provide the optimal operating parameter sets for HC-11 modules both within a single floor and across multiple floors, along with specific operational features identified during the experiments.*

**Keywords:** wireless communication; HC-11 module; CC1101 integrated circuit; SmartRF Studio; average RSSI; arithmetic mean; signal modulation; data transmitting; packet error rate; bit error rate.

*Fig.: 6. Table: 7. References: 10.*