УДК 004.056.53:004.891.2 DOI: 10.31673/2412-9070.2026.043814

А. О. КОРЧЕНКО[1], д-р техн. наук, професор;
ORCID: 0000-0003-0016-1966
М. Г. АСКЕРОВ[2], канд. техн. наук, професор;
ORCID: 0009-0000-6611-2732
І. ІРЕЙФІДЖ[3], канд. техн. наук, доцент;
ORCID: 0000-0003-2246-6402
К. О. ДАВИДЕНКО[1], аспірант;
ORCID: 0009-0001-9209-1274
А. А. ГЕРАСИМЕНКО[2], аспірант,
ORCID: 0009-0008-4475-2040
[1]Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро
[2]Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ
[3]Опольський технічний університет, Ополе, Польща

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ ФАЗИФІКАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ НА ЕТАЛОННИХ СУБДОВКІЛЛЯХ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ФІШИНГ-АТАК

Зростання кількості та складності фішингових атак, а також постійне вдосконалення способів обходу існуючих засобів захисту зумовлюють необхідність розвитку методів виявлення фішингової активності, здатних враховувати невизначеність параметрів URL-адрес і доменної інфраструктури. Аналіз сучасних підходів показав, що методи, засновані на порогових значеннях, сигнатурному аналізі, машинному навчанні та нечіткій логіці, мають обмеження щодо адаптації до нових типів атак, а також не забезпечують формалізованої процедури фазифікації параметрів стосовно специфіки фішингових вебресурсів. У роботі використано методи системного та порівняльного аналізу, математичного моделювання і нечіткої логіки. Дослідження базується на розвитку відомого методу фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях шляхом його адаптації до специфіки фішингових URL-адрес. Для цього виконано формалізацію параметрів фішингової активності, визначено відповідні лінгвістичні терми, сформовано поправкові еталони та реалізовано процедуру фазифікації параметрів віку домену, частоти змін DNS, кількості піддоменів, довжини URL та стану SSL/HTTPS-захисту. Новизна полягає у розвитку функціональних можливостей методу фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях, в якому за рахунок формалізації процесу перетворення поточних значень параметрів, їх відображення у двовимірних поточних довкіллях та адаптації до специфіки фішингових URL-адрес, дозволяє забезпечити можливість використання фазифікованих значень у процедурах виявлення фішингових атак. У результаті отримано фазифіковані значення параметрів, які використовуються для оцінювання належності поточних параметрів до відповідних лінгвістичних еталонів і визначення двовимірної опорної області поточного рівня аномального стану, породженого фішинговою активністю. Запропонований метод може бути використаний при побудові систем виявлення фішингових атак, експертних систем кібербезпеки, систем підтримки прийняття рішень та інтелектуальних систем аналізу фішингових URL-адрес.

Ключові слова: фішин, фішингові URL-адреси, системи виявлення фішингових атак, кібербезпека, інформаційна безпека.

Вступ

Швидкий розвиток кіберпростору та масштабне поширення мережевих сервісів зумовили суттєве зростання кількості соціотехнічних атак, зокрема фішингових, що становлять одну

з найбільш критичних загроз інформаційній безпеці організацій. Сучасні фішингові кампанії характеризуються високим рівнем адаптивності, використанням автоматизованих засобів створення підроблених вебресурсів та постійним удосконаленням методів обходу існуючих механізмів захисту. Унаслідок цього традиційні засоби виявлення загроз не завжди забезпечують необхідний рівень ефективності, що зумовлює потребу в удосконаленні методів виявлення фішингової активності.

Одним із підходів до захисту інформаційних ресурсів є використання систем виявлення кібератак, функціонування яких передбачає аналіз параметрів контрольованого інформаційного середовища та виявлення ознак, характерних для відповідних типів атак. У задачах виявлення фішингу особливого значення набуває аналіз параметрів URL-адрес і доменної інфраструктури. Оскільки значення таких параметрів можуть характеризуватися невизначеністю та нечіткістю, перспективним є застосування математичного апарату нечіткої логіки, що забезпечує формалізоване представлення таких характеристик та їх використання у процедурах виявлення фішингових атак.

Постановка задачі

Відомий метод фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях [1] забезпечує загальний підхід до перетворення поточних значень параметрів у нечітку форму. Водночас процедура фазифікації в межах цього методу не формалізована стосовно специфіки соціотехнічних атак, зокрема фішингових, та не враховує особливостей параметрів URL-адрес і доменної інфраструктури, що обмежує можливості його безпосереднього застосування у задачах виявлення фішингу.

Для розвитку функціональних можливостей зазначеного методу необхідно адаптувати процедуру фазифікації до параметрів, що характеризують фішингову активність і забезпечити формування їх поточних значень у нечіткій формі. До таких параметрів належать вік домену (DA), частота змін DNS (FC DNS), кількість піддоменів (NSD), довжина URL (UL) та стан SSL/HTTPS-захисту (SSL).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проведений аналіз наукових праць [2]-[14] показав, що фішинг як різновид соціотехнічних атак [15] виявляється методами, які можна умовно поділити на: методи на основі порогових значень та сигнатурного аналізу, машинного навчання та нечіткої логіки.

Методи на основі порогових значень та сигнатурного аналізу [3], [7] є реактивними за своєю природою, демонструють суттєву залежність від повноти навчальних вибірок і не здатні виявляти нові, раніше невідомі атаки.

Методи машинного навчання [2], [4], [5], [6], [8] - незважаючи на високу точність потребують формування репрезентативних навчальних вибірок, демонструють знижену ефективність на нових типах атак та характеризуються недостатньою інтерпретованістю результатів.

Методи на основі нечіткої логіки [9]-[14] частково долають проблему невизначеності параметрів і підвищують інтерпретованість результатів, проте жоден із розглянутих підходів не реалізує формалізованої процедури фазифікації вхідних параметрів на еталонних субдовкіллях стосовно специфіки фішинг-атак.

Таким чином, незважаючи на широкий спектр існуючих підходів, усі вони мають спільні обмеження, складність адаптації до нових типів атак, необхідність формування репрезентативних навчальних вибірок та недостатня інтерпретованість отриманих результатів. Використання нечітких моделей дозволяє подолати зазначені недоліки шляхом формалізації знань експертів та врахування невизначеності параметрів фішингових ресурсів, однак жоден із розглянутих методів не реалізує повноцінної процедури фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях стосовно специфіки фішинг-атак.

Виходячи з цього, розвиток функціональних можливостей методів, що дозволяють фазифікувати поточні значення параметрів фішингових URL-адрес для систем виявлення фішинг-атак, є актуальним науковим завданням.

Мета дослідження

Метою роботи є розвиток функціональних можливостей методу фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях для виявлення фішинг-атак (МФФ), що дозволяє сформувати поточні значення змінних у нечіткій формі, за допомогою яких формалізуються параметри, характерні для фішингової активності, а саме: вік домену (DA), частота змін DNS (FC DNS), кількість піддоменів (NSD), довжина URL (UL) та стан SSL/HTTPS-захисту (SSL) [16] при вирішенні задач виявлення фішинг-атак в кіберпросторі.

На відміну від існуючого методу фазифікації параметрів на еталонних підсередовищах [1], запропонований МФФ враховує специфіку фішингових вебресурсів шляхом використання лінгвістичних термів і функцій належності для параметрів, що характеризують фішингову активність у кіберпросторі. Це забезпечує формалізацію параметрів фішингової активності у нечіткому субдовкіллі та можливість їх подальшого використання у процедурах виявлення фішинг-атак.

Таким чином, запропонований метод створює основу для застосування процедур фазифікації параметрів фішингових URL-адрес у системах виявлення фішингових атак.

Методологія. У статті використано методи системного аналізу, порівняльного аналізу сучасних підходів до виявлення фішингових атак, методи нечіткої логіки та математичного моделювання. Дослідження базується на розвитку відомого методу фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях шляхом його адаптації до специфіки фішингових URL-адрес. Для цього виконано формалізацію параметрів фішингової активності, визначено відповідні лінгвістичні терми, сформовано поправкові еталони та реалізовано процедуру фазифікації поточних значень параметрів із використанням функцій належності. Ефективність запропонованого підходу проілюстровано на прикладах фазифікації параметрів віку домену, активності DNS, кількості піддоменів, довжини URL та стану SSL/HTTPS.

Основна частина дослідження

Розвиток методу [1] здійснюється шляхом адаптації його базових етапів до особливостей параметрів, що характеризують фішингові URL-адреси. Для цього на кожному етапі використовуються параметри DA, FC DNS, NSD, UL та SSL, які відображають характерні ознаки фішингової активності.

Для розвитку функціональних можливостей методу фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях для виявлення соціотехнічних атак, а саме фішинг-атак, скористаємося відомим МФП [1], [17] що передбачає реалізацію трьох взаємопов'язаних етапів: визначення частот зустрічальності параметрів, формування поправкових еталонів та нечітких параметрів.

На етапі *визначення частот зустрічальності параметрів* розглянемо реалізацію відповідної процедури на прикладі фішингової атаки. Для випадку $i = 1$, що відповідає кібератаці з ідентифікатором $CA_1 = CA_{Ph} = Ph$, та за заданих умов $j = 1$ і $r_j = 3$ відповідно до виразів (3.1)-(3.3) (див. п. 3.1 у [17]) з використанням засобів штучного інтелекту формуються частоти зустрічальності всіх поточних параметрів $P_{PhDA}(t_\eta)$, $P_{PhFC\ DNS}(t_\eta)$, $P_{PhNSD}(t_\eta)$, $P_{Ph\ UL}(t_\eta)$, $P_{Ph\ SSL}(t_\eta)$. Отримані значення відображаються у вигляді відповідних підмножин лічильників сенсорів $\mathbf{CS_{ij}} \subseteq \mathbf{CS}$:

Частоти зустрічальності поточного стану параметра $P_{PhDA}(t_\eta)$

CS_{ij}	$\mathbf{N_{11}}$ ($r_j = r_1 = 3,\ j = 1$)		
	N_{111}	N_{112}	N_{113}
CS_{1j}	62	18	0

Частоти зустрічальності поточного стану параметра $P_{PhFC\ DNS}(t_\eta)$

CS_{ij}	$\mathbf{N_{12}}$ ($r_j = r_2 = 3,\ j = 2$)		
	N_{121}	N_{122}	N_{123}
CS_{1j}	0	24	56

Частоти зустрічальності поточного стану параметра $P_{PhNSD}(t_\eta)$

CS_{ij}	$\mathbf{N_{13}}$ $(r_j = r_1 = 3, j = 3)$		
	N_{131}	N_{132}	N_{133}
CS_{1j}	10	26	44

Частоти зустрічальності поточного стану параметра $P_{Ph\ UL}(t_\eta)$

CS_{ij}	$\mathbf{N_{14}}$ $(r_j = r_2 = 3, j = 4)$		
	N_{141}	N_{142}	N_{143}
CS_{1j}	0	28	52

Частоти зустрічальності поточного стану параметра $P_{Ph\ SSL}\ (t_\eta)$

CS_{ij}	$\mathbf{N_{15}}$ $(r_j = r_2 = 3, j = 5)$		
	N_{151}	N_{152}	N_{153}
CS_{1j}	52	28	0

Далі, згідно з етапом 2 [1], *сформуємо поправкові еталони* $\mathbf{T^E_{ij}} \subseteq \mathbf{T^E}$, для $n = 1$ $(i = 1), j = 1$ відповідно до (3.4) та (3.5) в [17] їх формальне визначення здійснюється наступним чином

$$\mathbf{T^E_{11}}=\{\cup_{s=1}^{3} \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{11s}\}=\{\cup_{s=1}^{3}(\underset{\sim}{T}^{e}_{11s} \times CS_{11s})\}=$$

$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{111} \times CS_{111},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{112} \times CS_{112},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{113} \times CS_{113}\}=\{\underset{\sim}{\text{МЛ}}^{\mathrm{E}}_{11}, \underset{\sim}{\text{СР}}^{\mathrm{E}}_{11},\ \underset{\sim}{\text{СТ}}^{\mathrm{E}}_{11}\}$$

$$<=>$$

$$\mathbf{T^E_{PhDA}}=\{\cup_{s=1}^{3} \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{\text{PhD As}}\}=\{\cup_{s=1}^{3}(\underset{\sim}{T}^{e}_{PhDAs} \times CS_{PhDAs})\}=$$

$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{PhDA1} \times CS_{PhDA1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{PhDA2} \times CS_{PhDA2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{PhDA3} \times CS_{PhDA3}\}=\{\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhDA1}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhDA2}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhDA3}\}.$$

Таким чином, фактично здійснюється множення НЧ $\underset{\sim}{\text{МЛ}}^{\mathrm{e}}_{11}$, $\underset{\sim}{\text{СР}}^{\mathrm{e}}_{11}$, $\underset{\sim}{\text{СТ}}^{\mathrm{e}}_{11}$ еталонного субдовкілля ($\mathbf{T^e_i = T^e_1 = T^e_{Ph}}$) (див. приклад його формування в [16]), що входять в $\mathbf{T^e_{11} = T^e_{PhDA}}$ на значення $CS_{111}, CS_{112}, CS_{113}$ відповідно.

Також, з урахуванням (3.4) і (3.5) в [17] і далі, відповідні поправкові еталони обчислюються за виразом:

Відповідно до формул (3.4) і (3.5) в [17] поправкові еталони розраховуються згідно з виразом:

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{111} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhDA1} = \underset{\sim}{\text{МЛ}}^{\mathrm{E}}_{11} = \underset{\sim}{\text{МЛ}}^{e}_{PhDA} \times 62 = 0/0{,}08;\ 1/0{,}08;\ 0{,}67/0{,}5;\ 0/1 \times 62 =$$

$$\{0/4{,}96;\ 1/4{,}96;\ 0{,}67/31;\ 0/62\};$$

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{112} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhDA2} = \underset{\sim}{\text{СР}}^{\mathrm{E}}_{11} = \underset{\sim}{\text{СР}}^{e}_{PhDA} \times 18 = \{0/0{,}08;\ 0{,}13/0{,}08;\ 1/0{,}5;\ 0{,}67/1;\ 0/1\} \times 18 =$$

$$\{0/1{,}44;\ 0{,}13/1{,}44;\ 1/9;\ 0{,}67/18;\ 0/18\};$$

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{113} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhDA3} = \underset{\sim}{\text{СТ}}^{\mathrm{E}}_{11} = \underset{\sim}{\text{СТ}}^{e}_{PhDA} \times 0 = \{0/0{,}08;\ 0{,}33/0{,}5;\ 1/1;\ 0/1\} \times 0$$

$$= \{0/0;\ 0{,}33/0;\ 1/0;\ 0/0\}.$$

За аналогією з $\mathbf{T^E_{11}}$ реалізуємо обчислення для $\mathbf{T^E_{12}}$, якщо $n = 1$ $(i = 1)$ і $j = 2$ отримаємо:

$$\mathbf{T^E_{12}}=\{\cup_{s=1}^{3} \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{12s}\}=\{\cup_{s=1}^{3}(\underset{\sim}{T}^{e}_{12s} \times CS_{12s})\}=$$

$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{121} \times CS_{121},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{122} \times CS_{122},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{123} \times CS_{123}\}=\{\underset{\sim}{\text{Н}}^{\mathrm{E}}_{12}, \underset{\sim}{\text{СР}}^{\mathrm{E}}_{12},\ \underset{\sim}{\text{В}}^{\mathrm{E}}_{12}\}$$

$$<=>$$

$$\mathbf{T^E_{PhFC\ DNS}}=\{\cup_{s=1}^{3} \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNSs}\}=\{\cup_{s=1}^{3}(\underset{\sim}{T}^{e}_{PhFC\ DNSs} \times CS_{PhFC\ DNSs})\}=$$

$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{PhFC\ DNS1} \times CS_{PhFC\ DNS1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{PhFC\ DNS2} \times CS_{PhFC\ DNS2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{PhFC\ DNS3} \times CS_{PhFC\ DNS3}\}=$$

$$\{\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNS1}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNS2}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNS3}\}.$$

На цій основі поправкові еталони набувають такого вигляду:

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{121} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNS1} = \underset{\sim}{\text{Н}}^{\mathrm{E}}_{12} = \underset{\sim}{\text{Н}}^{e}_{PhFC\ DNS} \times 0 = \{0/0{,}2;\ 1/0{,}2;\ 0{,}4/0{,}5;\ 0/1\} \times 0$$

$$= \{0/0;\ 1/0;\ 0{,}4/0;\ 0/0\};$$

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{122} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNS2} = \underset{\sim}{\text{СР}}^{\mathrm{E}}_{12} = \underset{\sim}{\text{СР}}^{e}_{PhFC\ DNS} \times 24 = \{0/0{,}2;\ 0{,}67/0{,}2;\ 1/0{,}5;\ 0{,}34/1;\ 0/1\} \times 24$$

$$= \{0/4{,}8;\ 0{,}67/4{,}8;\ 1/12;\ 0{,}34/24;\ 0/24\};$$

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{123} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{PhFC\ DNS3} = \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{\mathrm{E}}_{12} = \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{e}_{PhFC\ DNS} \times 56 = \{0/0{,}2;\ 0{,}8/0{,}5;\ 1/1;\ 0/1\} \times 56$$
$$= \{0/11{,}2;\ 0{,}8/28;\ 1/56;\ 0/56\}.$$

Застосовуючи аналогічний підхід з $\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{11}}$ та $\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{12}}$ зробимо розрахунки для $\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{13}}$, $\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{14}}$ та $\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{15}}$ якщо $n = 1$ $(i = 1)$ та $j = 3, j = 4, j = 5$. Тоді, з урахуванням (3.4) та (3.5) [17] маємо:

$$\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{13}} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}\, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{13s}\} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}(\underset{\sim}{T}^{e}_{13s} \times CS_{13s})\} =$$
$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{131} \times CS_{131},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{132} \times CS_{132},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{133} \times CS_{133}\} = \{\underset{\sim}{\mathrm{H}}^{\mathrm{E}}_{13}, \underset{\sim}{\mathrm{CP}}^{\mathrm{E}}_{13},\ \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{\mathrm{E}}_{13}\}$$
$$\Leftrightarrow$$
$$\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{Ph\ NSD}} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}\, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSDs}\} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}(\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ NSDs} \times CS_{Ph\ NSDs})\} =$$
$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ NSD1} \times CS_{Ph\ NSD1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ NSD2} \times CS_{Ph\ NSD2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ NSD3} \times$$
$$CS_{Ph\ NSD}\} = \{\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSD1}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSD2}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSD3}\};$$
$$\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{14}} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}\, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{14s}\} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}(\underset{\sim}{T}^{e}_{14s} \times CS_{14s})\} =$$
$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{141} \times CS_{141},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{142} \times CS_{142},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{143} \times CS_{143}\} = \{\underset{\sim}{\mathrm{H}}^{\mathrm{E}}_{14}, \underset{\sim}{\mathrm{CP}}^{\mathrm{E}}_{14},\ \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{\mathrm{E}}_{14}\}$$
$$\Leftrightarrow$$
$$\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{Ph\ UL}} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}\, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ ULs}\} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}(\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ ULs} \times CS_{Ph\ ULs})\} =$$
$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ UL1} \times CS_{Ph\ UL1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ UL2} \times CS_{Ph\ UL2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ UL3} \times CS_{Ph\ UL}\} = \{\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ UL1}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ UL2}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ UL3}\};$$
$$\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{15}} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}\, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{15s}\} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}(\underset{\sim}{T}^{e}_{15s} \times CS_{15s})\} =$$
$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{151} \times CS_{151},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{152} \times CS_{152},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{153} \times CS_{153}\} = \{\underset{\sim}{\mathrm{КР}}^{\mathrm{E}}_{15}, \underset{\sim}{\mathrm{ПМ}}^{\mathrm{E}}_{15},\ \underset{\sim}{\mathrm{НЗ}}^{\mathrm{E}}_{15}\}$$
$$\Leftrightarrow$$
$$\mathbf{T}^{\mathrm{E}}_{\mathbf{Ph\ SSL}} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}\, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSLs}\} = \{\mathrm{U}^{3}_{s=1}(\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ SSLs} \times CS_{Ph\ SSLs})\} =$$
$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ SSL1} \times CS_{Ph\ SSL1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ SSL2} \times CS_{Ph\ SSL2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ SSL3} \times CS_{Ph\ SSL}\} = \{\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSL1}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSL2}, \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSL3}\},$$

а також обчислимо відповідні поправкові еталони:

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{131} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSD1} = \underset{\sim}{\mathrm{H}}^{\mathrm{E}}_{13} = \underset{\sim}{\mathrm{H}}^{e}_{Ph\ NSD} \times 10 =$$
$$\{0/0{,}2; 1/0{,}2;\ 0{,}4/0{,}4;\ 0/1\} \times 10 = \{0/2; 1/2; 0{,}4/4; 0/10\};$$
$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{132} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSD2} = \underset{\sim}{\mathrm{CP}}^{\mathrm{E}}_{13} = \underset{\sim}{\mathrm{CP}}^{e}_{Ph\ NSD} \times 26 =$$
$$\{0/0{,}2; 0{,}49/0{,}2; 1/0{,}4;\ 0{,}25/1;\ 0/1\} \times 26 = \{0/5{,}2; 0{,}49/5{,}2; 1/10{,}4; 0{,}25/26; 0/26\};$$
$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{133} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ NSD3} = \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{\mathrm{E}}_{13} = \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{e}_{Ph\ NSD} \times 44 =$$
$$0/0{,}2; 0{,}8/0{,}4; 1/1; 0/1 \times 44 = \{0/8{,}8; 0{,}8/17{,}6; 1/44; 0/44\}.$$

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{141} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ UL1} = \underset{\sim}{\mathrm{H}}^{\mathrm{E}}_{14} = \underset{\sim}{\mathrm{H}}^{e}_{Ph\ UL} \times 0 =$$
$$\{0/0{,}5;\ 1/0{,}5;\ 0{,}17/0{,}7;\ 0/1\} \times 0 = \{0/0;\ 1/0;\ 0{,}17/0;\ 0/0\};$$
$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{142} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ UL2} = \underset{\sim}{\mathrm{CP}}^{\mathrm{E}}_{14} = \underset{\sim}{\mathrm{CP}}^{e}_{Ph\ UL} \times 28 =$$
$$\{0/0{,}5; 0{,}67/0{,}5;\ 1/0{,}7;\ 0{,}44/1;\ 0/1\} \times 28 = \{0/14; 0{,}67/14; 1/19{,}6; 0{,}44/28; 0/28\};$$
$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{143} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ UL3} = \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{\mathrm{E}}_{14} = \underset{\sim}{\mathrm{B}}^{e}_{Ph\ UL} \times 52 =$$
$$\{0/0{,}5;\ 0{,}83/0{,}7;\ 1/1;\ 0/1\} \times 52 = \{0/26; 0{,}83/36{,}4; 1/52; 0/52\}.$$

$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{151} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSL1} = \underset{\sim}{\mathrm{КР}}^{\mathrm{E}}_{15} = \underset{\sim}{\mathrm{КР}}^{e}_{PhSSL} \times 52 =$$
$$\{0/0{,}08;\ 1/0{,}08;\ 0{,}8/0{,}25;\ 0/1\} \times 52 = \{0/4{,}16; 1/4{,}16; 0{,}8/13; 0/52\};$$
$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{152} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSL2} = \underset{\sim}{\mathrm{ПМ}}^{\mathrm{E}}_{15} = \underset{\sim}{\mathrm{ПМ}}^{e}_{PhSSL} \times 28 =$$
$$\{0/0{,}08;\ 0{,}25/0{,}08;\ 1/0{,}25;\ 0{,}5/1;\ 0/1\} \times 28 = \{0/2{,}24; 0{,}25/2{,}24; 1/7; 0{,}5/28; 0/28\};$$
$$\underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{153} = \underset{\sim}{T}^{\mathrm{E}}_{Ph\ SSL3} = \underset{\sim}{\mathrm{НЗ}}^{\mathrm{E}}_{15} = \underset{\sim}{\mathrm{НЗ}}^{e}_{PhSSL} \times 0 =$$
$$\{0/0{,}08;\ 0{,}4/0{,}25;\ 1/1;\ 0/1\} \times 0 = \{0/0;\ 0{,}4/0;\ 1/0;\ 0/0\}.$$

На третьому етапі, відповідно до [1] виконаємо формування нечітких параметрів поточного субдовкілля. Наприклад, при $n = 1$ $(i = 1)$ і $j = 1, j = 2$ вираз (3.6) в [17], для визначення $\underset{\sim}{\mathrm{P}}^{\tau f}_{11} = \underset{\sim}{\mathrm{P}}^{e}_{PhDA}$ та $\underset{\sim}{\mathrm{P}}^{\tau f}_{12} = \underset{\sim}{\mathrm{P}}^{e}_{Ph\ FC\ DNS}$ буде мати наступний вигляд:

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{11}^{\tau_f} = (\sum_{s=1}^{3} \underset{\sim}{T}_{11s}^{\mathrm{E}})/\,/\eta_{max} = (\underset{\sim}{T}_{111}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{112}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{113}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} =$$

$$(\underset{\sim}{T}_{PhDA1}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{PhDA2}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{PhDA3}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} \text{ та}$$

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{12}^{\tau_f} = (\sum_{s=1}^{3} \underset{\sim}{T}_{12s}^{\mathrm{E}})/\,/\eta_{max} = (\underset{\sim}{T}_{121}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{122}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{123}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} =$$

$$(\underset{\sim}{T}_{Ph\ FC\ DNS1}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{Ph\ FC\ DNS2}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{Ph\ FC\ DNS3}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max}.$$

З огляду на те, що всі носії нечітких чисел $\underset{\sim}{\mathrm{CT}}_{11}^{\mathrm{E}}$ та $\underset{\sim}{\mathrm{H}}_{12}^{\mathrm{E}}$ (див. приклад формування поправкових еталонів) набувають нульових значень, то згідно з (3.6) в [17] з використанням методу лінійної апроксимації за локальними максимумами [17] обчислення здійснюються таким чином:

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{PhDA}^{e} = (\underset{\sim}{T}_{PhDA1}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{PhDA2}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} = (\underset{\sim}{\mathrm{МЛ}}_{11}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{\mathrm{СР}}_{12}^{\mathrm{E}})/80 =$$

$$(\{0/4{,}96; 1/4{,}96;\ 0{,}67/31;\ 0/62\} \tilde{+} \{0/1{,}44; 0{,}13/1{,}44;\ 1/9;\ 0{,}67/18;\ 0/18\})/80 =$$

$$\{0/4{,}96; 1/4{,}96; 0{,}67/31; 0{,}67/18; 0/62\}/80 =$$

$$\{0/0{,}062;\ 1/0{,}062;\ 0{,}67/0{,}39;\ 0/0{,}78\} \text{ та}$$

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ FC\ DNS}^{e} = (\underset{\sim}{T}_{PhFC\ DNS2}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{PhFC\ DNS3}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} = (\underset{\sim}{\mathrm{CP}}_{22}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{\mathrm{B}}_{23}^{\mathrm{E}})/80 =$$

$$(\{0/4{,}8;\ 0{,}67/4{,}8;\ 1/12;\ 0{,}34/24;\ 0/24\}) \tilde{+} (\{0/11{,}2;\ 0{,}8/28;\ 1/56;\ 0/56\})/80 =$$

$$(\{0/16;\ 0{,}67/32;\ 1/68;\ 0{,}34/80;\ 0/80\})/80 =$$

$$\{0/0{,}2;\ 0{,}67/0{,}4;\ 1/0{,}85;\ 0{,}34/1;\ 0/1\},$$

відповідно зазначимо, що $\rho = 4$ та $\rho = 5$.

Далі, аналогічним чином зробимо розрахунки для $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ NSD}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ UL}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ SSL}^{\tau_f}$, якщо $i = 1$ і $j = 3, j = 4,\ j = 5$ з урахуванням нульових носіїв в $\underset{\sim}{\mathrm{H}}_{14}^{\mathrm{E}}$ та $\underset{\sim}{\mathrm{НЗ}}_{15}^{\mathrm{E}}$ (див. приклад формування поправкових еталонів) для $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{13}^{\tau_f} = \underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ NSD}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{14}^{\tau_f} = \underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ UL}^{\tau_f}$ та $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{15}^{\tau_f} = \underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ SSL}^{\tau_f}$ отримаємо:

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ NSD}^{e} = (\underset{\sim}{T}_{Ph\ NSD1}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{Ph\ NSD2}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{Ph\ NSD3}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} = (\underset{\sim}{\mathrm{H}}_{31}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{\mathrm{CP}}_{32}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{\mathrm{B}}_{33}^{\mathrm{E}})/80 =$$

$$(0/2;\ 1/2;\ 0{,}4/4;\ 0/10 \tilde{+} 0/5{,}2;\ 0{,}49/5{,}2;\ 1/10{,}4;\ 0{,}25/26;\ 0/26 \tilde{+}$$

$$\{0/8{,}8;\ 0{,}8/17{,}6;\ 1/44;\ 0/44\})/80 = \{0/16;\ 0{,}4/25{,}8;\ 1/56{,}4;\ 0{,}25/72;\ 0/80\}/80 =$$

$$\{0/0{,}2;\ 0{,}4/0{,}32;\ 1/0{,}71;\ 0{,}25/0{,}9;\ 0/1\};$$

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ UL}^{e} = (\underset{\sim}{T}_{Ph\ UL2}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{Ph\ UL3}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} = (\underset{\sim}{\mathrm{CP}}_{42}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{\mathrm{B}}_{43}^{\mathrm{E}})/80 =$$

$$(\{0/14;\ 0{,}67/14;\ 1/19{,}6;\ 0{,}44/28;\ 0/28\} \tilde{+} \{0/26;\ 0{,}83/36{,}4;\ 1/52;\ 0/52\})/80 =$$

$$\{0/40;\ 0{,}67/50{,}4;\ 1/71{,}6;\ 0{,}44/80;\ 0/80\}/80 = \{0/0{,}5;\ 0{,}67/0{,}63;\ 1/0{,}89;\ 0{,}44/1;\ 0/1\};$$

$$\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ SSL}^{e} = (\underset{\sim}{T}_{Ph\ SSL1}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{T}_{Ph\ SSL2}^{\mathrm{E}})\ /\eta_{max} = (\underset{\sim}{\mathrm{КР}}_{51}^{\mathrm{E}} \tilde{+} \underset{\sim}{\mathrm{ПМ}}_{52}^{\mathrm{E}})/80 =$$

$$(\{0/4{,}16;\ 1/4{,}16;\ 0{,}8/13;\ 0/52\} \tilde{+} \{0/2{,}24;\ 0{,}25/2{,}24;\ 1/7;\ 0{,}5/28;\ 0/28\})/80 =$$

$$\{0{,}25/6{,}4;\ 1/11{,}16;\ 0{,}8/20;\ 0{,}5/41;\ 0/80\}/80 = \{0{,}25\ /\ 0{,}08;\ 1\ /\ 0{,}14;\ 0{,}8\ /\ 0{,}25;\ 0{,}5\ /\ 0{,}5;\ 0\ /\ 1\}$$

слід зазначити, що у всіх випадках $\rho = 5$.

За результатами обчислень отримуємо фазифіковані значення поточних параметрів $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{PhDA}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ FC\ DNS}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ NSD}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ UL}^{\tau_f}$, $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ SSL}^{\tau_f}$ (рис. 1-5).

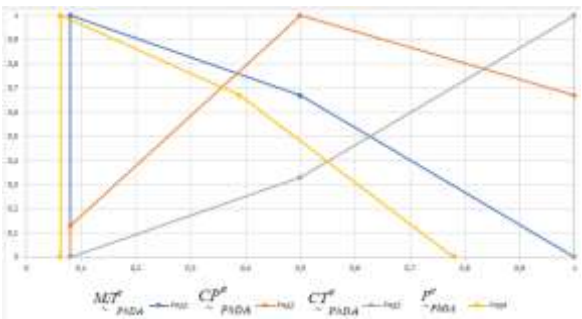

Рис. 1. Графічна інтерпретація фазифікованого значення поточного параметра $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{PhDA}^{\tau_f}$

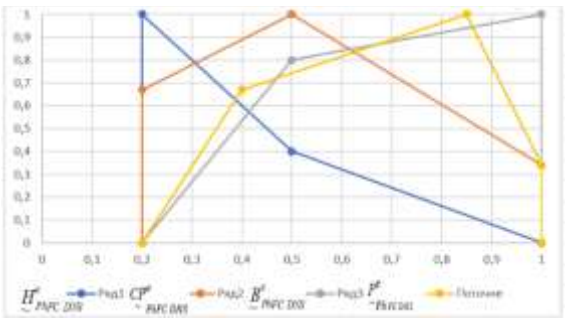

Рис. 2. Графічна інтерпретація фазифікованого значення поточного параметра $\underset{\sim}{\mathrm{P}}_{Ph\ FC\ DNS}^{\tau_f}$

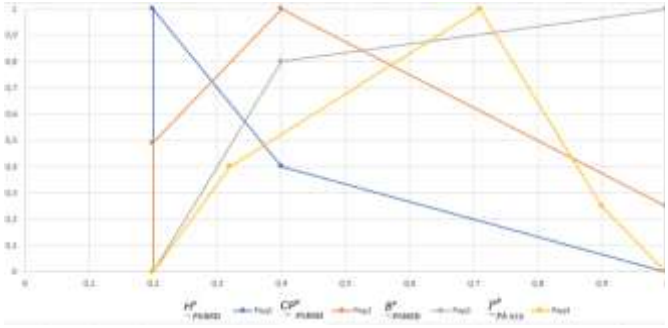

Рис. 3. Графічна інтерпретація фазифікованого значення поточного параметра $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{Ph\ NSD}$

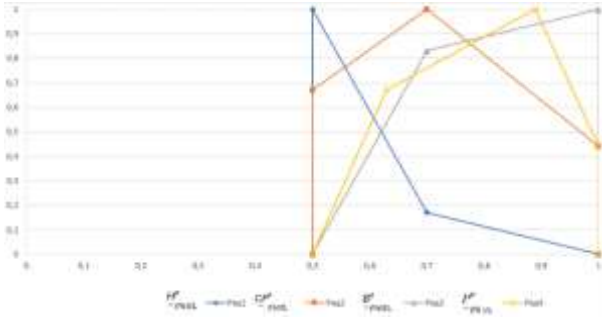

Рис. 4. Графічна інтерпретація фазифікованого значення поточного параметра $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{Ph\ UL}$

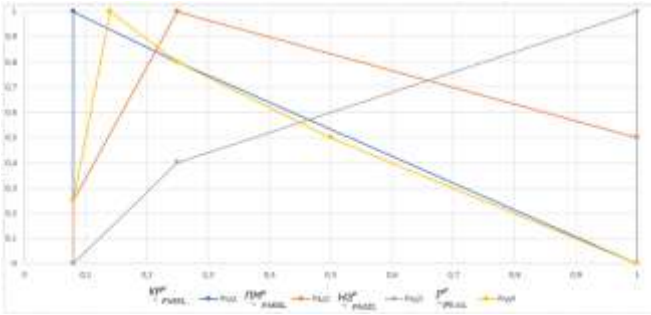

Рис. 5. Графічна інтерпретація фазифікованого значення поточного параметра $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{Ph\ SSL}$

Отримані фазифіковані значення використовуються для оцінювання належності поточних параметрів до відповідних лінгвістичних еталонів. Приклад графічної інтерпретації результатів фазифікації щодо лінгвістичних еталонів $\mathbf{T^e_{11} = T^e_{PhDA}}$ та $\mathbf{T^e_{12} = T^e_{Ph\ FC\ DNS}}$ [16] наведено на рис. 6.

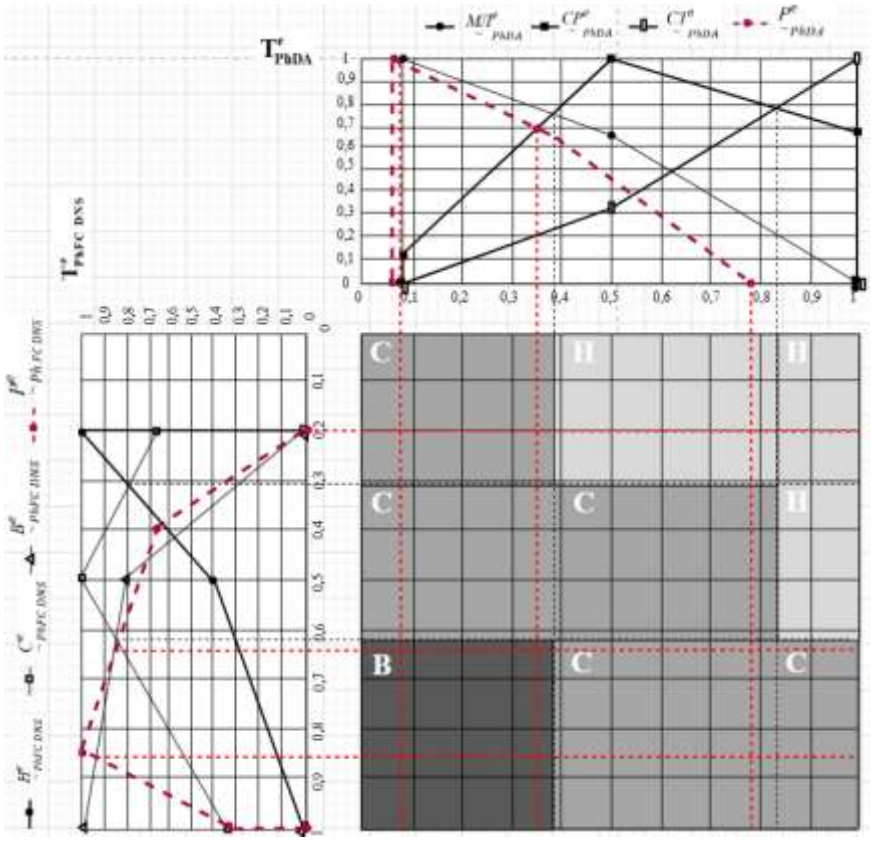

Рис. 6. Візуалізація двовимірних опорних областей ідентифікаторів фішингу (H, C, B) та фазифіковані значення поточних параметрів $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{PhDA}$ і $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{Ph\ FC\ DNS}$ відносно лінгвістичних еталонів $\mathbf{T^e_{PhDA}}$ та $\mathbf{T^e_{Ph\ FC\ DNS}}$

Після визначення фазифікованих значень окремих параметрів наступним етапом є встановлення їх положення відносно нечітких опорних областей. Це дозволяє визначити відповідний лінгвістичний рівень аномального стану, породженого фішинговою активністю.

Далі на рис. 7 представлено нечіткі опорні двовимірні області, які відображають усі можливі рівні аномального стану, породженого фішинговою активністю, відносно, наприклад, лінгвістичних еталонів $\mathbf{T^{e}_{PhDA}}$ та $\mathbf{T^{e}_{Ph\ FC\ DNS}}$ [16]. Кожна область відповідає одному з лінгвістичних рівнів: «Низький» (Н), «Середній» (С) або «Високий» (В).

Зазначені еталони слугують основою для пошуку відповідних нечітких термів

$$\{\underset{\sim}{T}^{e}_{PhDA1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{PhDA2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{PhDA3}\} \text{ та } \{\underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ FC\ DNS1},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ FC\ DNS2},\ \underset{\sim}{T}^{e}_{Ph\ FC\ DNS3}\},$$

що є найближчими до відповідних значень поточних параметрів $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{PhDA}$, $\underset{\sim}{P}^{\tau_f}_{Ph\ FC\ DNS}$, а також визначається двовимірна опорна область поточного рівня (заштрихована область) аномального стану породженого фішингом. Формалізація зазначеного процесу пошуку створює передумови для автоматизації виявлення фішингу, де роль ідентифікаторів фактично виконують побудовані опорні двомірні області (рис. 7).

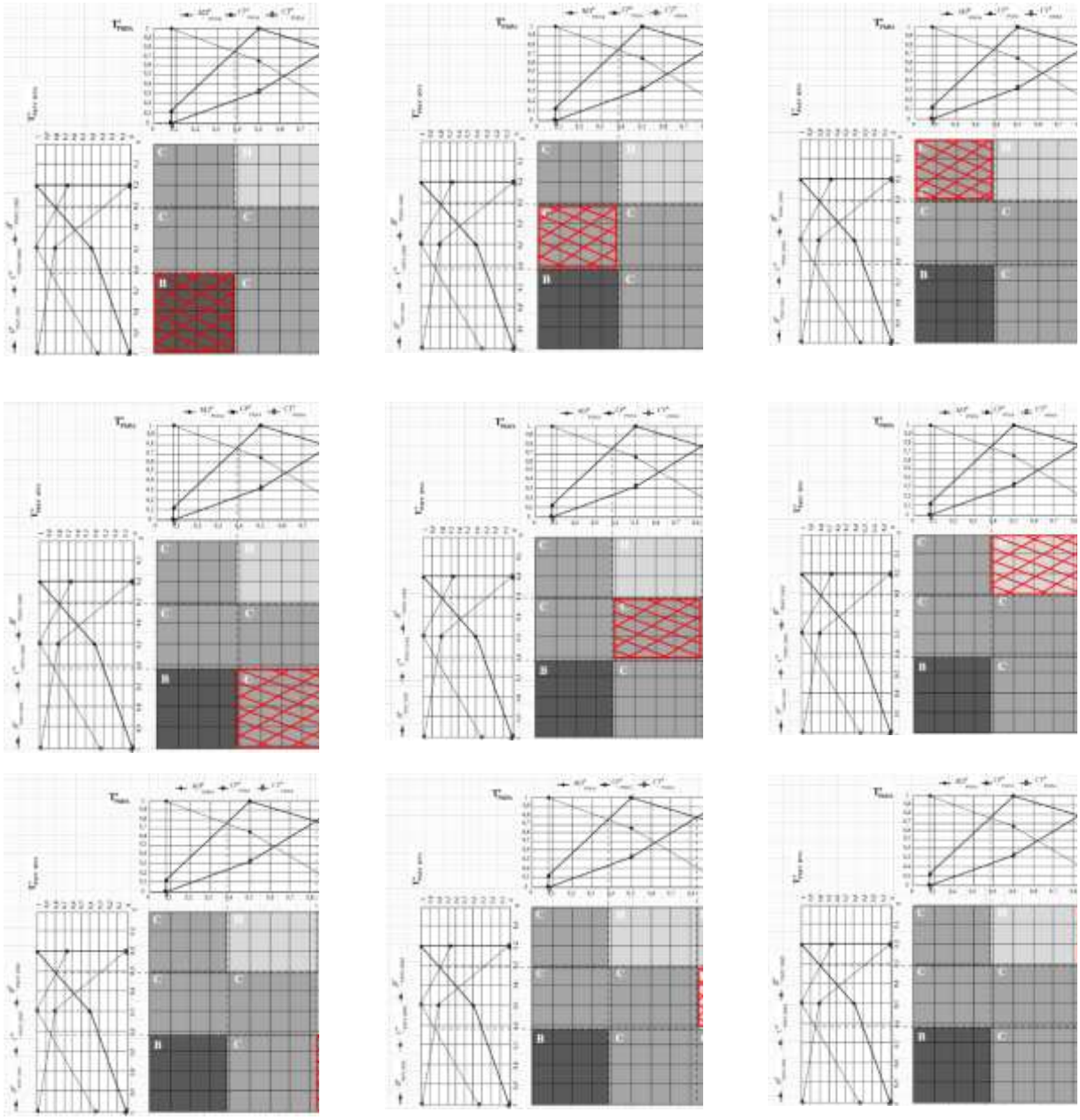

Рис. 7. Візуалізація нечітких опорних двовимірних областей всіх можливих рівнів аномального стану, породженого фішингом

Висновки та перспективи подальших досліджень

Розвинуто функціональні можливості методу фазифікації параметрів на еталонних субдовкіллях для виявлення фішинг-атак, в якому за рахунок формалізації процесу перетворення поточних значень параметрів, їх відображення у двовимірних поточних довкіллях та адаптації методу до специфіки фішингових URL-адрес, дозволяє забезпечити можливість використання фазифікованих значень поточних параметрів у процедурах подальшого виявлення фішингових атак**.** У результаті реалізації методу отримано фазифіковані значення параметрів віку домену, частоти змін DNS, кількості піддоменів, довжини URL та стану SSL/HTTPS-захисту, які використовуються для оцінювання належності поточних параметрів до відповідних лінгвістичних еталонів та визначення двовимірної опорної області поточного рівня аномального стану, породженого фішинговою активністю.

Отримані результати можуть бути використані під час побудови систем виявлення фішингових атак, експертних систем кібербезпеки, систем підтримки прийняття рішень та інтелектуальних систем аналізу фішингових URL-адрес.

Внесок авторів

Анна КОРЧЕНКО – концептуалізація дослідження, постановка наукової задачі, розроблення загальної структури дослідження; Мукафат АСКЕРОВ, Імад ІРЕЙФІДЖ, Антон ГЕРАСИМЕНКО – аналіз наукових джерел, збір та опрацювання даних, розроблення методики дослідження; Кирило ДАВИДЕНКО – збір і перевірка даних, розроблення основних етапів та математична формалізація методу.

Декларація про штучний інтелект

Засоби штучного інтелекту використовувалися для формування частот зустрічальності поточних параметрів, що характеризують фішингову активність.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Робота виконана відповідно до принципів академічної доброчесності, етичних норм проведення наукових досліджень та вимог редакційної політики щодо запобігання конфлікту інтересів.

Список використаних джерел

1. Корченко, А. А. (2014). Метод фаззификации параметров на лингвистических эталонах для систем выявления кибератак. Безпека інформації, 20(1), 21-28. Дані про випуск і сторінки підтверджуються бібліографічними записами журналу.

2. Sahingoz, O. K., Buber, E., Demir, O., & Diri, B. (2019). Machine learning based phishing detection from URLs. Expert Systems with Applications, 117, 345-357. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.09.029

3. Prakash, P., Kumar, M., Kompella, R. R., & Gupta, M. (2010). PhishNet: Predictive blacklisting to detect phishing attacks. In 2010 Proceedings IEEE INFOCOM (pp. 1-5). IEEE. https://doi.org/10.1109/INFCOM.2010.5462216

4. Abdelnabi, S., Krombholz, K., & Fritz, M. (2020). VisualPhishNet: Zero-day phishing website detection by visual similarity. In Proceedings of the 2020 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security (pp. 1681-1698). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3372297.3417233

5. Feng, J., Zou, L., Ye, O., & Han, J. (2020). Web2Vec: Phishing webpage detection method based on multidimensional features driven by deep learning. IEEE Access, 8, 221214-221224. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043188

6. Jain, A. K., & Gupta, B. B. (2017). Phishing detection: Analysis of visual similarity based approaches. Security and Communication Networks, 2017, 1-20. https://doi.org/10.1155/2017/5421046

7. Marchal, S., Saari, K., Singh, N., & Asokan, N. (2016). Know your phish: Novel techniques for detecting phishing sites and their targets. In 2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS) (pp. 323-333). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICDCS.2016.10

8. Opara, C., Chen, Y., & Wei, B. (2024). Look before you leap: Detecting phishing web pages by exploiting raw URL and HTML characteristics. Expert Systems with Applications, 236, Article 121183. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121183

9. Modha, N., & Virani, S. (2016). Fuzzy logic for phishing website detection. International Journal of Computer Science and Information Technologies, 7(5), 2221-2223.

10. Almseidin, M., Alkasassbeh, M., Alzubi, M., & Al-Sawwa, J. (2022). Cyber-phishing website detection using fuzzy rule interpolation. Cryptography, 6(2), Article 24. https://doi.org/10.3390/cryptography6020024

11. Montazer, G. A., & ArabYarmohammadi, S. (2015). Detection of phishing attacks in Iranian e-banking using a fuzzy–rough hybrid system. Applied Soft Computing, 35, 482-492. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.06.052

12. Zabihimayvan, M., & Doran, D. (2019). Fuzzy rough set feature selection to enhance phishing attack detection. In 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-6). IEEE. https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2019.8858884

13. Hidayat, R., Yanto, I. T. R., Ramli, A. A., & Fudzee, M. F. M. (2021). Similarity measure fuzzy soft set for phishing detection. International Journal of Advances in Intelligent Informatics, 7(1), 101-111. https://doi.org/10.26555/ijain.v7i1.605

14. Buu, S.-J., & Cho, S.-B. (2025). A transformer network calibrated with fuzzy logic for phishing URL detection. Fuzzy Sets and Systems, 517, Article 109474. https://doi.org/10.1016/j.fss.2025.109474

15. Korchenko, O., Korchenko, A., Zybin, S., & Davydenko, K. (2025). An approach for classifying sociotechnical attacks. Radioelectronic and Computer Systems, 2025(2), 230-252. https://doi.org/10.32620/reks.2025.2.15

16 Корченко, А. О., Давиденко, К. О., Аскеров, М. Г., & Журов, Ю. С. (2026). Метод формалізації багатовимірного еталонного субдовкілля для виявлення фішингових URL-адрес. Сучасний захист інформації, 2(66), 70-87. https://doi.org/10.31673/2409-7292.2026.021105

17. Корченко, А. О. (2019). Методи ідентифікації аномальних станів для систем виявлення вторгнень. ЦП «Компринт».

A. Korchenko, M. Askerov, I. Ireifidzh, K. Davydenko, A. Herasymenko

APPLICATION OF THE PARAMETER FUZZIFICATION METHOD BASED ON REFERENCE SUBENVIRONMENTS FOR PHISHING ATTACK DETECTION

The increasing number and complexity of phishing attacks, along with the continuous improvement of techniques for circumventing existing security mechanisms, necessitate the development of phishing detection methods capable of accounting for uncertainty in URL parameters and domain infrastructure characteristics. An analysis of current approaches has shown that methods based on threshold values, signature analysis, machine learning, and fuzzy logic have limitations in adapting to emerging types of attacks and do not provide a formalized procedure for parameter fuzzification tailored to the specific characteristics of phishing web resources. This study employs methods of system analysis, comparative analysis, mathematical modeling, and fuzzy logic. The research is based on the further development of an existing parameter fuzzification method using reference subenvironments through its adaptation to the specific characteristics of phishing URLs. For this purpose, phishing activity parameters were formalized, the corresponding linguistic terms were defined, correction reference values were established, and a fuzzification procedure was implemented for domain age, DNS change frequency, number of subdomains, URL length, and SSL/HTTPS protection status. The novelty of the study lies in extending the functional capabilities of the parameter fuzzification method based on reference subenvironments. By formalizing the transformation of current parameter

values, mapping them onto two-dimensional current environments, and adapting the method to the specific characteristics of phishing URLs, it becomes possible to use the resulting fuzzified values in phishing attack detection procedures. As a result, fuzzified parameter values were obtained and used to assess the membership of current parameter values in the corresponding linguistic reference sets and to determine the two-dimensional reference region corresponding to the current level of the anomalous state induced by phishing activity. The proposed method can be used in the development of phishing attack detection systems, cybersecurity expert systems, decision support systems, and intelligent systems for phishing URL analysis.

Keywords: phishing, phishing URLs, phishing attack detection systems, cybersecurity, information security.

Надійшла до редакції: 17.06.2026
Прийнята до друку: 01.07.2026
Опубліковано: 17.08.2026