

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-37-8

УДК: 004.056.5

Терейковська Л.О., к.т.н., доц.

Київський національний університет будівництва і архітектури

## МЕТОД НЕЙРОМЕРЕЖЕВОГО АНАЛІЗУ КЛАВІАТУРНОГО ПОЧЕРКУ

**Терейковська Л. О. Метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку.** Стаття присвячена питанням вдосконалення засобів розпізнавання емоцій і аутентифікації користувачів інформаційно-управляючих систем. Обґрунтовано можливість впровадження в засоби розпізнавання сучасних нейромережевих рішень на базі згорткових нейронних мереж. Розроблено метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку, який за рахунок запропонованих принципів адаптації і процедури кодування параметрів клавіатурного почерку, дозволяє впровадити в засоби розпізнавання згорткову нейронну мережу, архітектура якої адаптована до очікуваних умов використання. Проведені експериментальні дослідження показали, що використання розробленого методу дозволяє забезпечити помилку розпізнавання емоцій і особи користувача на рівні кращих сучасних систем розпізнавання.

**Ключові слова:** розпізнавання емоцій, аутентифікація, клавіатурний почерк, згорткова нейронна мережа, вхідний параметр, метод розпізнавання.

**Терейковская Л. А. Метод нейросетевого анализа клавиатурного почерка.** Статья посвящена вопросам усовершенствования средств распознавания эмоций и личности пользователей информационно-управляющих систем. Обоснована возможность внедрения в средства распознавания современных нейросетевых решений на базе сверточных нейронных сетей. Разработан метод нейросетевого анализа клавиатурного почерка, который за счет предложенных принципов адаптации и процедуры кодирования параметров клавиатурного почерка, позволяет внедрить в средства распознавания сверточную нейронную сеть, архитектура которой адаптирована к ожидаемым условиям использования. Проведенные экспериментальные исследования показали, что использование разработанного метода позволяет обеспечить ошибку распознавания эмоций и личности пользователя на уровне лучших современных систем распознавания.

**Ключевые слова:** распознавание эмоций, аутентификация, клавиатурный почерк, сверточная нейронная сеть, входной параметр, метод распознавания.

**Tereikovska L. A. Method of neural network analysis of keystroke dynamics.** The article is devoted to the issues of improving the means of recognizing the emotions and personalities of users of information management systems. The possibility of introducing modern neural network solutions based on convolutional neural networks into the recognition tools has been substantiated. A method of neural network analysis of keyboard handwriting has been developed, which, due to the proposed adaptation principles and the procedure for coding keyboard handwriting parameters, allows the convolutional neural network, the architecture of which is adapted to the expected conditions of use, to be incorporated into recognition tools. Experimental studies have shown that the use of the developed method makes it possible to ensure error recognition of the user's emotions and personality at the level of the best modern recognition systems.

**Keywords:** emotion recognition, authentication, keystroke dynamics, convolutional neural network, input parameter, recognition method.

**Постановка наукової проблеми.** Однією із найбільш сучасних тенденцій розвитку інформаційно-управляючих систем (ІУС) різноманітного призначення є впровадження в них інтерфейсних засобів (ІЗ) на основі когнітивних технологій. Вважається, що саме за рахунок впровадження таких засобів можливо позитивно вплинути на ергономічність ІЗ, забезпечити надійність системи управління і в цілому підвищити продуктивність та захищеність ІУС. В зв'язку з цим все більш широке поширення отримують когнітивні технології на основі поведінкової біометрії операторів ІУС, тобто на основі унікальної поведінки і підсвідомих рухів оператора в процесі відтворення ним деяких дій. З позицій можливості застосування в якості сенсору зчитування біометричних параметрів стандартного периферійного обладнання, широкого використання в ІУС текстової пароліної та технологічної інформації, високої спорідненості з особою власника, складності підробки біометричної інформації, можливості проведення прихованого моніторингу в процесі професійної діяльності, широкі перспективи мають когнітивні технології на основі аналізу клавіатурного почерку (КП). Слід зазначити, що проблемою аналізу КП в різний час займалися такі вчені як А.І. Іванов, М.Н. Десятерик, В.В. Марченко, І. Г. Сідоркіна, О.Н. Савінов, Xiaofeng L., Shengfei Z., Shengwei Y. Однак в роботах вказаних вчених при аналізі КП акценти ставились на підвищення точності аутентифікації оператора ІУС як при вході в систему, так і в процесі взаємодії з ІС. Питання, пов'язані з визначенням емоційного стану оператора в більшості випадків були залишені поза увагою, оскільки сфера означених досліджень в основному стосується захисту інформації. Таким чином вдосконалення методології аналізу клавіатурного почерку для інтегрованого розпізнавання особи і емоційного стану оператора ІУС є актуальною науково-прикладною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як зазначено в роботах [1-3], під поняттям КП оператора ІУС будемо розуміти його індивідуальну біометричну поведінкову характеристику, що визначає особливості набору ним тексту з клавіатури. Вважається, що кожній людині властиві свої параметри КП, які описуються швидкістю і динамікою набору тексту, термінами переходів між декількома (двома та більше) клавішами та помилками при наборі. При використанні універсальних засобів клавіатурного вводу для визначення параметрів КП реєструються код натиснутої клавіші, символ, що відповідає цій клавіші, термін утримання клавіші (ТУК) та термін між послідовним натисненням різних клавіш (ТМК). В спеціалізованих системах клавіатурного вводу для цього ще можуть бути використані параметри, які характеризують тиск оператора на клавішу, та швидкість/прискорення натиснення. Надалі перед надходженням в модуль розпізнавання зазначені параметри підлягають фільтрації і первинній обробці, в процесі якої розраховуються деякі узагальнені параметри КП. Типова процедура фільтрації наведена в роботах [2, 10], полягає у застосуванні так званих частотних, часових та клавіатурних фільтрів. При цьому часові фільтри призначені для фільтрації довготривалих клавіатурних подій. Два інших - призначені для фільтрації подій, пов'язаних з клавішами, які рідко використовуються в процесі роботи. Описані фільтри можуть використовуватися як окремо, так і спільно.

Аналіз джерел [1-4, 6-10] дозволяє стверджувати, що на сьогодні не існує загальноприйнятої методології формування множини вхідних даних модуля розпізнавання КП. Однак спільною рисою більшості відомих підходів до розпізнавання КП є використання в якості вхідних даних відфільтрованих значень часу ЧУК часу між натисканням двох і трьох окремих клавіш. Також можна визначити залежність номенклатури вхідних даних від математичного забезпечення процесу розпізнавання, який зводиться до порівняння вхідної послідовності з еталоном КП певної емоції оператора ІУС. Через те, що параметри КП корелюються як з особою конкретного оператора ІУС, так і з його емоційним станом, завдання розпізнавання емоцій може вирішуватися спільно з завданням аутентифікації. Розрізняють два типи моделей розпізнавання: по заздалегідь визначеному фрагменту тексту і по фрагменту тексту довільного змісту. В обох випадках для визначення еталонів КП оператору ІУС необхідно кілька разів ввести один або кілька фрагментів одного і того ж тексту. Більшість відомих еталонів представляють собою статистичні моделі параметрів КП, що базуються наприклад на нормальному або бімодальному законах розподілу [2, 3]. У випадку необхідності аналізу КП на базі визначеного текстового фрагмента основу еталонів, як правило, становлять показники ЧУК і ЧМК, що стосуються послідовного порядку натискання клавіш. При розпізнаванні на основі фрагменту тексту довільного змісту еталони, в своїй більшості, формуються на основі статистичних показників ЧУК та ЧМК окремих стійких послідовностей подій клавіатури, що відображають особливості динаміки набору тексту окремого оператора. Разом з тим, в роботах [4-7] на основі експериментальних досліджень доведена незадовільна адаптованість статистичних моделей до зміни емоційного стану оператора та складності їх формування у випадку аналізу фрагменту тексту довільного змісту. Також показано, що складність задачі аналізу КП пояснюється необхідністю аналізу достатньо великих обсягів багатовимірних даних. При цьому, в роботах [1, 11] доводиться, що як раз з точки зору доведеної ефективності аналізу багатовимірних даних, перспективним напрямком вдосконалення систем аналізу КП є застосування нейромережових моделей (НММ). Однак разом з позитивними результатами застосування НММ, відзначається їх обмеженість, пов'язана з труднощами формування номенклатури вхідних параметрів та визначенням архітектурних параметрів у випадку необхідності аналізу КП при вводі довільного тексту. Крім того можна відзначити застарілість використаних НММ типу багатошаровий перцептрон, ймовірнісної нейронної мережі, карти Кохонена, мережі Хопфілда, мережі РБФ та повнозв'язних глибоких нейронних мереж з прямим розповсюдженням сигналу [1, 3, 6, 10]. Також варто відзначити можливість аналізу КП за допомогою НММ типу LSTM [12], яка дозволяє обробляти тексти довільної довжини. Однак побудова такої НММ пов'язана із складністю формування навчальної вибірки. В той же час, базуючись на методах розробки нейромережових засобів захисту інформації, можна припустити доцільність використання для аналізу КП згорткових нейронних мереж (CNN). Так в роботах [8, 12] запропонований спосіб перетворення даних про натискання клавіш в зображення для подальшого використання в CNN з метою аутентифікації користувачів. Відзначається можливість досягнути на текстах фіксованої довжини точності розпізнавання КП 96,8%. Схожі результати отримані також в роботі [9], в яких CNN використані для аналізу КП з метою підвищення стійкості парольного захисту користувачів. Разом з тим в роботах [8, 9, 12] недостатньо повно висвітлені питання розробки методу застосування CNN для аналізу клавіатурного

почерку з метою визначення особи та емоційного стану оператора ІУС. Крім того не знайдено опису процедури кодування параметрів КП до виду придатного для застосування в CNN.

**Мета дослідження.** Розробка методу нейромережевого аналізу клавіатурного почерку, що за рахунок застосування згорткової нейронної дозволить забезпечити ефективне розпізнавання емоцій і особи оператора інформаційно-управляючих систем.

**Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів.** В основу розробки методу нейромережевого аналізу КП була покладена методологія [5, 11] розробки нейромережевих засобів захисту інформації. Відповідно до вказаної методології перший етап методу повинен співвідноситись із формуванням множини вхідних параметрів НММ, що з урахуванням наведених результатів літературного огляду передбачає розробку процедури кодування параметрів КП. Особливістю класичного варіанту CNN є необхідність подання вхідної інформації у вигляді квадратного кольорового зображення. Зазначена особливість накладає істотне обмеження на використання CNN - можливість аналізу КП на текстових фрагментах з фіксованою кількістю символів. При цьому загальна постановка задачі розпізнавання емоцій та особи оператора ІУС передбачає необхідність аналізу як заздалегідь визначеного фрагмента тексту, так і фрагмента тексту довільного змісту. Перший випадок можна відповісти з моніторингом емоційного стану оператора при введенні їм пральних даних. Другий випадок відповідає розпізнаванню особи/емоційного стану оператора при введенні ним з клавіатури текстової інформації в процесі функціонування ІУС. Результати [1, 4] дозволяють стверджувати, що такий моніторинг можливо здійснити за рахунок аналізу КП при введенні тексту фіксованої довжини навіть. Таким чином, наведене обмеження по фіксованій кількості символів практично не робить негативного впливу на функціональність системи розпізнавання. У першому випадку кількість символів в парольних даних і так є фіксованою величиною. У другому випадку обсяг фрагмента тексту довільного змісту, що підлягає аналізу, обмежується заздалегідь визначеною кількістю символів.

Розглянемо процедуру кодування параметрів КП по аналогії з кодуванням кольорового квадратного зображення. В базовому варіанті пропонується вісь ординат співвіднести з розкладкою клавіатури - ASCII-кодами клавіш або символами, що відповідають клавішам. В подальшому вісь абсцис можна співвіднести з кодами клавіш в стандарті Unicode. Ось абсцис пропонується співвіднести з введенням текстом. Таким чином, однією окремою точкою зображення буде відповідати окремий символ введеного тексту. По осі абсцис координата закодованого символу відповідає позиції (номером) даного символу в тексті. Координата по осі ординат відповідає позиції символу на клавіатурі/ASCII-коду попереднього символу в тексті. При цьому вважається, що перший символ на клавіатурі відповідає символу пробілу. У випадку, коли кількість символів тексту буде більше, ніж кількість символів на клавіатурі/ASCII-кодів, то для збереження квадратної форми малюнок зверху по осі ординат доповнюється рядками, які відповідають символу пробілу. Якщо ж кількість символів тексту менше кількості символів на клавіатурі, то для збереження форми рисунок справа доповнюється стовпцями з символами пробілу. Ілюстрацією запропонованої процедури кодування є рис.1, на якому фрагментарно показано зображення закодованого тексту «привіт». Для спрощення демонстрації при кодуванні прийнято припущення про необхідність аналізу тексту, який складається виключно з малих літер українського алфавіту і символу пробілу. На даному рисунку сірим кольором виділені допоміжні фрагменти, на яких по осі ординат відображаються символ/номер символу на клавіатурі і номер символу/символ закодованого тексту. Для наочності окремі точки зображення відокремлюються прямими лініями. Кожна точка зображення, що відповідає закодованому значенню символу тексту, характеризується трьома цифрами, записаними у відповідній клітинці. Перша цифра - це ASCII-код введеного символу, друга цифра відповідає ЧУК, а третя цифра - ЧМК. Таким чином в процедурі кодування КП використовується аналогія з кодуванням кольорового зображення з трьохканальним растром. Наприклад, символу «р» відповідає точка зображення, що знаходиться на перетині стовпчика позначеного символом «р» з рядком позначеним символом «п». У відповідній клітинці представлені значення 240 (ASCII-код), 255 (ЧУК) та 26 (ЧМК).

Розрахунок параметрів ЧУК та ЧМК реалізовано за допомогою наступних виразів:

$$y_r(i) = t_d(i) - t_u(i), \quad (1)$$

$$y_b(i, i+1) = t_d(i) - t_d(i+1), \quad (2)$$

де  $y_r$  - час утримання клавіші,  $t_d$  - час натиснення клавіші,  $t_u$  - час відпускання клавіші,  $y_b$  - час між послідовними натисненнями двох клавіш,  $i$  - номер натиснення клавіші при вводиті тексту.

я	34						
ю	33						
ь	32						
щ	31						
ш	30						
ч	29						
ц	28						
х	27						
ф	26						
у	25						
т	24						
є	23						
р	22			232;91;25			
п	21	240;93;32					
о	20						
н	19						
м	18						
л	17						
к	16						
й	15						
ї	14						
і	13					242;104;30	
и	12			226;274;35			
з	11						
ж	10						
є	9						
е	8						
д	7						
г	6						
ґ	5						
в	4					179;106;27	
б	3						
а	2						
	1	239;105;54					
		1	2	3	4	5	6
		п	р	и	в	і	т

Рис. 1. Відображення слова «привіт», закодованого з використанням ASCII-коду введеного символу, ЧУК та ЧМК у вигляді зображення з трьохканальним растром

Зауважимо складність використання  $t_d$  і  $t_u$ , яка пояснюється необхідністю їх реєстрації в універсальних комп'ютерних системах з точністю до мілісекунди. Тому, відповідно до рекомендацій [2, 3], розроблена Windows-орієнтована програма KeyboardProgram, що дозволяє реєструвати значення  $t_d$  і  $t_u$  з помилкою, яка дорівнює тривалості 50 тактів процесора. Для прикладу на рис. 2 і рис. 3 показані гістограми значень ЧУК і ЧМК для тексту «привіт всім», введення якого реєструвалось за допомогою зазначеної програми.

Використання даної програми дозволило встановити, що значення ЧУК і ЧМК не перевищують 500 мс. ЧУК і ЧМК, що перевищують цю величину, повинні бути відфільтровані. Слід відзначити значну залежність ЧУК і ЧМК від типу клавіатури. Так, за даними [6, 8], на клавіатурі з коротким ходом клавіш (клавіатура ноутбука) в середньому  $y_r=100$  мс,  $y_d=150$ , а для клавіатури з довгим ходом клавіш (стандартна клавіатура)  $y_r=150$  мс,  $y_d=200$  мс. Величини  $y_r$  і  $y_d$ , отримані в процесі даного дослідження, приблизно в 1,5-2 рази менші. Тому нормалізація ЧУК і ЧМК до середніх значень може спричинити помилки, пов'язані з характеристиками використовуваної клавіатури. Таким чином, на вхід в CNN доцільно подавати відфільтровані абсолютні значення ЧУК і ЧМК. Введений символ в першому наближенні пропонується представити у вигляді числа, що відповідає ASCII-коду. Результат кодування в числовому вигляді являє собою багатовимірну матрицю, глибина якої дорівнює кількості параметрів, що використовуються при аналізі КП.

Розробка наведеної процедури дозволила перейти до формування наступних етапів методу побудови CNN, що згідно з результатами [5, 11] повинні співвідноситись із адаптацією параметрів НММ до умов поставленої задачі розпізнавання. В основу адаптації покладено групу принципів:

Принцип 1. Кількість шарів згортки має дорівнювати кількості рівнів розпізнавання двомірного зображення середньостатистичним користувачем.

Принцип 2. Кількість карт ознак у  $n$ -му шарі згортки має дорівнювати кількості ознак на  $n$ -му рівні розпізнавання.

Принцип 3. Карта ознак в  $n$ -го шару, відповідна  $j$ -ій ознаці розпізнавання зв'язується тільки з тими картами ознак попереднього шару, які використовуються для побудови зазначеної фігури.

Принцип 4. Розмір ядра згортки для  $n$ -го шару згортки повинен дорівнювати розміру ознак розпізнавання на  $n$ -му ієрархічному рівні.

Інтеграція загальноприйнятої методології побудови нейромережових систем розпізнавання [1, 5, 11, 12], сформованих принципів адаптації параметрів CNN та запропонованої процедури кодування

вхідних параметрів дозволила запропонувати метод нейромережевого аналізу КП, реалізація якого передбачає виконання 9 етапів.

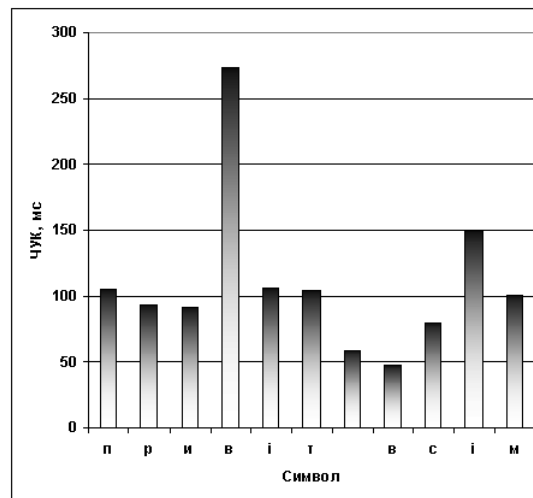


Рис 2. Гістограма значень ЧУК для тексту «привіт всім»

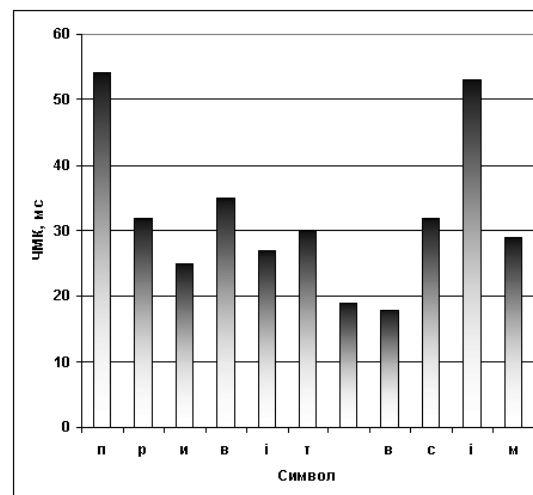


Рис. 3. Гістограма значень ЧМК для тексту «привіт всім»

Етап 1. Визначити множину вхідних параметрів НММ, що зводиться до реалізації описаної процедури кодування параметрів КП. При цьому слід задати кількість символів тексту при вводі якого будуть реєструватись параметри КП.

Етап 2. Визначити множину емоцій та множину легітимних операторів, елементи яких будуть відповідати вихідним нейронам мережі. Таким чином, кількість вихідних нейронів дорівнює сумі потужностей цих множин.

Етап 3. Базуючись на першому і другому принципах адаптації визначити кількість шарів згортки і кількість карт ознак в кожному шарі згортки.

Етап 4. Базуючись на третьому принципі визначити структуру зв'язків між сусідніми картами ознак.

Етап 5. Виходячи з вимог точності і ресурсоемності розпізнавання визначити наявність і параметри шарів субдискретизації.

Етап 6. Базуючись на четвертому принципі, з урахуванням необхідності згортки зображення до вектору ознак визначити розмір ядра згортки і кроку його зміщення для кожного рівня розпізнавання.

Етап 7. Базуючись на методі визначення кількості схованих нейронів в багат шаровому перцептроні [9], визначити кількість нейронів в повнозв'язному шарі.

Етап 8. Сформувані навчальну та тестову вибірки.

Етап 9. Провести експериментальні дослідження та визначити похибку розпізнавання особи

оператора та похибку розпізнавання емоцій.

Для верифікації запропонованого методу проведені оціночні експерименти, спрямовані на розпізнавання особи і емоційного стану оператора ІУС по його КП. Прийнято наступні умови застосування CNN:

- Кількість легітимних операторів - 8.
- Розпізнаванню підлягають три емоції - нейтральна, радість і страх.
- Текст складається з малих літер українського алфавіту і 7 знаків пунктуації.
- КП аналізується при наборі текстів, довжина яких становить 40 символів.
- КП описується параметрами ЧУК і ЧМК.

Зазначені умови застосування визначені з позицій оціночного характеру експериментальних досліджень, спрощення формування навчальної вибірки і можливості коректного представлення вхідного поля CNN.

Відповідно до запропонованого методу була розроблена НММ типу CNN з наступними архітектурними параметрами:

- Розмір вхідного поля - 40x40.
- Кількість вихідних нейронів - 11.
- Кількість шарів згортки - 2.
- Кількість шарів субдискретизації - 2.
- Кількість повнозв'язних шарів - 2.
- Розмір ядер згортки - 5x5.
- Кількість карт згортки в 1-му та 2-му шарі - 6 та 24.
- Кількість нейронів в 1-му та 2-му повнозв'язному шарі - 240 та 8.

НММ була реалізована за допомогою пакета прикладних програм MATLAB 2018. Для навчання НММ використана база даних відфільтрованих зразків КП, що відповідають трьом зазначеним емоціям для 8 осіб. Кожна емоція представлена 160 записами (20 записів на одного оператора) КП для одного і того ж тексту. Виклик певної емоції у піддослідних операторів реалізовано за рахунок перегляду відповідного мультимедійного контенту. Зразок КП для емоції кожної з піддослідних осіб записано в форматі: введений символ-ЧУК-ЧМК. 90% записів бази даних були використані для формування навчальної вибірки, інші 10% - для тестової.

Величини помилок розпізнавання особи оператора і його емоційного стану, розраховані за результатами проведених експериментів, показані на рис. 5.

Відзначимо, що отримані помилки розпізнавання співвідносяться з помилками кращих сучасних систем аналогічного призначення [3, 6-9, 12]. При цьому на точність розпізнавання негативно вплинув відносно невеликий обсяг навчальної вибірки, формування якої є достатньо ресурсоємним та тривалим процесом. Крім того проведені експерименти показали можливість інтегрального розпізнавання емоцій і особистості оператора. Це дозволяє стверджувати, що результати експериментів підтверджують перспективність використання запропонованого методу нейромережевого аналізу КП, як в системах розпізнавання емоцій, так і в системах аутентифікації користувачів.

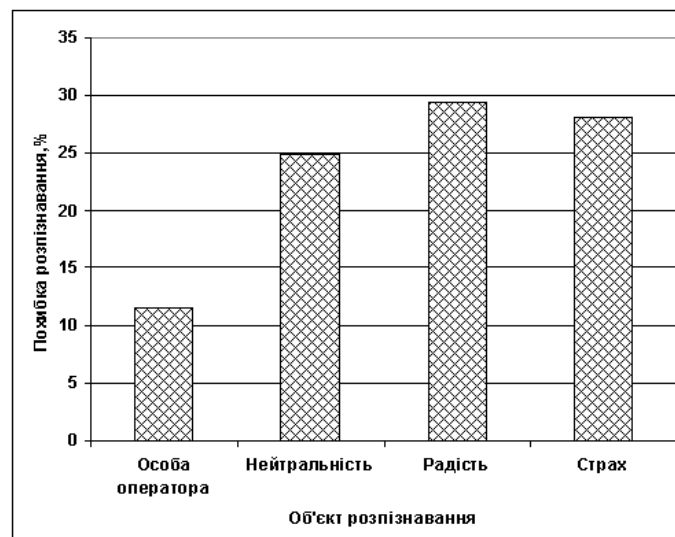


Рис. 4. Гістограма похибок розпізнавання

Також можна стверджувати, що шляхи подальших досліджень можуть бути пов'язані з нівелюванням прийнятих обмежень щодо можливості аналізу тексту з фіксованою кількістю символів. Це може бути реалізовано за рахунок використання НММ типу LSTM пристосованих до аналізу не фіксованої кількості вхідних параметрів.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Проблематика статті пов'язана з впровадженням в інтерфейсні засоби інформаційно-управляючих систем когнітивних технологій на основі клавіатурного почерку операторів вказаних систем. Показано, що впровадження цих засобів дозволить позитивно вплинути на ергономічність, продуктивність та захищеність вказаних систем. Визначено, що перспективи такого впровадження пов'язані з застосуванням для аналізу клавіатурного почерку сучасних нейромережевих рішень на базі згорткових нейронних мереж. Запропоновані принципи адаптації архітектури згорткової нейронної мережі до задачі розпізнавання клавіатурного почерку та сформовано процедуру кодування параметрів клавіатурного почерку, що дозволяє представити параметри клавіатурного почерку у вигляді квадратного кольорового зображення. Розроблено метод нейромережевого аналізу клавіатурного почерку, який за рахунок запропонованих принципів адаптації і процедури кодування параметрів клавіатурного почерку, дозволяє впровадити в засоби розпізнавання згорткову нейронну мережу, архітектура якої адаптована до очікуваних умов використання. Проведені експериментальні дослідження показали, що використання розробленого методу дозволяє забезпечити помилку розпізнавання емоцій і особи користувача на рівні кращих сучасних систем розпізнавання. Запропоновано співвіднести шляхи подальших досліджень з розробкою рішень, що дозволили б аналізувати клавіатурний почерк при вводі тексту з довільною кількістю символів.

#### References.

1. S. J. Alghamdi and L. A. Elrefaei. Dynamic user verification using touch keystroke based on medians vector proximity. In Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN), 2015 7th International Conference on, pages 121–126. IEEE, 2015.
2. Berik Akhmetov, Igor Tereykovsky, Aliya Doszhanova, Lyudmila Tereykovskaya (2018) Determination of input parameters of the neural network model, intended for phoneme recognition of a voice signal in the systems of distance learning. International Journal of Electronics and Telecommunications. Vol 64, No 4 (2018), 425-432. DOI: 10.24425/123541.
3. C. Bo, L. Zhang, T. Jung, J. Han, X.-Y. Li, and Y. Wang. Continuous user identification via touch and movement behavioral biometrics. In 2014 IEEE 33rd International Performance Computing and Communications Conference (IPCCC), pages 1–8. IEEE, 2014.
4. Yunbin Deng and Yu Zhong Keystroke Dynamics Advances for Mobile Devices Using Deep Neural Network GCSR Vol. 2, pp. 59-70, 2015 DOI: 10.15579/gcsr.vol2.ch4.
5. Liu, M., Guan, J. User keystroke authentication based on convolutional neural network, Communications in Computer and Information Science 2019, 971, pp. 157-168.
6. Lin, C.-H., Liu, J.-C., Lee, K.-Y. On neural networks for biometric authentication based on keystroke dynamics. Sensors and Materials, 2018, 30(3), pp. 385-396.
7. Saket Maheshwary, Soumyajit Ganguly, Vikram Pudi, Deep Secure: A Fast and Simple Neural Network based approach for User Authentication and Identification via Keystroke Dynamics Conference: IWAISE, International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI) - 2017At: Melbourne, Australia pp. 34-40.
8. Tereykovska L., Tereykovskiy I., Ayt Khozhaeva E., Tynymbayev S., Imanbayev A. Encoding of neural network model exit signal, that is devoted for distinction of graphical images in biometric authenticate systems (2017). // News of the national academy of sciences of the republic of kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 6, Number 426 (2017), 217 – 224.
9. Xiaofeng, L., Shengfei, Z., Shengwei, Y. Continuous authentication by free-text keystroke based on CNN plus RNN Procedia Computer Science 147, 2019, pp. 314-318.

#### Список бібліографічного опису.

1. Иванов А. И. Нейросетевые алгоритмы биометрической идентификации личности. Кн. 15: Монография / А.И. Иванов. – М.: Радиотехника, 2004. – 144 с.
2. Кошева Н.А., Мазниченко Н.И. Подход к повышению надежности идентификации пользователей компьютерных систем по динамике написания паролей. / Н.А. Кошева, Н.И. Мазниченко // Системи обробки інформації. - 2014. - Вип. 6 (122). - С. 140-146
3. Савинов А.Н. Методы, модели и алгоритмы распознавания клавиатурного почерка в ключевых системах : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.19 - Методы и системы защиты информации, информационная безопасность. Санкт-Петербург, 2013. 19 с