

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РАННЬОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ПНЕВМОНІЇ ЗА ІНДИВІДУАЛЬНИМ ПІДБОРОМ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ЛЕГЕНЬ

Павло Радюк, Олександр Бармак, 2021 рік

1. Krak Iu., Barmak O., Radiuk P. **Information technology for early diagnosis of pneumonia on individual radiographs**. 2020. *CEUR-WS. ISSN 1613-0073*. 2020. Vol. 2753. Pp. 11-21. (Scopus, Q4, WoS). URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2753/paper3.pdf>

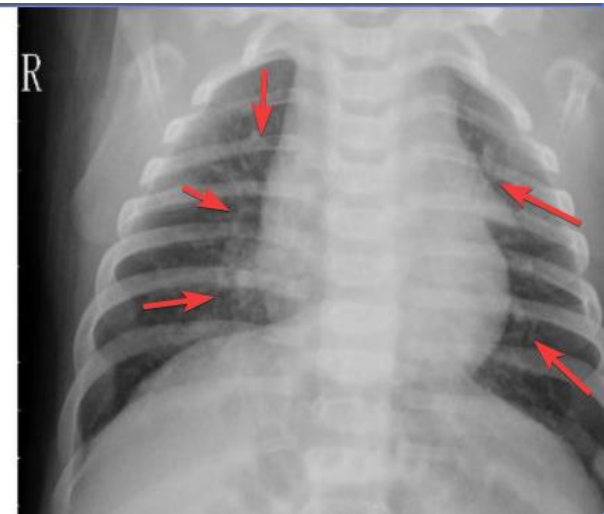
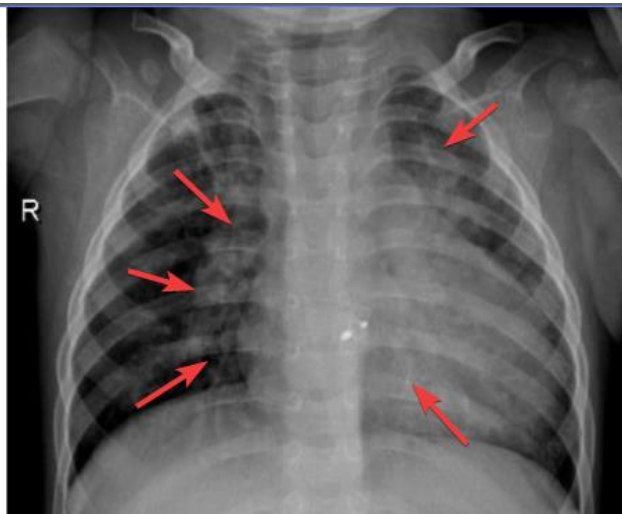
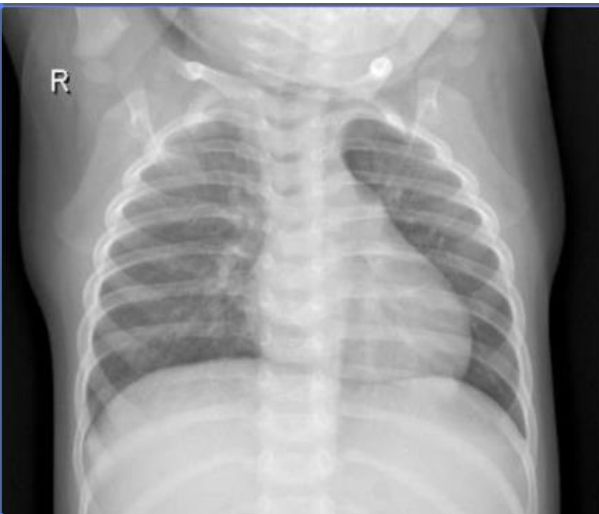
2. Barmak O., Radiuk P. **Web-based information technology for classifying and interpreting early pneumonia based on fine-tuned convolutional neural network**. *Computer systems and information technologies*. 2021. Vol. 3, No 1. Pp. 12-18. DOI: <https://doi.org/10.31891/CSIT-2021-3-2>

3. Radiuk P., Barmak O., Krak Iu. **An approach to early diagnosis of pneumonia on individual radiographs based on the CNN information technology**. *The Open Bioinformatics Journal*. 2021. Vol. 14, No 1. Pp. 93-107. (Scopus, Q3). DOI: <https://doi.org/10.2174/1875036202114010093>

Актуальність теми

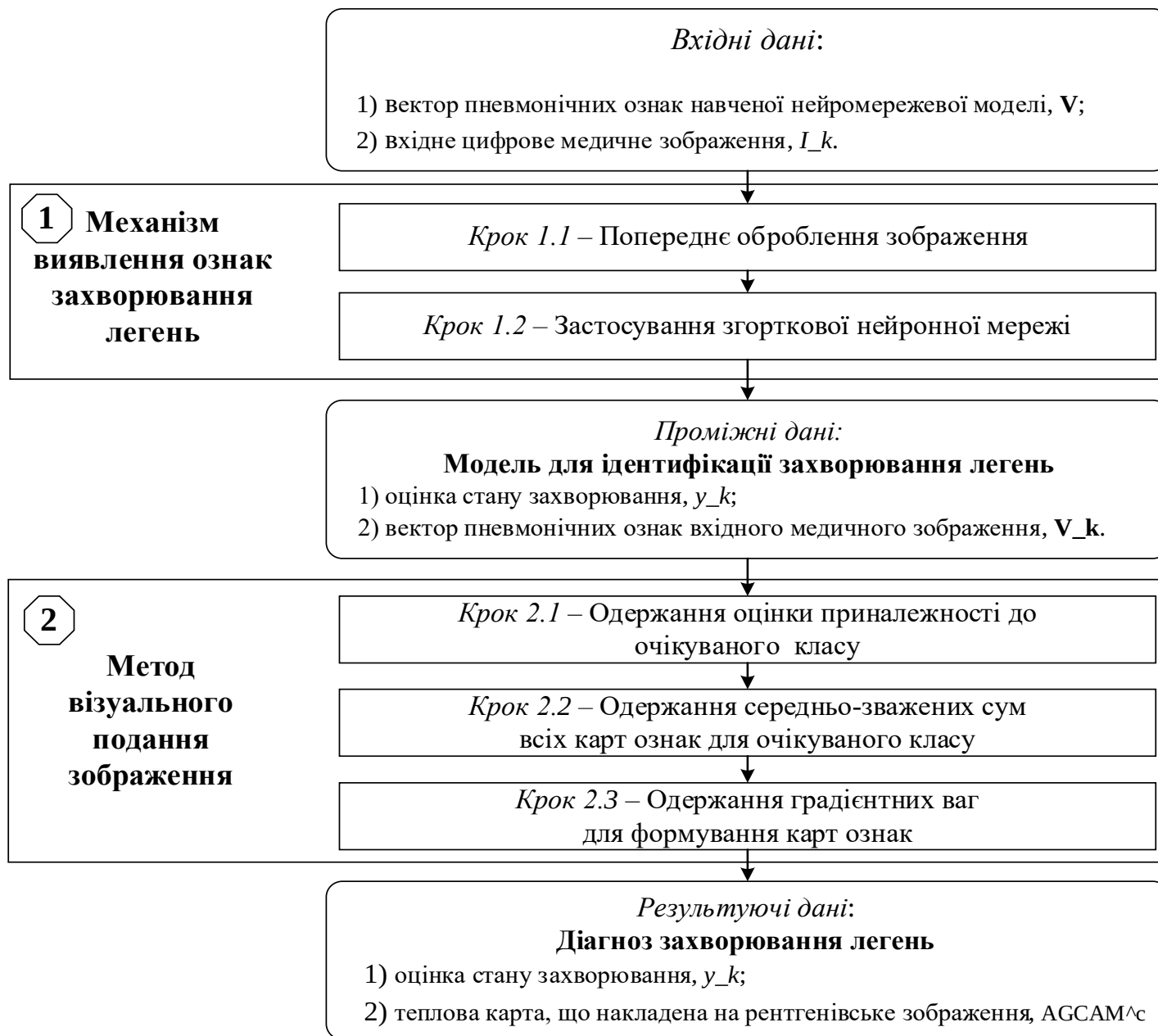
Можливі три стани результату діагностування з допомогою аналізу рентгенівських зображень:

- абсолютно здорові легені без видимих проявів захворювання;
- однозначно пневмонія з яскраво вираженими пневмонічними ознаками на зображенні;
- **проміжний стан**, за якого ознаки пневмонії виражено нечітко.



Здорові легені (зліва), легка форма бактеріальної пневмонії (по центру), вірусна пневмонія (справа)

Інформаційна технологія раннього діагностування пневмонії



Нейромережева модель

медичного зображення легень

Модель для виявлення пневмонічних ознак за медичним зображенням:

$$f: I \rightarrow \langle \mathbf{V}, \mathbf{R} \rangle, \quad (1)$$

де I – матриця пікселів вхідного рентгенівського зображення із областю легень, $I \in \mathbf{I}^n$, n – кількість рентгенівських зображень у навчальному наборі даних; $\mathbf{V}$ – згорткова нейромережева модель, що виконує виявлення пневмонічних ознак; $\mathbf{R}$ – вектор параметрів рентгенологічного апарату.

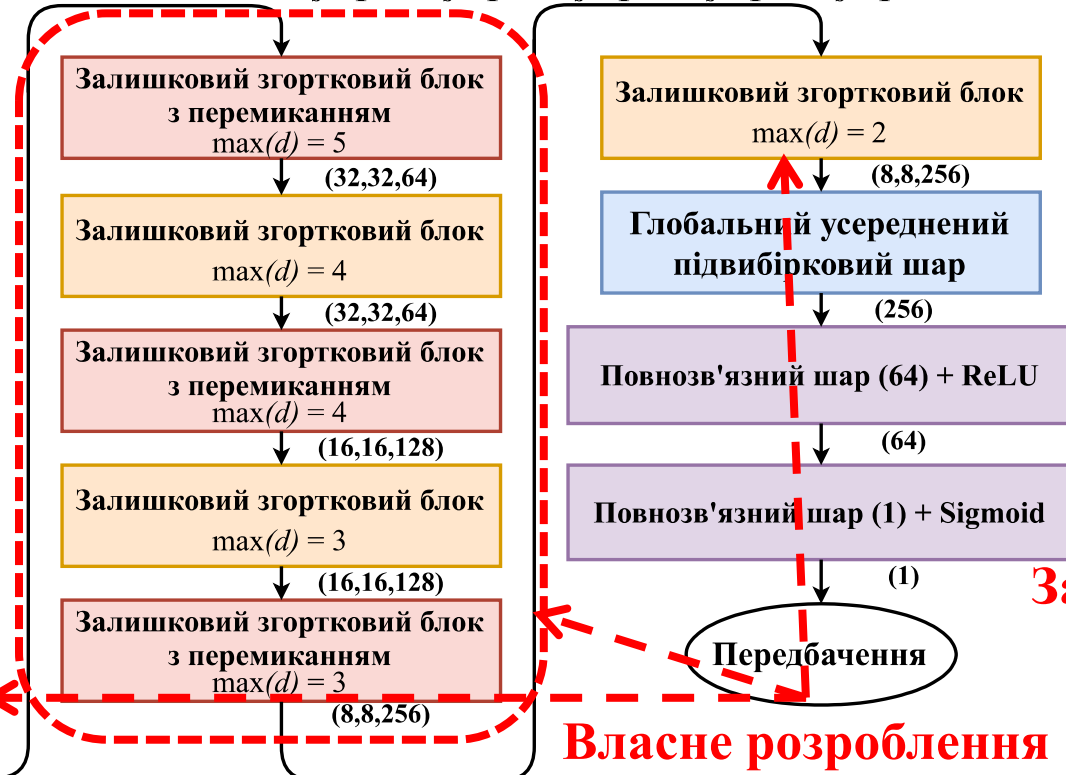
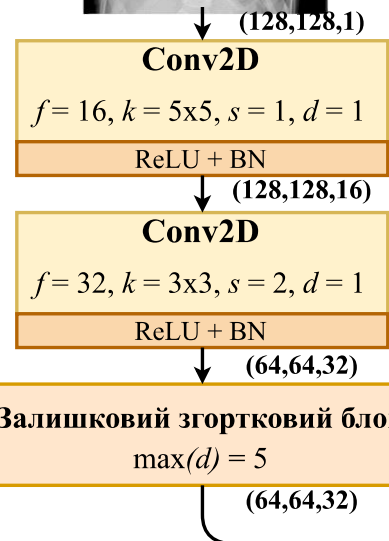
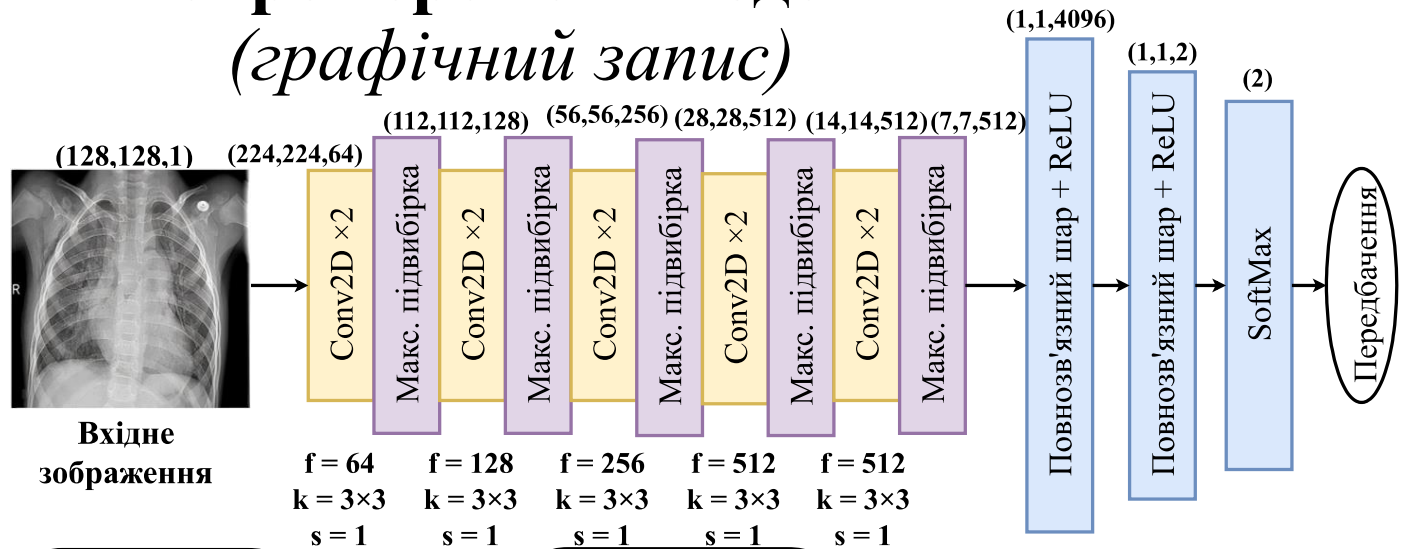
За наведеною моделлю (1) для ідентифікації використовується пороговий класифікатор із двома виходами:

$$y = \varphi(f(I_k)) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } \mathbf{V}_k > 0; \\ 0, & \text{якщо } \mathbf{V}_k < 0, \end{cases} \quad (2)$$

де I_k – матриця пікселів k -го зображення легень у тестовому наборі даних $I \in \mathbf{I}^m$, m – кількість рентгенівських зображень у тестовому наборі даних; θ – порогове значення функції класифікації φ .

Нейромережева модель (графічний запис)

Традиційна
архітектура



Запропонована
архітектура

Нейромережева модель

Модифіковані згорткові операції

Схема залишкового згорткового блоку із перемиканням

Схема залишкового згорткового блоку

Власне розроблення



Нейромережева модель

Ініціалізація ваг фільтрів

Традиційний оператор Собеля

1	2	0	-2	-1
2	3	0	-3	-2
3	5	0	-5	-3
2	3	0	-3	-2
1	2	0	-2	-1

а) G_x

1	2	3	2	1
2	3	5	3	2
0	0	0	0	0
-2	-3	-5	-3	-2
-1	-2	-3	-2	-1

б) G_y

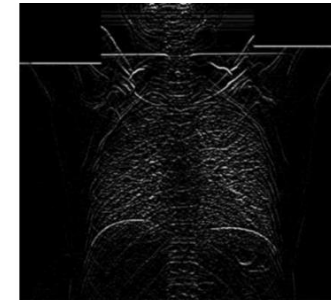
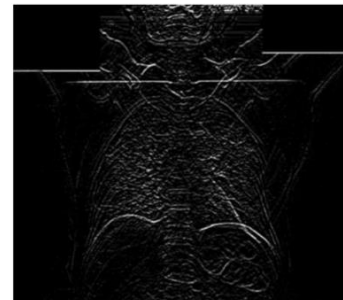
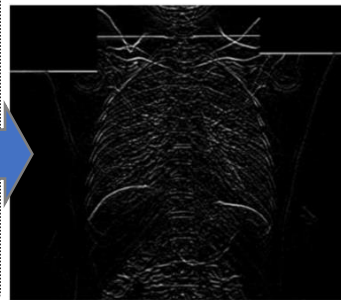
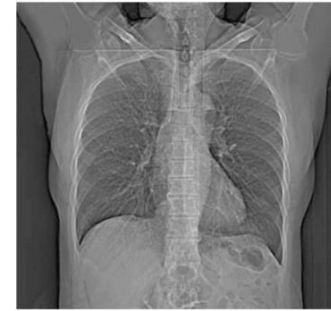
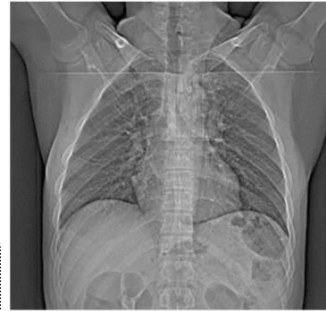
Запропонована модифікація до оператора Собеля

2	1	0	-1	-2
2	1	0	-1	-2
4	2	0	-2	-4
2	1	0	-1	-2
2	1	0	-1	-2

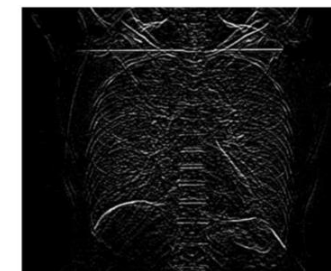
в) P_x

2	2	4	2	2
1	1	2	1	1
0	0	0	0	0
-1	-1	-2	-1	-1
-2	-2	-4	-2	-2

г) P_y



Власне розроблення



Нейромережева модель

Навчання та використання

Навчання нейронної мережі

Етап 1 - Попереднє навчання нейронної мережі

Вхідні дані 1:

Великий набір даних (ВНД)
медичних зображень



Крок 1.1 - Попереднє оброблення зображень

Проміжні дані 1.1:

Кольоризовані зображення ВНД
з підвищеним контрастом

Крок 1.2 - Попереднє навчання нейромережевої моделі

Проміжні дані 1.2:

Оптимізовані ваги первинної мережі

Етап 2 - Передавальне навчання нейронної мережі

Вхідні дані 2:

Малий набір даних (МНД)
цільових медичних
зображень



Крок 2.1 - Попереднє оброблення зображень

Проміжні дані 2.1:

Кольоризовані зображення МНД
з підвищеним контрастом

Крок 2.2 - Передавальне навчання нейро-мережевої моделі

Крок 2.3 - Метод підбору квазі-оптимальних гіперпараметрів

Результуючі дані:

Оптимізовані ваги
модифікованої мережі

Використання нейронної мережі

Вхідні дані:

Цільове зображення для
тестування



Попереднє оброблення зображення

Використання оптимізованої нейронної мережі

Проміжні дані:

Нейромережева модель
(вектор пневмонічних ознак)

Класифікація зображень

Метод візуального аналізу зображень

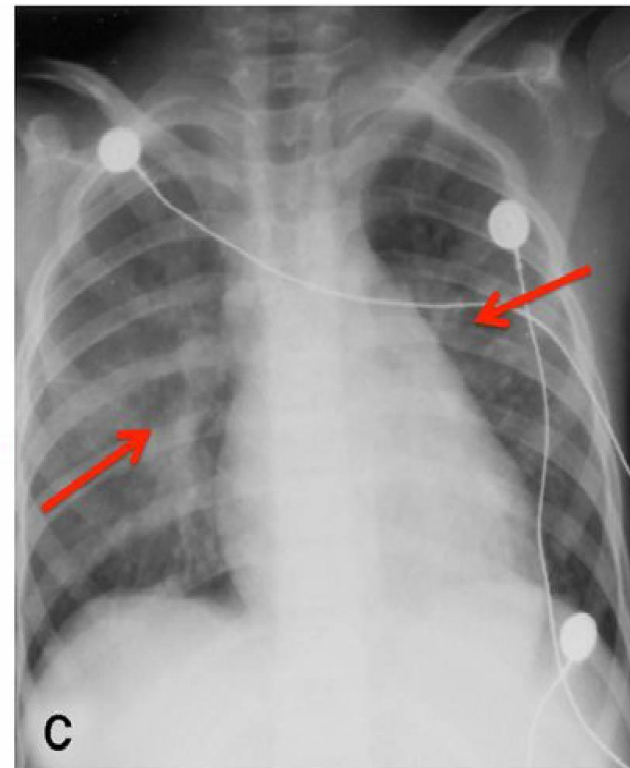
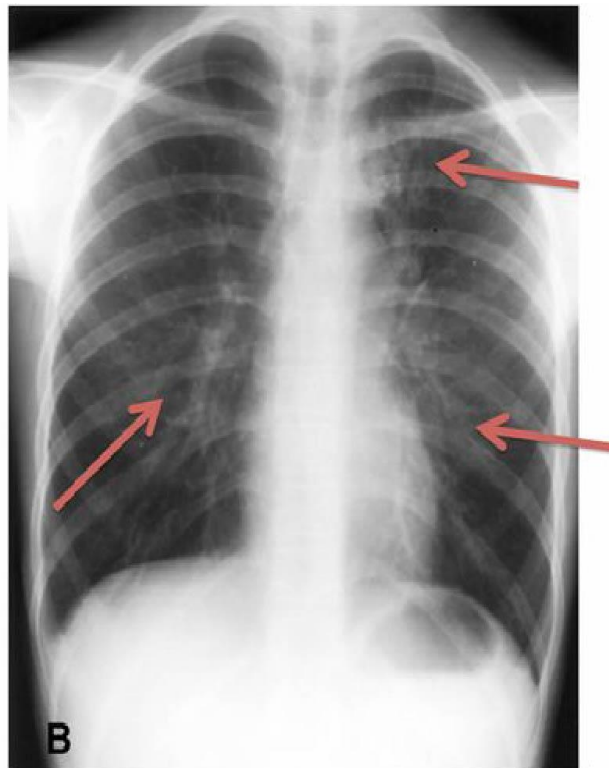
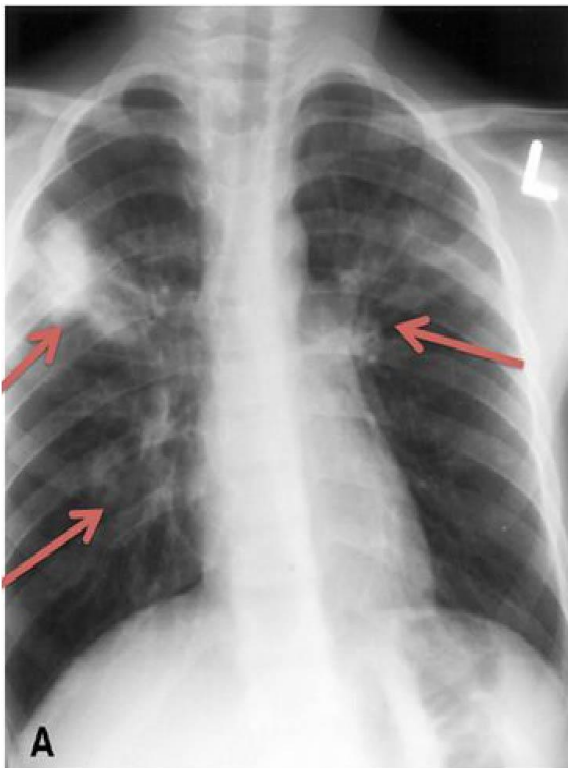
Результуючі дані:

- передбачення моделі;
- теплові карти.



Нейромережева модель

Виявлені ознаки пневмонічного запалення



Метод візуального подання

Опис методу

Вхідні дані:

Початковий набір значень гіперпараметрів
згорткової нейронної мережі, *pop*.

Власне розроблення

Крок 1

Крок 1.1 – Оголошення змінних: *epochs*, *pop_size*, *gen* = 0, *gen_max*.

Крок 1.2 – Створення початкової популяції хромосом.

Крок 1.3 – Виконання алгоритму початкового формування популяції.

Крок 2

Крок 2.1 – Вибір батьків.

Крок 3

Крок 3.1 – Створення потомства за допомогою оператора мутації.

Крок 4

Крок 4.1 – Заміна поточного потомства на нове потомство з попереднього кроку.

Вихідні дані:

Найкраща хромосома із квазіоптимальним набором значень
гіперпараметрів згорткової нейронної мережі, *opt_pop*.

Метод підбору квазіоптимальних гіперпараметрів нейромережевої моделі

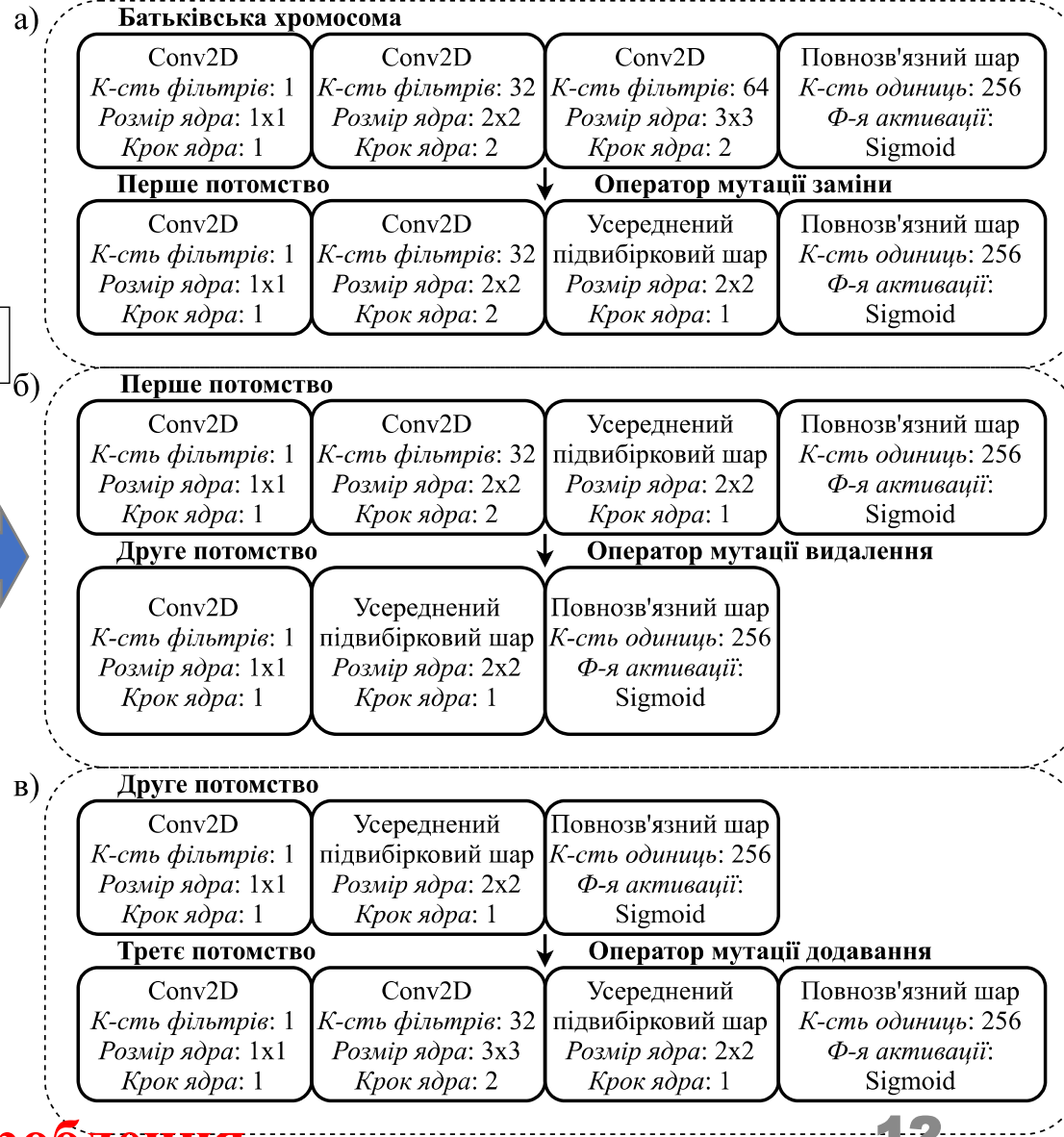
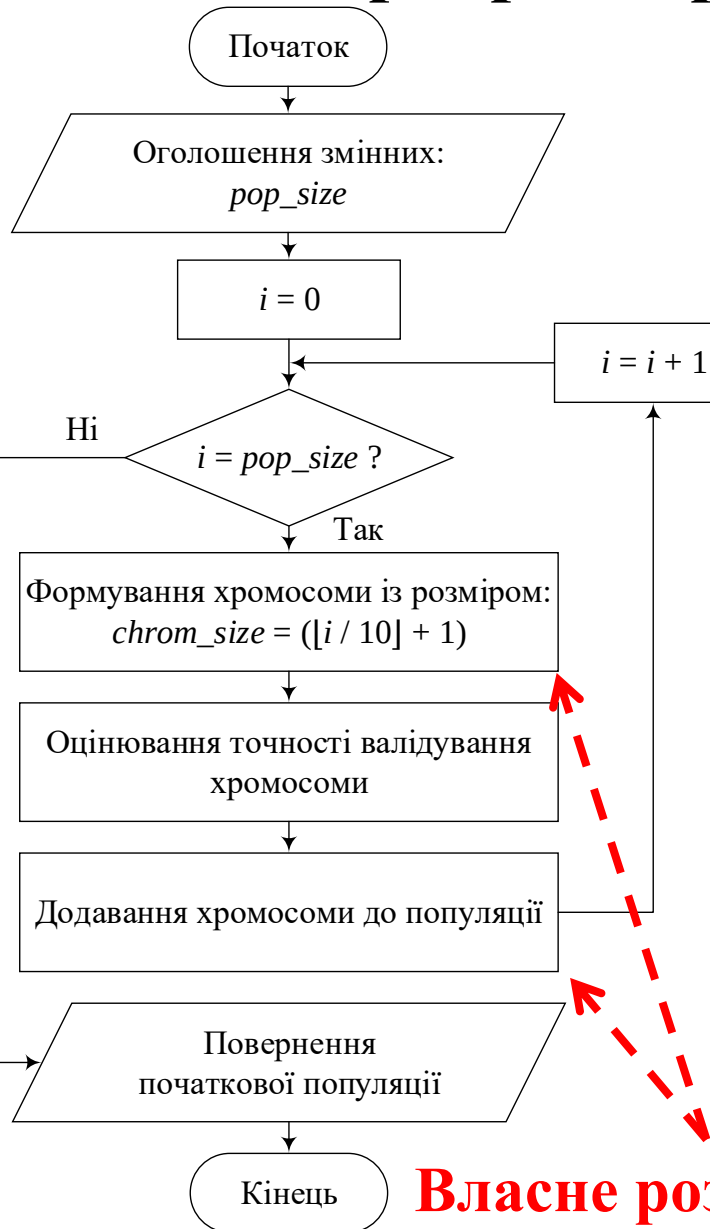
Ініціалізація гіперпараметрів згорткової нейронної мережі

Гіперпараметр	Значення
Кількість фільтрів в кожному згортковому шарі	1
Розмір згорткового ядра	1×1
Крок згорткового ядра	1
Коефіцієнт розширеної згортки	1
Функція активації	ReLU
Розмір підвибіркового ядра	2×2
Крок підвибіркового ядра	1
Коефіцієнт виключення, dropout	0.8
Кількість одиниць повнозв'язного шару	256

Ініціалізація параметрів навчання генетичного алгоритму та згорткової нейронної мережі

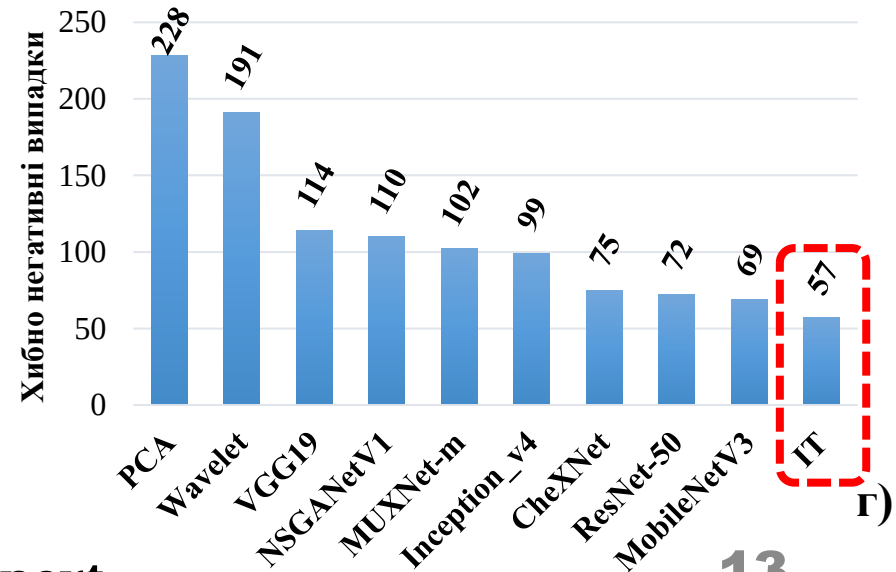
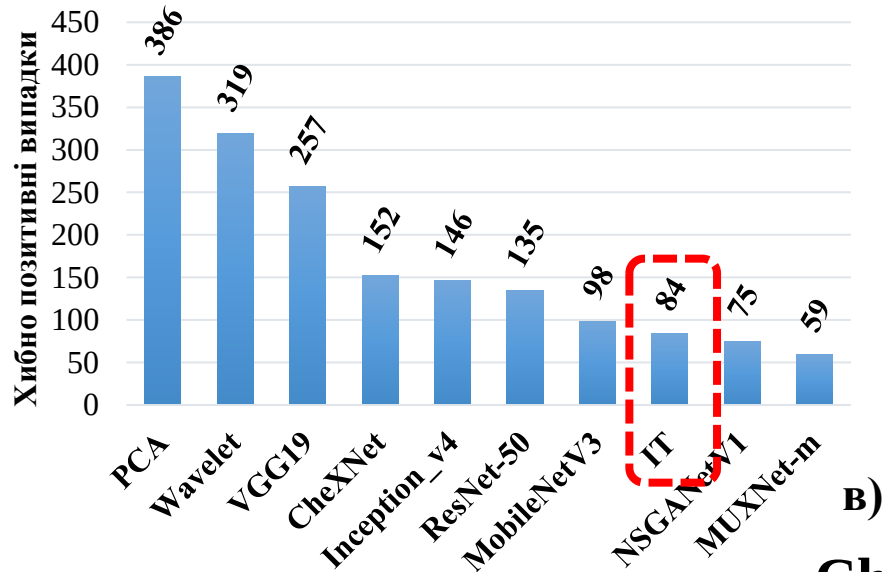
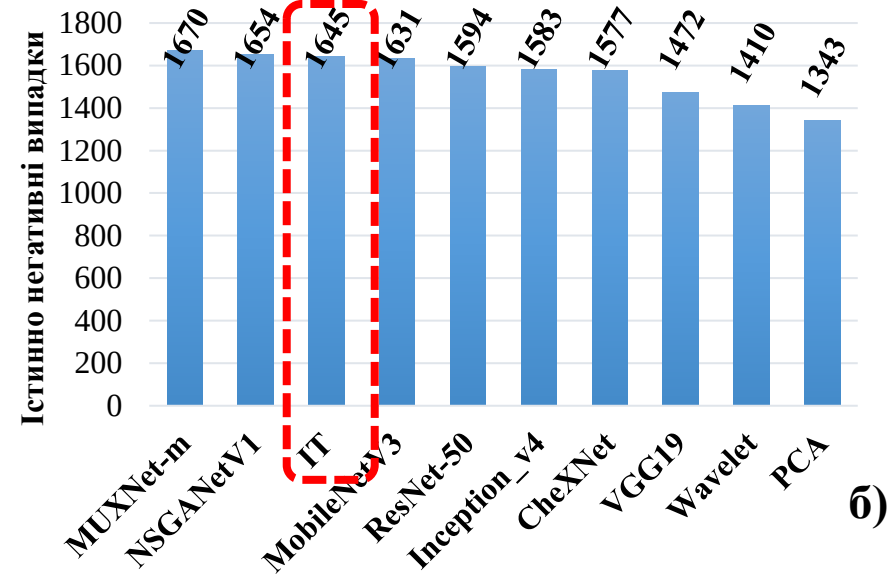
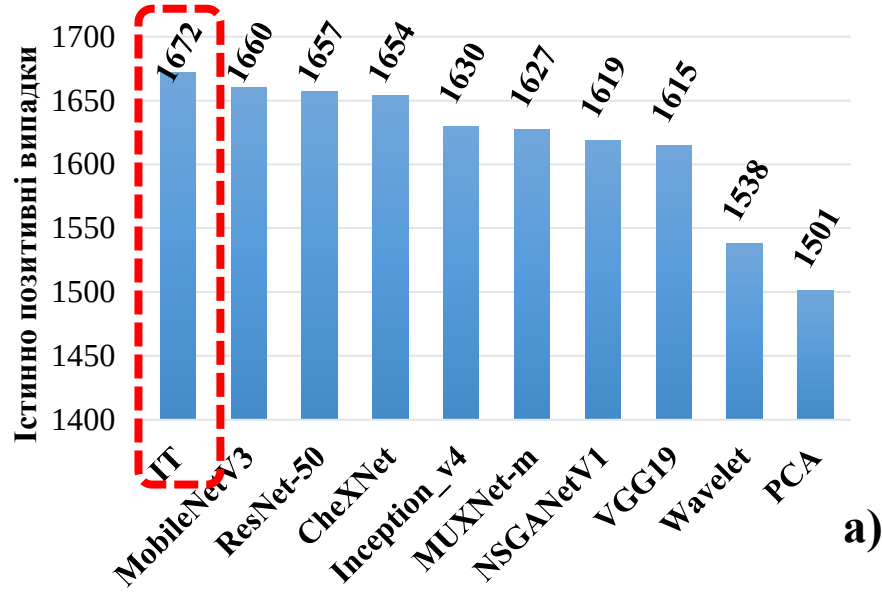
Параметр	Значення
Генетичний алгоритм	
Коефіцієнт кросингвера	0.7
Коефіцієнт мутації	0.3
Кількість поколінь	10
Розмір початкової популяції	100
Розмір турнірної мутації	7
Згорткова нейронна мережа	
Кількість епох	починаємо з 3, далі збільшується на 1 для кожного покоління
Розмір партії (batch size)	256
Алгоритм навчання мережі	Adam

Метод підбору квазіоптимальних гіперпараметрів нейромережевої моделі

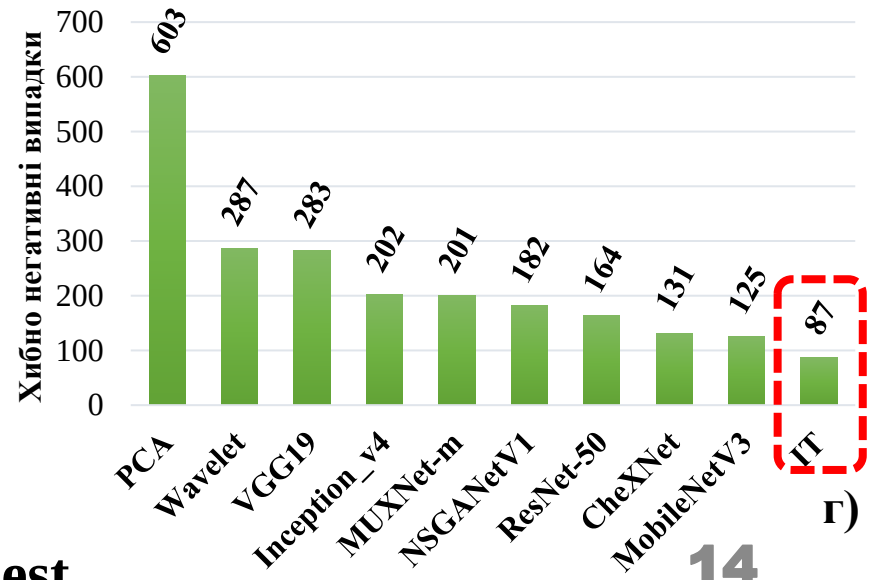
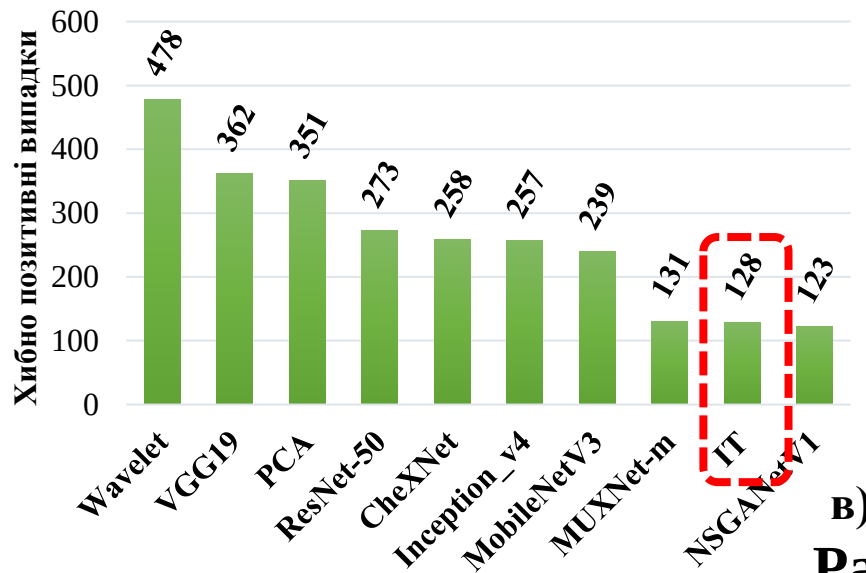
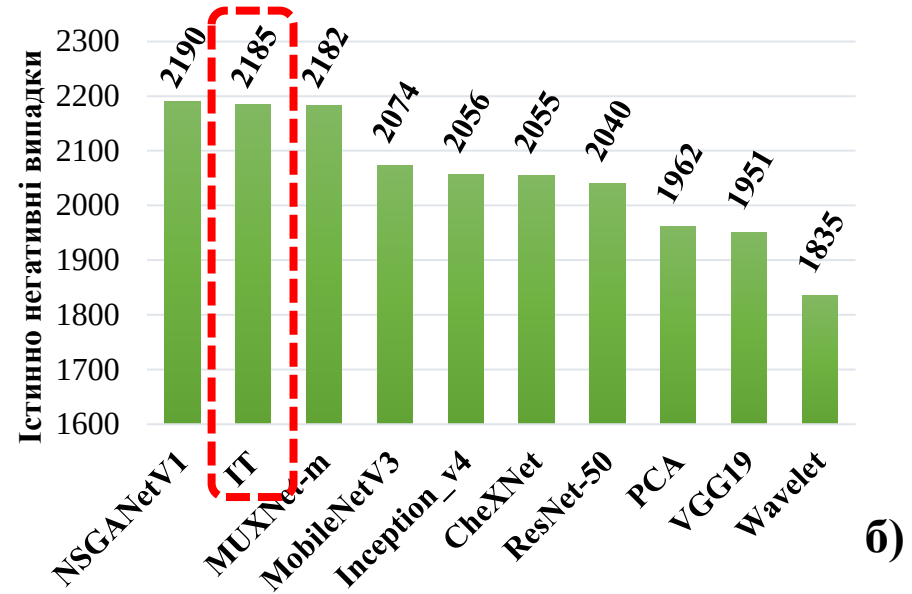
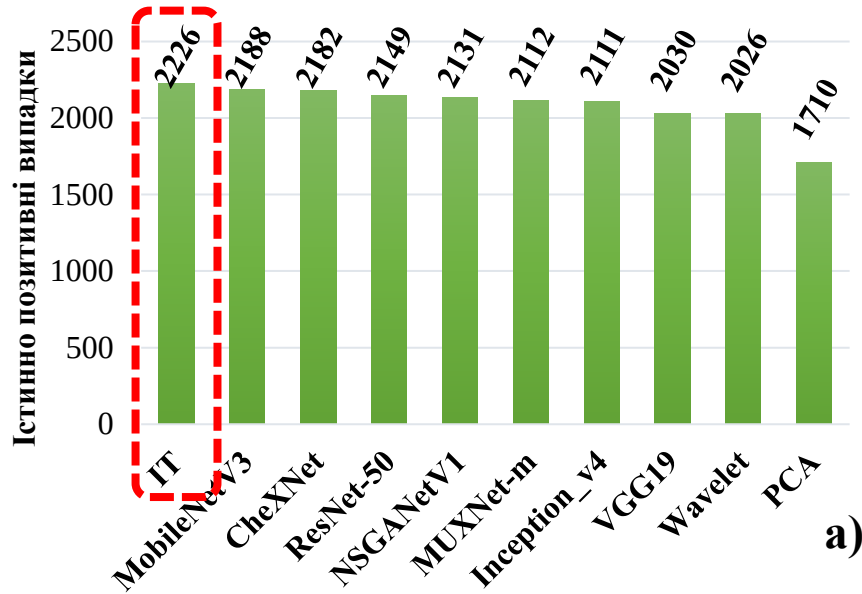


Власне розроблення

Результати валідування моделі й методу



Результати валідування моделі й методу



Метод візуального подання

Опис методу

Власне розроблення

Вхідні дані:

Рецептивні поля останнього згорткового шару розробленої моделі.

Крок 1

Оцінка прогнозування (S_c) – зважена сума усіх нейронів на останньому згортковому шарі:

$$S_c = \sum_{m=1}^M w_m^c \sum_{(x,y)} g_m(x, y) = \sum_{(x,y)} \sum_{m=1}^M w_m^c g_m(x, y).$$

Крок 2

GCAM – зважена сума всіх карт об'єктів на останньому згортковому шарі для очікуваного класу c :

$$\text{GCAM}^c(x, y) = \text{ReLU}(\sum_{m=1}^M B_m^c g_m(x, y)), \text{ де } B_m^c = \sum_{(x,y)} \frac{\partial S_c}{\partial g_m(x, y)}.$$

Крок 3

Середньозважений GCAM (AGCAM) відображення слабо виражених пневмонічних ознак:

$$\text{AGCAM}^c(x, y) = \sum_{k=1}^K (\text{GCAM}_k^c(x, y)),$$

Вихідні дані:

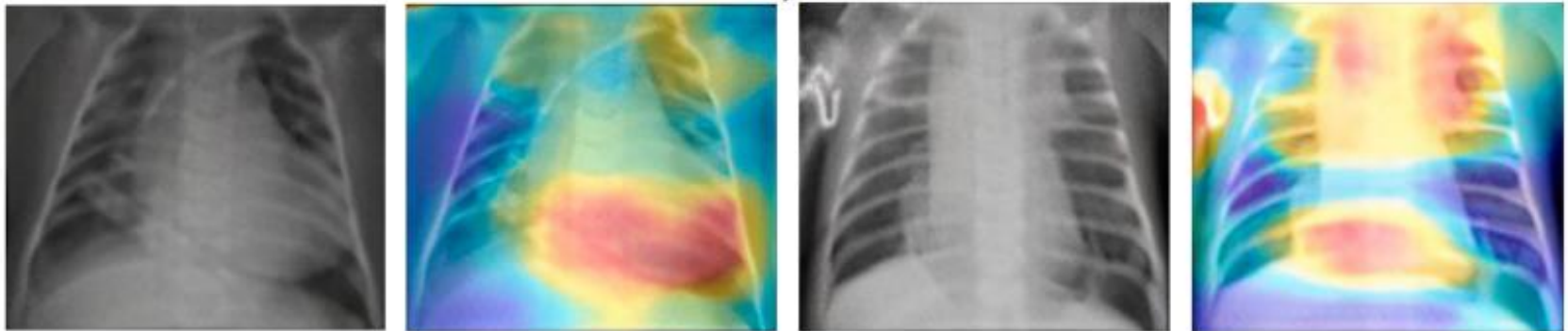
Візуальні теплові карти $\text{AGCAM}^c(x, y)$.

Метод візуального подання

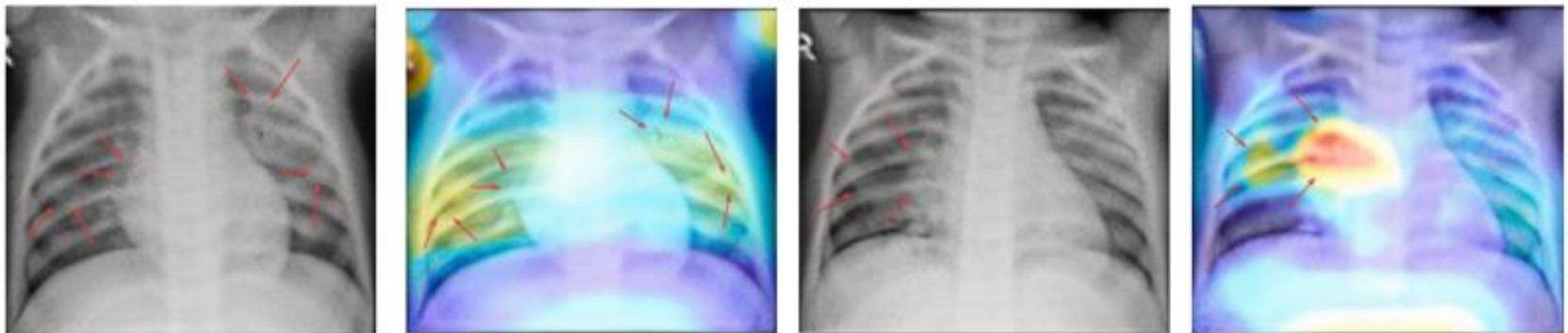
Результати застосування методу



а)

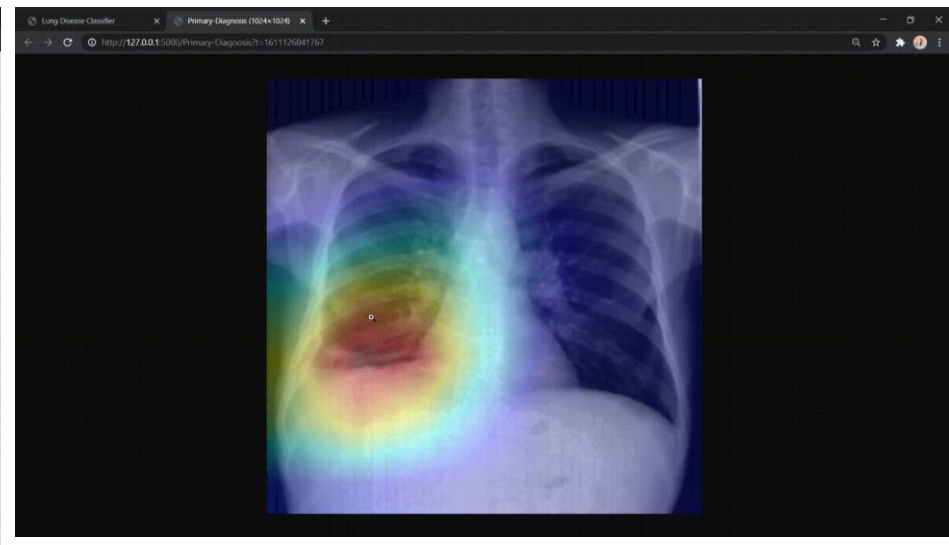
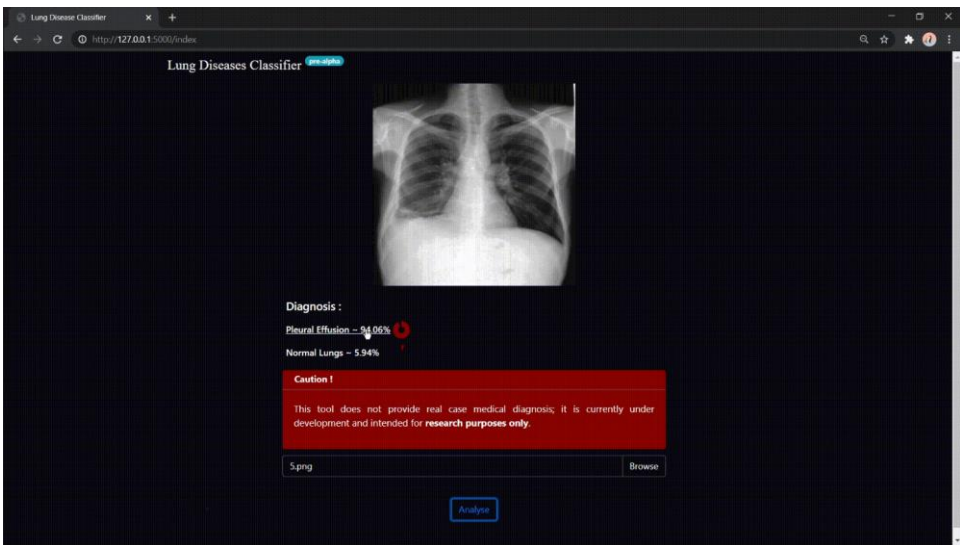
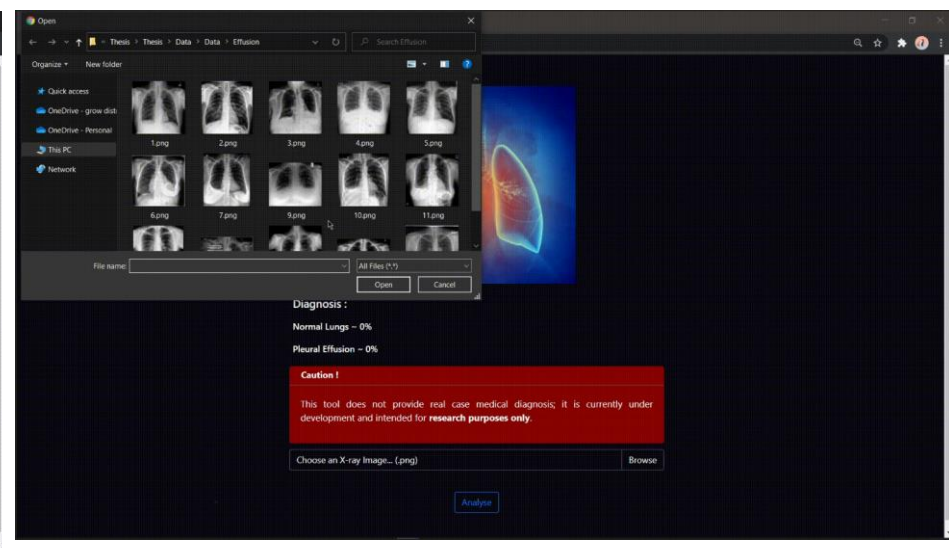
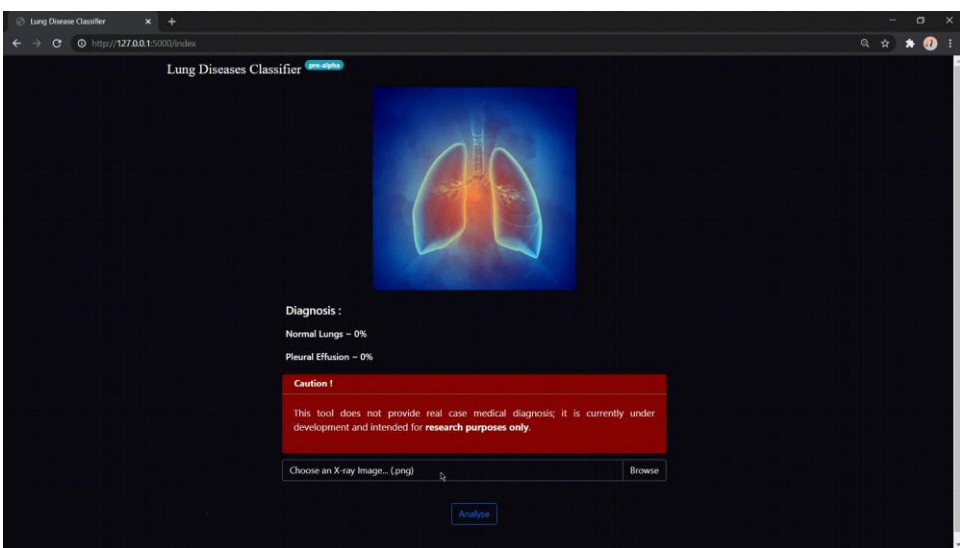


б)

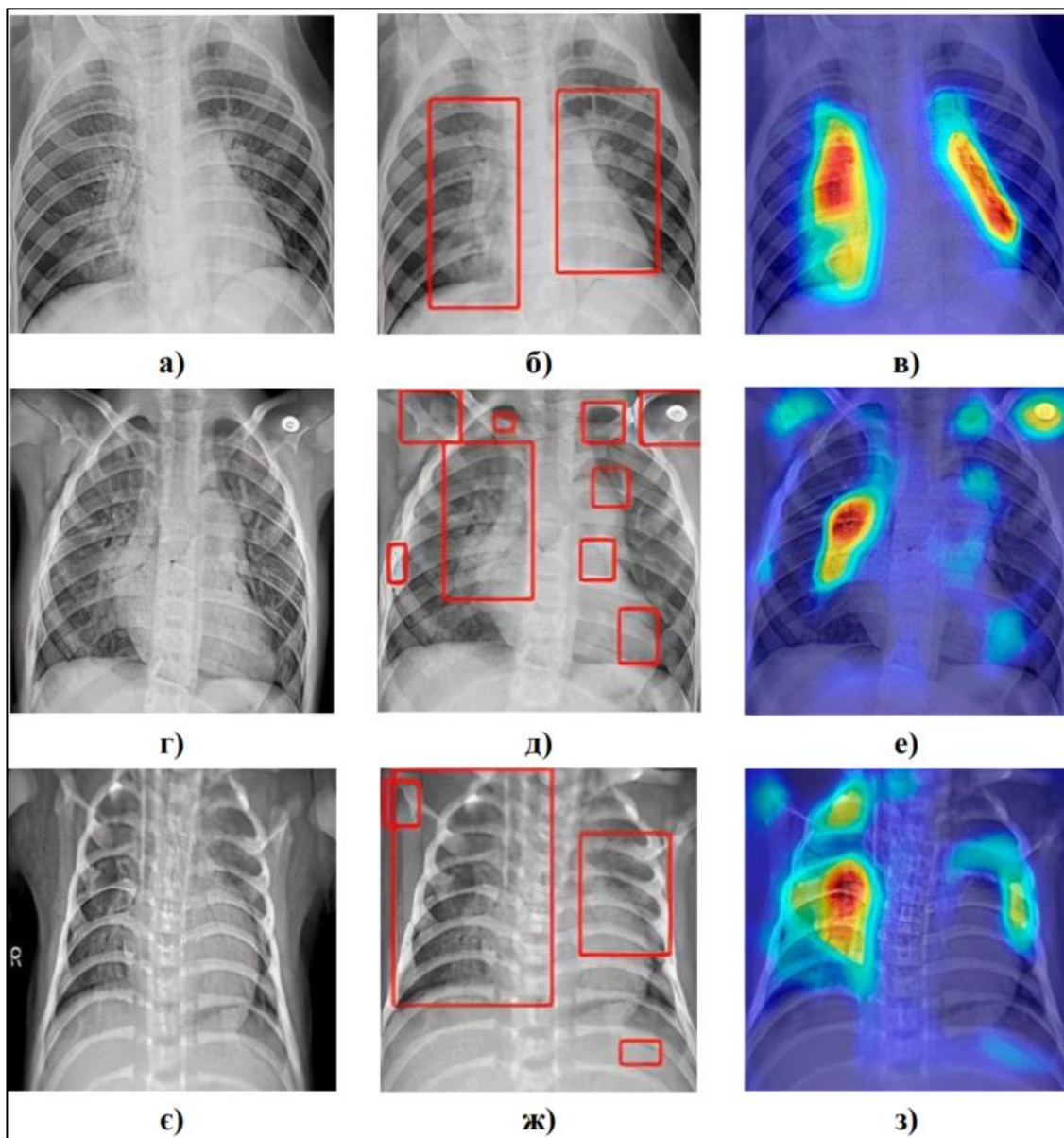


г)

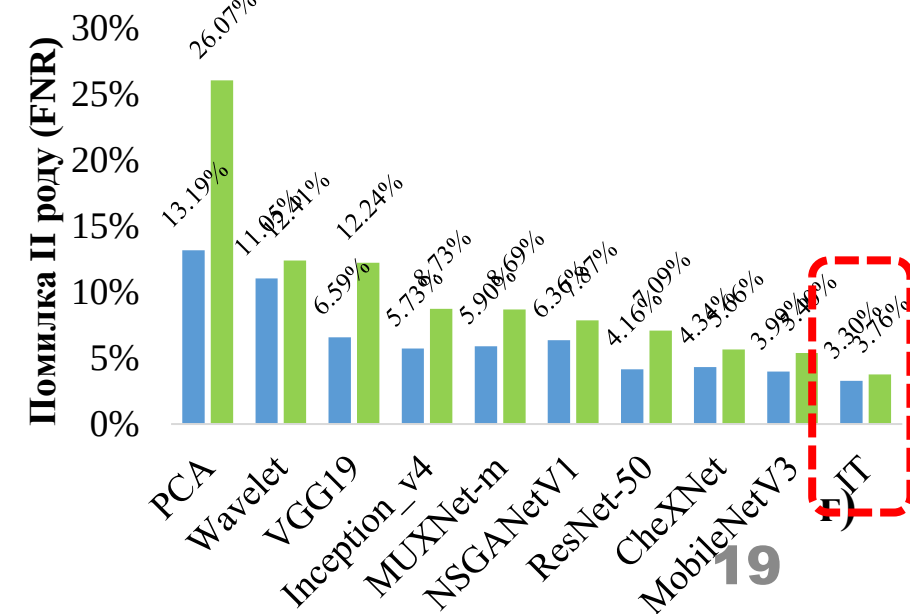
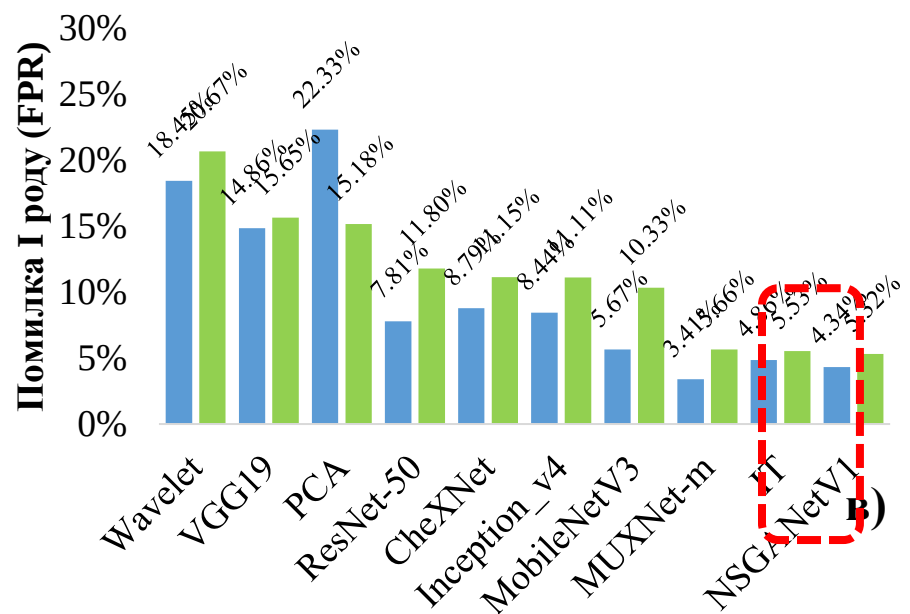
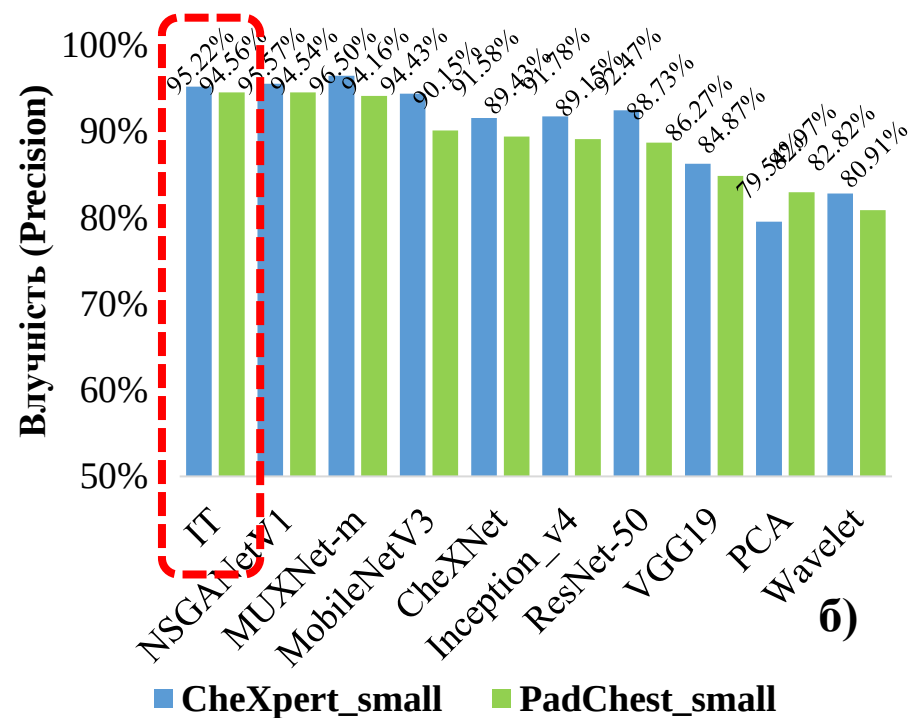
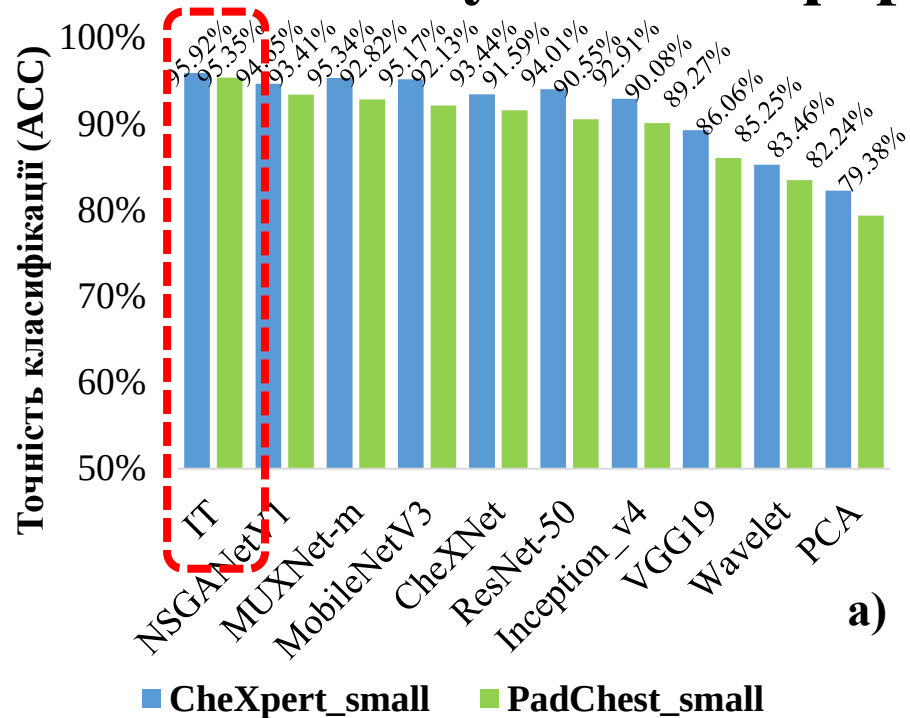
Демонстрація роботи інформаційної технології



Демонстрація роботи інформаційної технології



Тестування інформаційної технології



Тестування інформаційної технології

Статистичне порівняння з аналогами

Оцінювання інформаційної технології
порівняно з аналогами за зростаючою шкалою

Набір даних	Рейтинг підходів	ACC	Precision	Recall	AUC
CheXpert_small	I місце	<i>IT</i> (95,92%)	<i>MUXNet-m</i> (96,50%)	<i>IT</i> (96,70%)	<i>MobileNetV3</i> (96,09%)
	II / III місце	<i>MUXNet-m</i> (95,34%)	<i>IT</i> (95,22%)	<i>MobileNetV3</i> (96,01%)	<i>IT</i> (95,89%)
	Різниця	↑ 0,58%	↓ 1,28%	↑ 0,69%	↓ 0,20%
PadChest_small	I місце	<i>IT</i> (95,35%)	<i>IT</i> (94,56%)	<i>IT</i> (96,24%)	<i>IT</i> (96,01%)
	II / III місце	<i>NSGANetV1</i> (93,41%)	<i>NSGANetV1</i> (94,54%)	<i>MobileNetV3</i> (94,60%)	<i>MUXNet-m</i> (94,93%)
	Різниця	↑ 1,95%	↑ 0,02%	↑ 1,64%	↑ 1,08%

Тестування інформаційної технології

Статистичне порівняння з аналогами

Оцінювання інформаційної технології
порівняно з аналогами за спадною шкалою

Набір даних	Рейтинг підходів	FPR	FNR
CheXpert_small	I місце	<i>MUXNet-m</i> (3,41%)	<i>IT</i> (3,30%)
	II / III місце	<i>IT</i> (4,86%)	<i>MobileNetV3</i> (3,99%)
	Різниця	↓ -1,45%	↑ -0,69%
PadChest_small	I місце	<i>NSGANetV1</i> (5,32%)	<i>IT</i> (3,76%)
	II / III місце	<i>IT</i> (5,53%)	<i>MobileNetV3</i> (5,40%)
	Різниця	↓ -0,22%	↑ -1,64%