

Вінницький національний технічний університет  
Тема магістерської кваліфікаційної роботи:

**«Підвищення ефективності  
безпроводних мереж доступу  
шляхом впровадження стандарту  
802.11ax»**

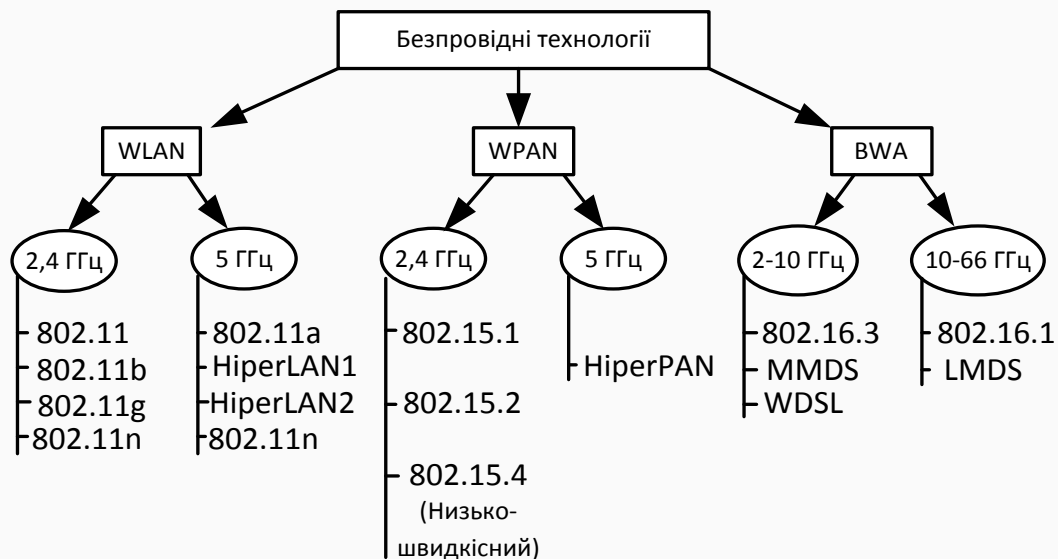
Виконав:

ст. гр. ТКС-19м Луцишин А.С.

Науковий керівник:

к.т.н., доц. каф. ТКСТБ Михалевський Д.В.

# Класифікація безпроводних мереж доступу



Основне призначення локальних безпроводних мереж (WLAN) – організація доступу до інформаційних систем всередині певної будівлі, а також організація комерційних точок доступу в громадських місцях.



Безпроводні мережі локального розташування як правило проектуються на основі сімейства стандартів IEEE 802.11. Ці мережі широко відомі як Wi-Fi, і хоча термін Wi-Fi, явно не прописаний в стандартах, але аббревіатура Wi-Fi отримала в світі широке розповсюдження.

# Підтримувані швидкості стандарту 802.11ax

Модуляція	Кодування	Швидкість передачі даних (Мбіт/с)					
		Канали 40 МГц		Канали 80 МГц		Канали 160 МГц	
		1600 нс	800 нс	1600 нс	800 нс	1600 нс	800 нс
BPSK	1/2	9	18,2	18	35	36	38
QPSK	1/2	35	36	70	74	138	145
QPSK	3/4	48	53	101	109	205	215
16-QAM	1/2	66	68	135	145	273	283
16-QAM	3/4	97	104	205	217	409	433
64-QAM	2/3	132	139	273	289	545	577
64-QAM	3/4	145	156	305	325	612	648
64-QAM	5/6	162	171	341	361	681	722
256-QAM	3/4	195	208	409	433	818	865
256-QAM	5/6	216	228	454	481	908	962
1024-QAM	3/4	245	259	510	542	1021	1081
1024-QAM	5/6	272	288	568	600	1135	1202

Таблиця А.

\*Максимальна швидкість передачі вище всього на 35%.

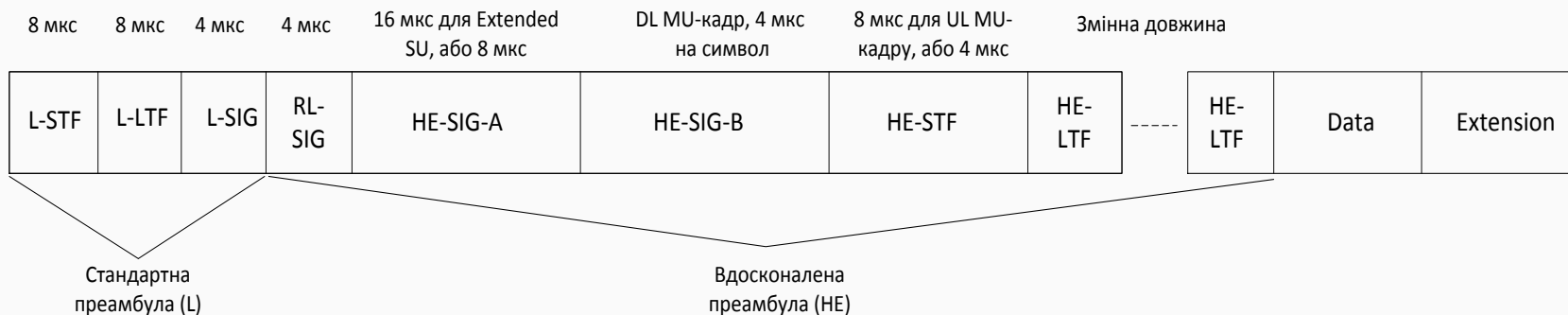
\*OFDMA розділяє спектр на одиниці частотно-часового ресурсу (RU). Завдяки централізованому плануванню RU можна уникнути конфліктів, що підвищує ефективність в сценаріях щільного розгортання мережі.

Особливість	802.11ac	802.11ax
OFDMA	недоступний	Централізований доступ до середовища з динамічним перепризначенням 26, 52, 106, 242, 484, або 996 тонів на одну станцію. При цьому, кожен тон має пропускну здатність 78,125кГц. Тому смуга пропускання, яку займає одна передача OFDMA, знаходиться в діапазоні від 2,03125 МГц до 80 МГц.
Багатокористувацький MIMO (MU-MIMO)	В напрямку «вниз»	В напрямку «вниз» та «вверх»
Випадковий доступ на основі тригера	недоступний	Дозволяє виконувати передачу UL OFDMA станціями, яким не призначені відповідні частотно-часові ресурси.
Довжина захисного інтервалу	0,4 мкс	3,2 мкс, 1,6 мкс або 0,8 мкс
Тривалість символу	3,2 мкс	12,8 мкс, 6,4 мкс або 3,2 мкс

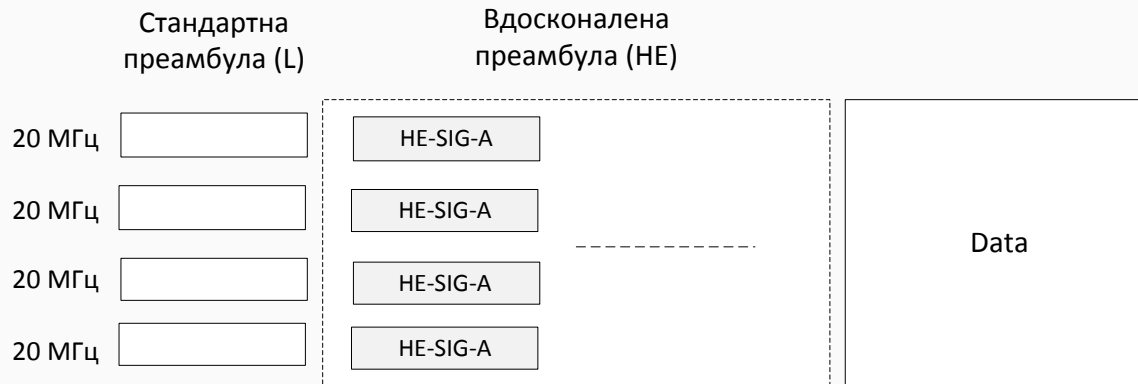
Таблиця Б.

# Структура кадру IEEE 802.11ax

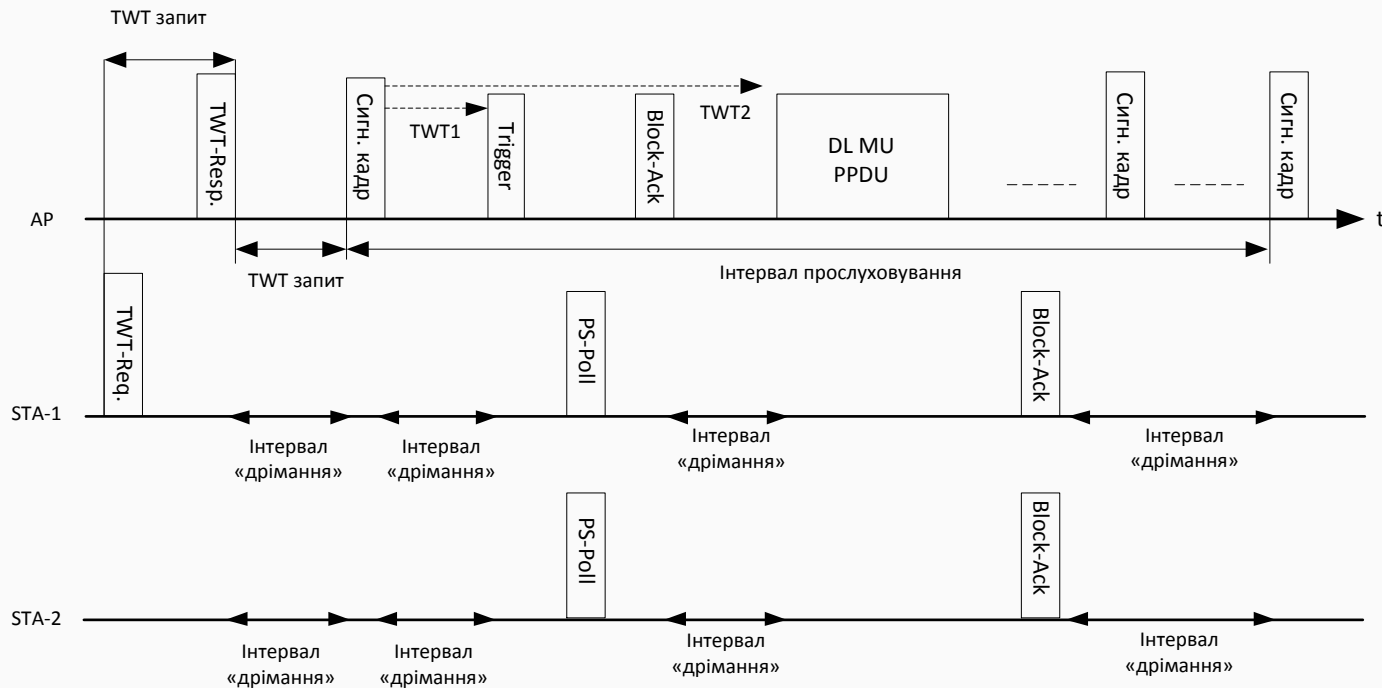
Преамбула складається з двох частин: стандартної частини та преамбули 802.11ax (вдосконалена):



Стандартна преамбула та поле HE-SIG-A дублюються на кожному підканалі 20 МГц :



# Підвищення енергоефективності



Принцип роботи технології TWT при підключенні 2-х  
STA до однієї точки доступу AP (Broadcast TWT)

# Технічні параметри ASUS RT-AX88U

Характеристика	Значення
Стандарти Wi-Fi	(802.11ax), (802.11ac), (802.11n)
Макс. швидкість на частоті 2,4 <u>ГГц</u>	600 Мбіт/с
Макс. швидкість на частоті 5 <u>ГГц</u>	4804 Мбіт/с
Потужність передавача	19,5 <u>дБм</u>
Тип і кількість антен	Зовнішні x 4
<u>Коеф.</u> підсилення антени	5 <u>дБм</u>
Кількість LAN-портів	8

# Розрахунок зони покриття сигналу

Модуляція	Мінімальна чутливість, дБм			
	20 МГц	40 МГц	80 МГц	80+80 МГц
BPSK	-89	-86	-83	-80
QPSK	-83	-80	-77	-74
16-QAM	-79	-76	-73	-70
64-QAM	-75	-72	-69	-66
256-QAM	-72	-69	-66	-63
1024-QAM	-67	-64	-61	-57

Максимальна дальність для  
забезпечення пікової швидкості:



$$D = 10^{\frac{FSL-33}{20} - \lg F} = 10^{\frac{75,5-33}{20} - \lg(5600)} = 0,0598 \approx 60 \text{ (м)}.$$

Втрати у вільному просторі:



$$FSL = Y_{\text{дБ}} - SOM.$$

Сумарне підсилення системи:



$$Y_{\text{дБ}} = P_{\text{прд.}} + G_{\text{прд.}} + G_{\text{прм.}} - P_{\text{мін.}} - L_{\text{прд.}} - L_{\text{прм.}}$$

Розраховано:

$$Y_{\text{дБ}} = 19,5 + 5 + 2 - (-61) - 1 - 1 = 85,5 \text{ (дБ)}.$$

Розраховано:

$$FSL = 85,5 - 10 = 75,5 \text{ (дБ)}.$$

# Розрахунок просторових потоків 8x8 MIMO

## Розрахунок втрат.

Символи PDCCH:



$$N_{\text{симв.}} = (2 / 14) \cdot 100\% = 14,3\% .$$

Загальні втрати:



$$N_{\text{втрат}} = 14,3 + 10 + 25 + 5 = 54,3\% .$$

Максимальна пропускна здатність:

$$V_{\text{макс.}} = 17049 - 54,3\% = 7,842 \text{ (Гбіт/с)} .$$

## Розрахунок пропускної здатності.

Кількість ресурсних елементів у кадрі:



$$N = 12 \cdot 10 \cdot N_{RB} \cdot 2,$$

$$N = 12 \cdot 10 \cdot 888 \cdot 2 = 213\,120 \text{ (р.ел.)} .$$

Враховуючи формат модуляції:



$$V_1 = (10 \cdot 213\,120) / 0,001 = 2131,2 \text{ (Мбіт/с)} .$$

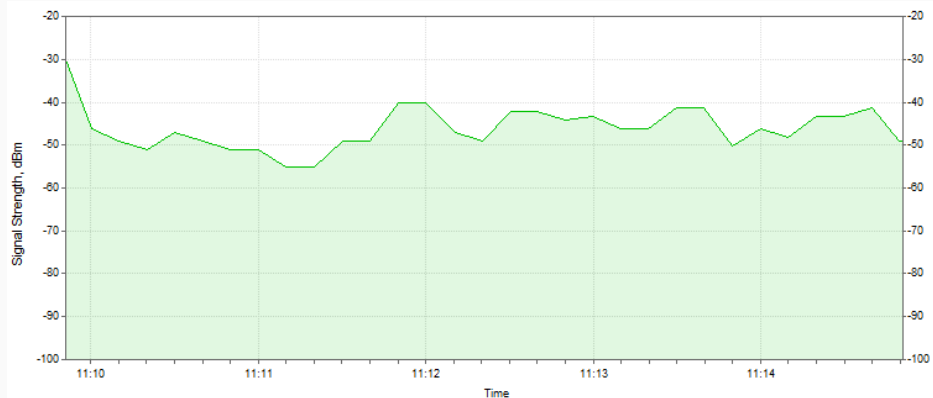
Враховуючи використання 8x8 MIMO:



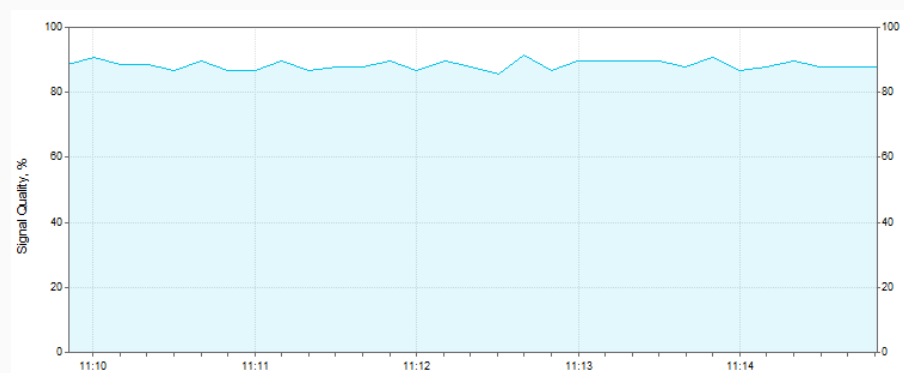
$$V_2 = 8 \cdot 2131,2 = 17049 \text{ (Мбіт/с)} .$$



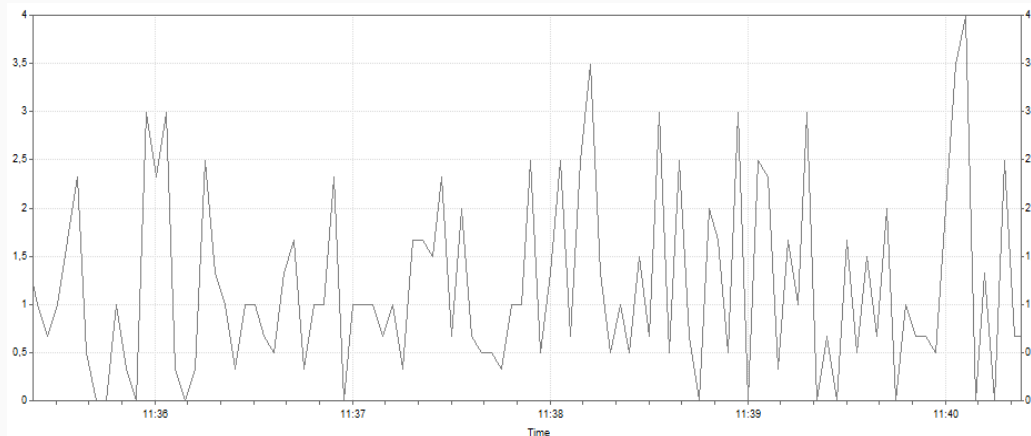
# Моделювання параметрів сигналу стандарту 802.11ax



Потужність сигналу даної точки доступу

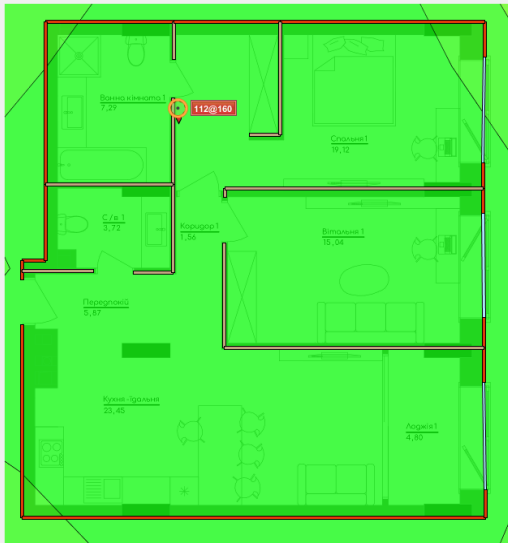


Якість сигналу у відсотковому співвідношенні

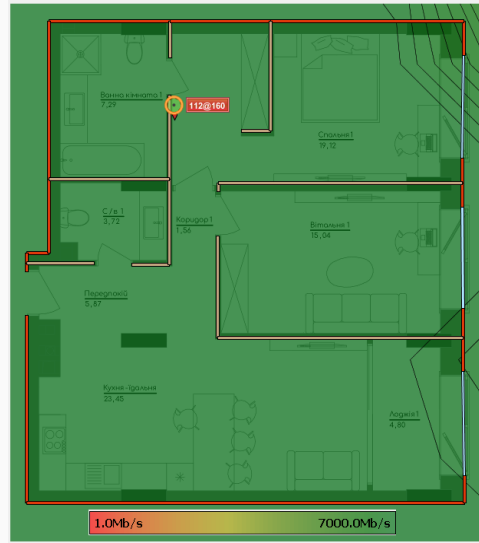


Кількість дублюючих кадрів на часовому інтервалі

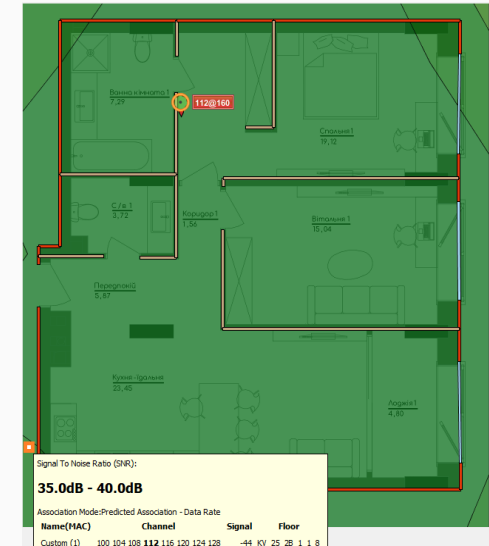
# Моделювання параметрів сигналу стандарту 802.11ax



Карта рівнів потужності сигналу 5 ГГц



Рівень швидкості мережі



Відношення S/N сигналу досліджуваної точки доступу

# ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

Результати економічних розрахунків



Показник	Значення
Загальні витрати, $ZB$	66970,24 грн
Абсолютна ефективність вкладених інвестицій $E_{abs}$	566802,32 грн
Відносна (щорічна) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій, $E_B$	111%
Мінімальна ставка дисконтування	25%
Термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій $T_{ок}$	0,9 років
Оскільки $T < 3$ -х років, то фінансування розробки є доцільним.	

# ОП та БНС

У результаті роботи було:

- ➔ розраховано безпеку роботи безпроводної мережі в умовах впливу на мережу іонізуючих випромінювань і ЕМІ;
- ➔ розроблені технічні рішення з безпечної роботи мережі в умовах надзвичайних ситуаціях;
- ➔ описано технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії;
- ➔ проведено аналіз електробезпеки приміщення;
- ➔ зроблено висновки, щодо виконання поставлених завдань.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

**Доповідь виконав:**

ст. гр. ТКС-19м Луцишин А.С.