

УДК 004.93'1

DOI: 10.31673/2412-9070.2023.042030

Є. О. ЖАБСЬКА, аспірантка,

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВХІДНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОСОБИ

*Досліджено алгоритм, який ґрунтується на локально-текстурних дескрипторах, що лежить в основі інформаційної технології ідентифікації особи, з метою підвищення його ефективності та зменшення ймовірності помилок ідентифікації.*

*Аналіз попередніх досліджень показав, що ефективність алгоритму розпізнавання та ідентифікації обличчя може значно відрізнитися після його застосування до зображень із різних наборів даних. Тому основною метою цієї статті є дослідження параметрів зображень обличчя, які будуть використовуватися в процесі ідентифікації.*

*Під час дослідження було проведено експерименти з кількома найпоширенішими базами даних зображень обличчя, у результаті чого ефективність алгоритму досягла рівня точності ідентифікації 95% на зображеннях, зроблених у контрольованих умовах та уніфікованих у межах однієї бази даних.*

**Ключові слова:** інформаційні технології; біометрична ідентифікація; розпізнавання обличчя.

### ВСТУП

Останніми роками технології розпізнавання та ідентифікації обличчя продовжують стрімко розвиватися, а використання цих технологій стає все більш поширеним. Розпізнавання обличчя є однією з кращих біометричних технологій, оскільки зображення обличчя можна створювати без взаємодії з ідентифікованою особою. Зображення миттєво фіксуються та перевіряються за допомогою сучасних баз даних.

Найбільш поширеними сферами застосування технологій розпізнавання обличчя, згідно з дослідженнями [1], є контроль доступу, кримінальні розслідування, ідентифікація розшукуваних осіб. Удосконалення технологій розпізнавання обличчя та біометричних технологій зумовили підвищення точності, доступності та, як наслідок, широке використання автоматизованого розпізнавання обличчя. А отже, розпізнавання обличчя можна використовувати в ще більших масштабах і в більш складних середовищах. Наприклад, технології розпізнавання обличчя упроваджуються для використання силами спеціальних операцій на безпілотниках для збору розвідданих, рятувальних місій, захисту периметра та пошукових операцій у приміщеннях [2].

Однак способи використання технологій розпізнавання та ідентифікації обличчя у чутливих галузях, зокрема таких, як військові операції, піддаються критиці суспільства, оскільки будь-які помилки програмного забезпечення або тих, хто його використовує, можуть мати незворотні наслідки. Тому дослідження алгоритмів розпізнавання та ідентифікації є актуальним із метою підвищення їх ефективності та зниження ймовірності помилкової ідентифікації.

**Аналіз останніх досліджень і мета статті.** Часто зображення, на яких потрібно ідентифікувати особу, і зображення, з яким відбувається порівняння, належать до різних просторів зображень через різноманіття форматів і роздільної здатності зображень. Наприклад, зображення з обличчям особи, котру потрібно ідентифікувати, може бути зняте камерами спостереження, які зазвичай надають лише зображення низької якості, тобто зі стисненим форматом, низькою роздільною здатністю, різними кутами повороту обличчя тощо. Водночас для ідентифікації це зображення порівнюється із зображеннями з баз даних, які можуть належати правоохоронним органам, де зазвичай зберігаються якісні фронтальні зображення повністю видимих обличчя, що були зроблені під час отримання паспорта або затримання після вчинення правопорушення. Така проблема може спричинити збій процесу ідентифікації, що зі свого боку означатиме потребу в дослідженні передумов цього процесу задля підвищення рівня точності ідентифікації.

Сьогодні автори більшості праць, присвячених створенню інформаційних технологій розпізнавання обличчя та ідентифікації особи, таких як [3] і [4], використовують підходи, засновані на техніці штучного інтелекту. Однак такі підходи не є достатньо гнучкими та здатними швидко адаптуватися до умов реального світу, який може стрімко змінюватися, оскільки потребують великої кількості якісних даних для навчання, удосконалення апаратного забезпечення, а також є дорогими в обслуговуванні [5-7]. У сучасних дослідженнях недостатньо вивчено питання використання локальних текстурних дескрипторів у задачах розпізнавання та ідентифікації обличчя на зображеннях різної якості. Такі методи, на відміну від методів штучного інтелекту, не потребують великого обсягу даних, високої обчислювальної

© Є. О. Жабська, 2023

потужності апаратного забезпечення та витрат часу на навчання. Крім того, на зображеннях, зроблених за необмежених умов, ефективність таких методів наближається до ефективності методів штучного інтелекту, а за деяких обмежених умов навіть перевищує її [7; 8]. Тому методи на основі локально-текстурних дескрипторів потребують дослідження та вдосконалення, зокрема розв'язання задач розпізнавання та ідентифікації осіб на зображеннях із різними параметрами.

У статті [9] запропоновано інформаційну технологію ідентифікації особи на базі локально-текстурних дескрипторів, в основі якої лежить алгоритм, що охоплює такі методи: ознаки Хаара для виявлення та локалізації ділянки обличчя на зображеннях, вейвлет-перетворення Габора для оброблення зображення, гістограми орієнтованих градієнтів (HOG) і локальні бінарні шаблони в одновимірному просторі (1DLBP) для вилучення векторів ознак зображення.

Цю статтю присвячено дослідженню параметрів зображень облич, які подаються на вхід алгоритму, що лежить в основі запропонованої інформаційної технології ідентифікації особи, що ґрунтується на локально-текстурних дескрипторах, із метою визначення їх впливу на ефективність алгоритму та підвищення його показників точності ідентифікації.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

### Методи дослідження

Розглянемо запропонований у статті [9] алгоритм детальніше. Як вхідні дані для роботи алгоритму було взято зображення облич, за якими потрібно ідентифікувати особу, наведені у вигляді матриці інтенсивності пікселів.

На першому етапі процесу ідентифікації необхідно локалізувати ділянку обличчя на знімку. Для цього використовуються ознаки Хаара, що є досить ефективним методом виявлення об'єктів на зображеннях [10]. Цей метод засновано на машинному навчанні, де каскадна функція навчається на великій кількості зображень, які містять людські обличчя, і тих, які не містять облич. Риси Хаара — це набір примітивів (білих і чорних блоків), які відповідають певним рисам обличчя та організовані в каскадну структуру. Кожна функція є значенням різниці між сумою пікселів під чорним блоком і сумою пікселів під білим блоком. У результаті вивчення ознак  $f_j$  можна здобути значення порівняльності за модулем  $p_j$  і граничним значенням  $\theta_j$ , даючи змогу описати класифікатор у такий спосіб:

$$h_j(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } p_j \theta_j > p_j f_j(x), \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (1)$$

Після локалізації ділянки обличчя зображення, яке надійшло на вхід алгоритму, зменшується, і залишається лише та частина, що є ділянкою зображення, в якій локалізовано обличчя людини.

На другому етапі отримана ділянка зображення обробляється вейвлетами Габора. Цей метод є біологічно значущим, оскільки вейвлети мають форму, подібну до рецептивних полів простих клітин первинної зорової кори. Відповідно, подання зображень базується на принципах представлення зображень у мозку людини, а моделювання комп'ютерного зору стає більш ефективним процесом. Функція Габора визначається так [11]:

$$g(x, y) = e(j(2\pi(u_0 x + v_0 y) + P)) \times Ke(-\pi(a^2(x - x_0)_\tau^2 + b^2(y - y_0)_\tau^2)), \quad (2)$$

де  $(u_0, v_0)$  — просторові частоти синусоїдної носійної в декартових координатах;  $P$  — фаза синусоїдної носійної;  $K$  — параметр масштабування значення обвідної Гаусса;  $(a, b)$  — параметри масштабування двох осей гауссової обвідної;  $(x_0, y_0)$  — координати вершини гауссової обвідної.

Зображення, оброблене вейвлет-перетворенням Габора, подається на вхід методів виявлення ознак, які є локальними дескрипторами зображення текстури. Перший метод — це гістограма орієнтованих градієнтів (HOG), що дає змогу виокремити особливості форми зображення. Для створення гістограми локальних градієнтів спочатку розраховуються градієнти орієнтації для кожної ділянки зображення, які потім нормалізуються. Градієнт обчислюється за допомогою одновимірної горизонтальної дискретної похідної маски  $D_x$  через першу фільтрацію та одновимірної вертикальної дискретної похідної маски  $D_y$  через згортку. Здобуте значення є сумою суміжних пікселів з урахуванням ваги маски. Цей процес можна подати такими формулами [9]:

$$I(x) = I \cdot D_x, \text{ якщо } D_x = [-1 \ 0 \ 1], \quad (3)$$

$$I(y) = I \cdot D_y, \text{ якщо } D_y = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Другим методом виділення ознак зображення є локальні бінарні шаблони в одновимірному просторі (1DLBP) [9]. Оператори LBP використовуються для розрізнення текстур і демонструють ефективну

роботу за умов зміни кутів повороту та освітлення. Більшість операторів LBP характеризують розподіл текстури зображення обличчя для кожного пікселя лише його краями. Однак відмінності між двома зображеннями обличчя можна продемонструвати через відносне співвідношення з іншими пікселями. Для цього вихідне зображення розкладається на кілька підзображень різного розміру, щоб краще схарактеризувати деталі та зв'язки між усіма пікселями зображення. Далі здобуті дескриптори зображень об'єднуються в один глобальний вектор. Ця техніка дає змогу отримати дрібні деталі та відносні співвідношення між усіма пікселями повного зображення:

$$1DLBP = \sum_{n=0}^{N-1} 2^n \cdot S(g_n - g_0), \quad (5)$$

де  $g_0$  і  $g_n$  — значення відповідно центрального піксельного елемента та його одновимірних сусідів.

Вектори HOG і 1DLBP об'єднані, щоб сформувати глобальний вектор ознак зображення обличчя, який використовується в подальшому процесі класифікації.

### Результати дослідження

Для проведення експериментів було відібрано бази даних, які містять зображення, зняті як за обмежених (Database of Faces, FERET, SCface), так і за необмежених умов, наближених до природного середовища, в якому можна спостерігати людські обличчя (AgeDB, CFP, TinyFace, LFW).

Вибрані бази даних містять різну кількість зображень обличчя для різної кількості осіб. Щоб результати, здобуті в процесі експериментального дослідження, були більш об'єктивними, було вирішено вибрати фіксовану кількість досліджуваних з огляду на найменшу кількість осіб, для яких було зроблено зображення в одній базі даних. Отже, із кожної бази даних було відібрано зображення 40 осіб для формування тестових та еталонних вибірок зображень для проведення експериментів.

Перший набір експериментів відбувся на оригінальних зображеннях обличчя, які містилися в базах даних. Результати експериментів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати експериментів із використанням вихідних зразків зображень

База даних	Загальна кількість осіб	Загальна кількість зображень	Показник ідентифікації, %		Кількість ідентифікованих осіб	
			точність	помилка	коректно	некоректно
Database of Faces	40	120	80	20	32	8
FERET		90	95	5	38	2
SCface		136	95	5	38	2
CFP		364	60	40	24	16
TinyFace		138	10	90	4	36
LFW		210	55	45	22	18
AgeDB		308	45	55	18	22

Після аналізу результатів експериментального дослідження на оригінальних зображеннях обличчя було встановлено, що ефективність досліджуваного алгоритму на зображеннях обличчя з таких баз даних, як Database of Faces, FERET та SCface значно перевищує ефективність алгоритму на зображеннях обличчя з баз даних CFP, Tinyface, LFW та AgeDB. Для набору перших трьох баз даних показник точності ідентифікації алгоритму вищий на 35-70% порівняно з іншими базами даних (рис. 1).

Таку значну варіацію результатів роботи алгоритму можна пояснити особливостями баз даних, до яких його було застосовано. Алгоритм працював більш ефективно під час його застосування на зображеннях, знятих за напівобмежених або обмежених умов щодо фону, освітлення, положення голови об'єкта, положення камери відносно об'єкта та інших фізичних налаштувань. Також зображення з Database of Faces, FERET і SCface уніфіковані в межах однієї бази даних, оскільки вони не були зроблені за умов, наближених до реальних. Водночас бази даних CFP, Tinyface, LFW і AgeDB містять зображення обличчя, які були зняті за необмежених умов і частіше не уніфіковані в одній базі даних, оскільки вони були взяті з відкритого доступу. Крім того, вибрані бази даних містять зобра-

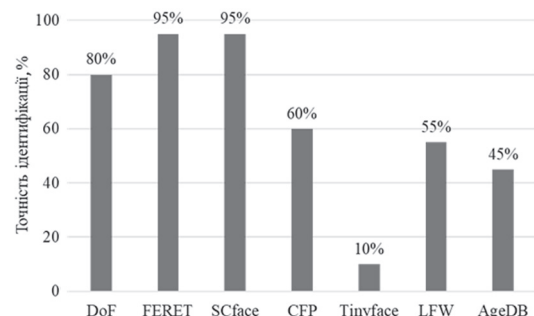


Рис. 1. Порівняльна діаграма результатів експериментів на вихідних зразках зображень

ження з різним форматом файлу та роздільною здатністю. Тому було вирішено провести експерименти, щоб визначити, чи можна підвищити ефективність алгоритму через усунення мінливості властивостей зображення й у такий спосіб, можливо, зменшити діапазон результатів роботи алгоритму.

Для проведення експериментів із конвертованими зображеннями було взято формати JPG, PNG і BMP. Порівняльну діаграму результатів, здобутих внаслідок застосування досліджуваного алгоритму до вихідних зразків зображень та до зразків зображень із перетвореним форматом, зображено на рис. 2.

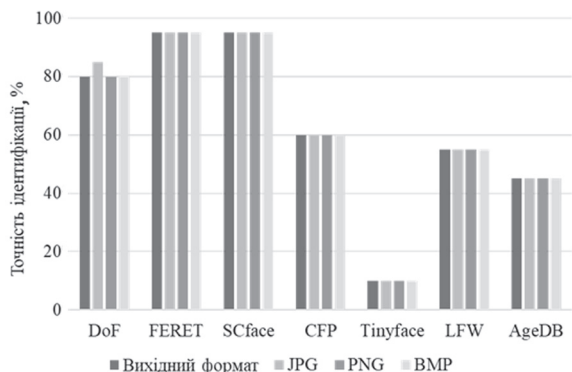


Рис. 2. Порівняльна діаграма результатів експериментів із перетворення форматів зображень

розрахунку роздільної здатності зображень. Значення роздільної здатності вибиралися з огляду на ті зображення, на яких попередні експерименти показали найвищі показники точності ідентифікації.

Проаналізувавши отримані результати, можна дійти висновку, що перетворення формату було ефективним лише після застосування досліджуваного алгоритму до зразків зображень, що містилися в Database of Faces, — точність ідентифікації алгоритму зросла на 5% після конвертації зображень у формат JPG з початкового формату PGM. Проте навіть такі незначні зміни показників точності ідентифікації вказують на те, що перетворення формату в окремих випадках застосування алгоритму може мати вирішальне значення для успіху процесу ідентифікації.

Наступний набір експериментів, результати якого наведено в табл. 2, здійснювався з перетворенням роздільної здатності зображень.

Таблиця 2

Результати експериментів на зображеннях із перетвореною роздільною здатністю

База даних	Роздільна здатність	Загальна кількість осіб/зображень	Показник ідентифікації, %		Кількість ідентифікованих осіб	
			точність	помилка	коректно	некоректно
Database of Faces	width × 91, width × 128, width × 144	40/120	85	15	34	6
	width × 100		90	10	36	4
FERET	width × 91	40/90	65	35	26	14
	width × 100		80	20	32	8
	width × 128		85	15	34	6
	width × 144		90	10	36	4
SCface	width × 91	0/136	65	35	26	14
	width × 100		80	20	32	8
	width × 128		85	15	34	6
	width × 144		95	5	38	2
CFP	width × 91, width × 144	40/364	65	35	26	14
	width × 100		70	30	28	12
	width × 128		60	40	24	16
TinyFace	width × 91, width × 100	40/138	45	55	18	22
	width × 128, width × 144		35	65	14	26
LFW	width × 91	40/210	0	60	16	24
	width × 100		35	65	14	26
	width × 128		70	30	28	12
	width × 144		45	55	18	22
AgeDB	width × 91	40/308	45	55	18	22
	width × 100, width × 144		40	60	16	24
	width × 128		50	50	20	20

Оскільки всі вибрані бази даних містять зображення з різною роздільною здатністю, а одночасна зміна висоти та ширини може спричинити зміну рис обличчя, відтворених на зображенні, які є важливими для успішної роботи алгоритму, було вирішено автоматично визначати значення ширини роздільної здатності зображення щодо значення висоти, яке було встановлено як постійне. Відповідно до наведеного раніше для формування зразків зображень було вибрано такі значення роздільної здатності, за яких у попередніх наборах експериментів показники точності ідентифікації досліджуваного алгоритму були найвищими на наборах зображень із різних баз даних: width × 91, width × 100, width × 128, width × 144.

Аналізуючи результати, здобуті внаслідок застосування досліджуваного алгоритму до вибірок зображень із перетвореною роздільною здатністю, порівняно з результатами описаних раніше експериментів, як наведено на рис. 3, показники точності ідентифікації алгоритму для зразків зображень обличчя із баз даних змінилися в такий спосіб: Database of Faces — збільшено на 5-10% в усіх наборах експериментів; FERET — зменшено на 5-35% в усіх наборах експериментів; SCface — зменшено на 10-30% в усіх наборах експериментів, крім експерименту з перетворенням роздільної здатності на значення width × 144, в якому показник точності ідентифікації не змінився; CFP — збільшено на 5-10% за значень роздільної здатності width × 91, width × 144 і width × 100; Tinyface — збільшено на 25-35% в усіх наборах експериментів; LFW — збільшено на 15% при значенні роздільної здатності width × 128, за всіх інших значень показник точності ідентифікації зменшився на 10-20%; AgeDB — збільшено на 5% на значенні роздільної здатності width × 128.

Таким чином, значення роздільної здатності зображень, до яких застосовувався досліджуваний алгоритм, можуть значно впливати на його показники точності ідентифікації.

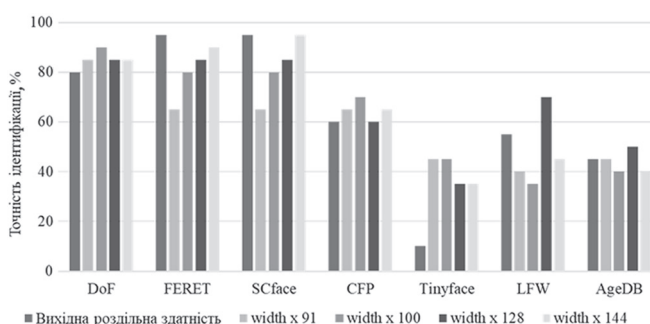


Рис. 3. Порівняльна діаграма результатів експериментів із перетворення роздільної здатності зображень

## ВИСНОВКИ

Запропоновану статтю присвячено дослідженню інформаційної технології ідентифікації особи на основі алгоритму, що містить локально-текстурні дескриптори зображень, з метою підвищення його ефективності завдяки вивченню параметрів зображень обличчя, які подаються на вхід алгоритму.

Для проведення експериментів було відібрано кілька баз даних зображень обличчя. У процесі дослідження було встановлено, що ефективність алгоритму може бути знижена на 35-70% у разі його застосування до зразків зображень, знятих за необмежених умов щодо фону, освітлення, положення голови об'єкта, положення камери відносно об'єкта та інших фізичних параметрів.

Наступні серії експериментів відбувалися з перетворенням таких властивостей зображення, як формат і роздільна здатність, з метою дослідження можливості зменшення різноманітності результатів роботи алгоритму на зразках зображень із різних баз даних. У результаті експериментів було встановлено, що формат зображень, до яких застосовувався досліджуваний алгоритм, в окремих випадках впливає на ефективність — точність ідентифікації зростає на 5% після конвертації зображень із бази даних Database of Faces у формат JPG. Перетворення роздільної здатності також вплинуло на роботу алгоритму. Внаслідок застосування алгоритму до зображень із бази даних Database of Faces точність ідентифікації збільшилась на 5-10%, FERET — зменшилась на 5-35%, SCface — зменшилась на 10-30%, CFP — збільшилась на 5-10%, Tinyface — збільшилась на 25-35%, LFW — збільшилась на 15%, AgeDB — збільшилась на 5%.

Отже, можна дійти висновку, що параметри зображень, які подаються на вхід досліджуваного алгоритму, впливають на ефективність процесу ідентифікації особи, обличчя якої міститься на зображенні. Проте існує потреба в подальших дослідженнях можливості уніфікації параметрів вхідних зображень із метою отримання меншої варіації результатів роботи алгоритму внаслідок його застосування до зображень із різних баз даних.

Найвищий показник точності ідентифікації алгоритму, який становить 95%, було здобуто на вибірках вихідних зображень обличчя, що містилися у базі даних SCface і FERET.

## Список використаної літератури

1. Zennayi Y., F. Bourzeix, Guennoun Z. Analyzing the Scientific Evolution of Face Recognition Research and Its Prominent Subfields // IEEE Access. 2022. Vol. 10, P. 68175–68201.

2. **Brodsky S.** *The Air Force's Drones Can Now Recognize Faces. Uh-Oh. Popular Mechanics*, 2023. February 24. URL: <https://www.popularmechanics.com/military/a43064899/air-force-drones-facial-recognition/>
3. **Kim M., Jain A. K., Liu X.** *AdaFace: Quality Adaptive Margin for Face Recognition // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2022.
4. **Magface: A universal representation for face recognition and quality assessment / O. Meng [et al.] // IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2021.**
5. **Past, Present, and Future of Face Recognition: A Review / I. Adjabi, A. Ouahabi, A. Benzaoui, A. Taleb-Ahmed // Electronics, 2020. №9. P. 1188.**
6. **Learning features from covariance matrix of gabor wavelet for face recognition under adverse conditions / C. Li, Y. Huang, W. Huang, F. Qin // Pattern Recognition, 2021. Vol. 119.**
7. **Student attendance with face recognition (LBPH or CNN): Systematic literature review / A. Budiman, Fabian, R. A. Yupitera, S. Achmad, A. Kurniawan // Procedia Computer Science. 2023. Vol. 216. P. 31–38.**
8. **Rajan A. P., Mathew A. R.** *Evaluation and Applying Feature Extraction Techniques for Face Detection and Recognition // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEETI)*. 2019. Vol. 7, №4. P. 742–749.
9. **Development of information technology for person identification in video stream / O. Bychkov, K. Merkulova, Y. Zhabska, A. Shatyрко // The II International Scientific Symposium «Intelligent Solutions» (IntSol-2021), CEUR Workshop Proceedings. 2021. 3018. P. 70–80.**
10. **Mantoro T., Ayu M. A., Suhendi.** *Multi-Faces Recognition Process Using Haar Cascades and Eigenface Methods // 6th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), Rabat, Morocco*, 2018. P. 1–5.
11. **Face Recognition System Using Feature Extraction Method of 2-D Gabor Wavelet Filter Bank and Distance-Based Similarity Measures / R. R. Isnanto, A. A. Zahra, A. L. Kurniawan, I. P. Windasari // Seventh International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Denpasar, Bali, Indonesia, 2022. P. 1–4.**

Ye. Zhabska

#### STUDY OF INPUT IMAGES PARAMETERS FOR IMPROVING PERSON IDENTIFICATION INFORMATION TECHNOLOGY

This article describes the research of the algorithm based on local-textural descriptors, which is the basis of the information technology of person identification, with the aim of increasing its efficiency and reducing the probability of identification errors.

An analysis of previous studies has shown that the performance of a face recognition and identification algorithm can vary significantly after applying it to images from different datasets. In addition, the issue of using local texture descriptors in the tasks of face recognition and identification on images of different quality has not been sufficiently studied in modern research. Therefore, the main goal of this work is to study the parameters of face images that will be used for identification process with the appliance of the algorithm based on such local-textural methods as histograms of oriented gradients and local binary patterns in one-dimensional space.

During the experiments, it was established that the algorithm identification accuracy rate can be decreased by 35-70% when it is applied to image samples taken in unconstrained conditions. In order to investigate the possibility of reducing the variation of the results, experiments were conducted on the same images with the transformation of their properties, such as format and resolution.

During the research, experiments were carried out with several of the most common databases of face images, as a result of which the efficiency of the algorithm reached the level of accuracy of identification of 95% on images taken under controlled conditions and unified within one database. As a result, it was found that in some cases, the conversion of the image format submitted to the input of the algorithm can increase the accuracy of the algorithm's identification by 5%. Also, the efficiency of the algorithm is affected by the resolution of the input images, in particular, due to the application of the algorithm to transformed images from the Database of Faces database, the accuracy of identification increased by 5-10%, FERET — decreased by 5-35%, SCface — decreased by 10-30%, CFP — increased by 5-10%, Tinyface — increased by 25-35%, LFW — increased by 15%, AgeDB — increased by 5%.

The highest identification accuracy rate of the algorithm, which is 95%, was obtained after its application to images taken under constrained conditions and unified within the same database.

**Keywords:** information technologies; biometric identification; face recognition.

