

ДОДАТОК А.

Графічний матеріал атестаційної роботи

1

Харківський національний університет радіоелектроніки
Кафедра ЕОМ

Метод прогнозування землетрусів на основі нейромережевої технології

Агестаційна робота
Другий (магістерський) рівень

Автор:
Тютюник В.В.,
студ. гр. КСМЗм-19-1

Керівник:
Рубан І.В.,
проф.каф. ЕОМ

2020

2

МЕТА І ЗАДАЧІ РОБОТИ

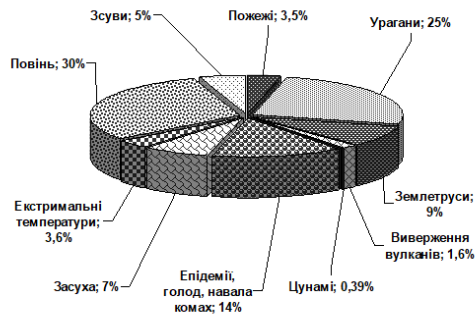
Мета: розробка методу прогнозування землетрусів на основі нейромережевої технології.

Задачі:

- аналіз особливостей виникнення землетрусів та аналіз існуючих моделей прогнозу;
- дослідження умов функціонування системи моніторингу та прогнозування землетрусів;
- кластерний аналіз територій Землі за кількістю виникнення землетрусів;
- розробка нейромережевої моделі прогнозування імовірності виникнення землетрусів.

3

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ



Процентне співвідношення середньої кількості основних НС природного характеру за період 1980 – 2019 рр.

Динаміка кількості землетрусів на Землі з магнітудою $M \geq 5$ і розрахованої їх сумарної енергії (результати представлені в логарифмічній шкалою) в період 2001–2018 рр.

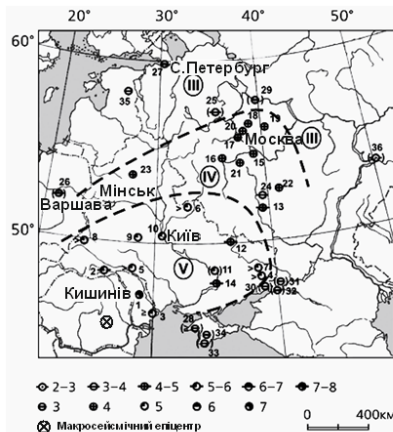


$$n = n_0 + k_n(t - t_0)$$

$$E = E_0 \cdot 10^{k_E(t-t_0)} \quad (1)$$

4

АКТУАЛЬНІСТЬ АТЕСТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ БАЗУЄТЬСЯ НА ФАКТАХ ВИНИКНЕННЯ, У МИНУЛОМУ СТОЛІТТІ, НИЗКИ НЕБЕЗПЕЧНИХ ДЛЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ЗЕМЛЕТРУСІВ У РУМУНІЇ



$$p = 1 - \exp\left(-\frac{t - t_0}{T}\right) \quad (2)$$

де $t_0 = 1977$ р. – момент часу останнього землетрусу,
 $T = 37$ р. – період землетрусів.

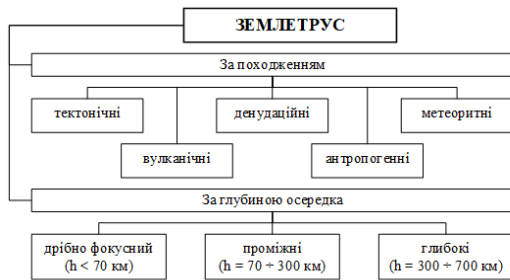
Карта сейсмічної небезпеки на території України від землетрусу 10 листопаду 1940 року

Таблиця 1 – Розрахункова ймовірність виникнення небезпечних для території України землетрусів у Румунії у період 2013 – 2022 рр.

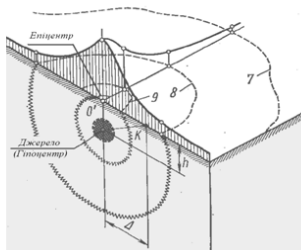
Рік	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
p	0,622	0,632	0,642	0,651	0,661	0,670	0,679	0,687	0,696	0,704

5

Класифікація землетрусів

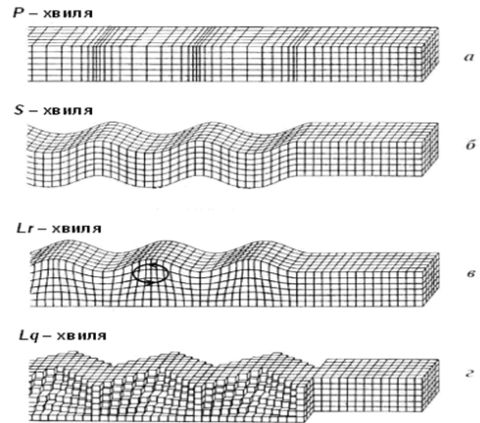


Гіпоцентр і епіцентр землетрусу



$$M = \frac{2}{3} (\lg E - 4,8) \quad (3)$$

Характер зміщення ґрунту для різних типів сейсмічних хвиль



$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (4)$$

6

ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ

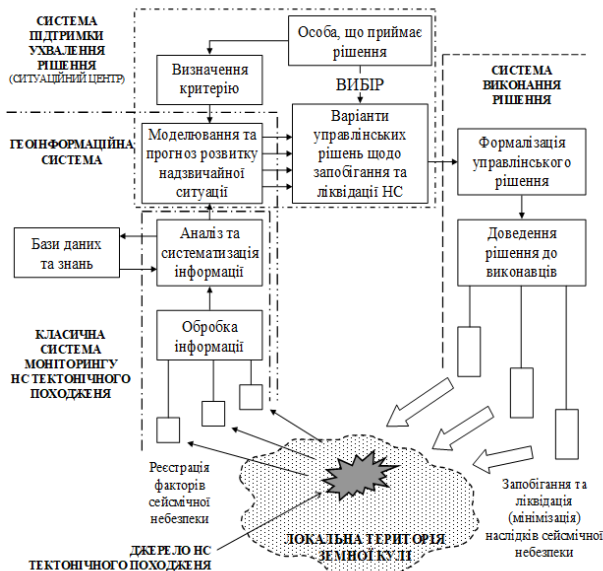


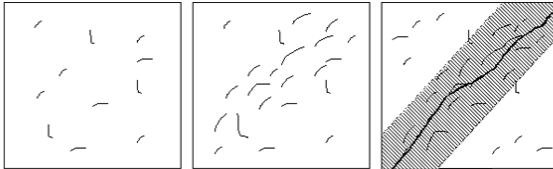
Схема структури моніторингу та прогнозування землетрусів як засобу управління

7

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУ ЗЕМЛЕТРУСІВ

I напрямок (так званий "Механістичний підхід"):

- модель лавинно-нестійкого тріщиноутворення, що полягає в швидкому наростанні кількості тріщин, їх взаємодії між собою і врешті-решт виникненні головного або магістрального розриву, зсув по якому миттєво скидає напругу, що накопичилася, з утворенням пружних хвиль



I стадія

II стадія

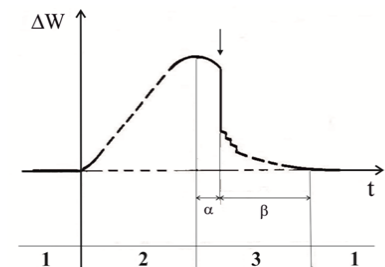
III стадія



Етапи розвитку сейсмічного джерела

- консолідаційна модель підготовки землетрусу, описує підготовку землетрусу як процес виникнення і еволюції жорсткої неоднорідності в суцільному середовищі

Схема процесу підготовки та протікання процесу землетрусу за консолідаційною моделлю: ΔW – приріст пружної потенційної енергії зони підготовки; t – час; 1 – фаза регулярного стану; 2 – фаза консолідації; 3 – фаза руйнування

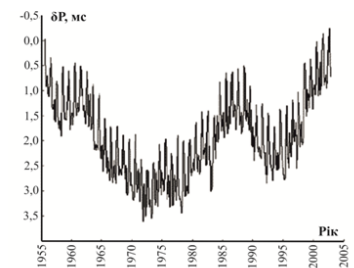


8

II напрямок - дослідження впливу на рівень сейсмічної активності території Земної кулі зовнішніх факторів, які виникають у системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце–Земля–Місяць :

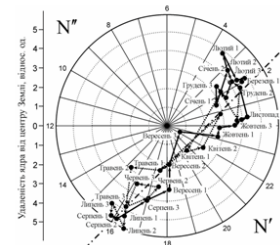
- модель зв'язку між глобальними властивостями сейсмічної активності Земної кулі із швидкістю її осьового обертання

Середньомісячні відхилення δP земних діб від еталонних за період 1955–2005 рр.



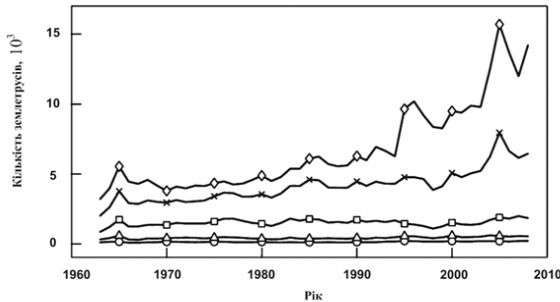
- модель зв'язку між глобальними властивостями сейсмічної активності Земної кулі із просторово-коливальним рухом внутрішнього ядра планети і його впливу на оболонку Земної кулі

Траса руху центру внутрішнього ядра у середині Землі протягом року (вид з боку полюсу)



9

III напрямок - використання статистично-імовірносного підходу щодо прогнозування землетрусів на окремій території Земної кулі, без врахування впливу факторів системи нелінійних енергетичних взаємодій Сонце-Земля-Місяць



Варіації глобальної сейсмічної активності Землі за період 1964–2008 рр.

Перспективний напрямок - в роботі [1] представлені результати дослідження прогнозування землетрусів у північно-західному районі В'єтнаму за допомогою нейромережових технологій

[1] Пупков К.А. Применение нейросетевых технологий в задачах прогнозирования землетрясений (на примере северо-западного района Вьетнама) / К.А. Пупков, Као Динь Чонг // Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. "Приборостроение". – 2012. – № 2. – С. 70–78.

10

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ТЕРИТОРІЙ ЗЕМЛІ ЗА КІЛЬКІСТЮ ВИНИКНЕННЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ

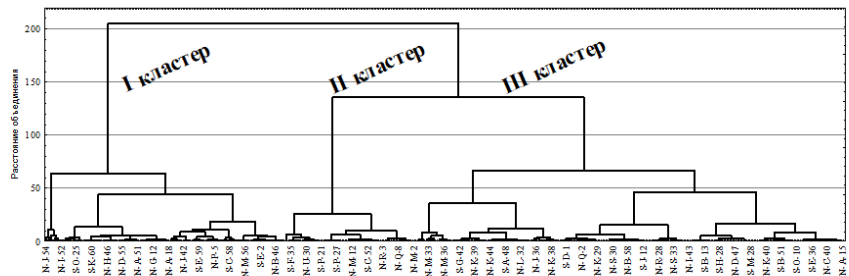
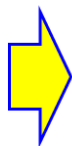


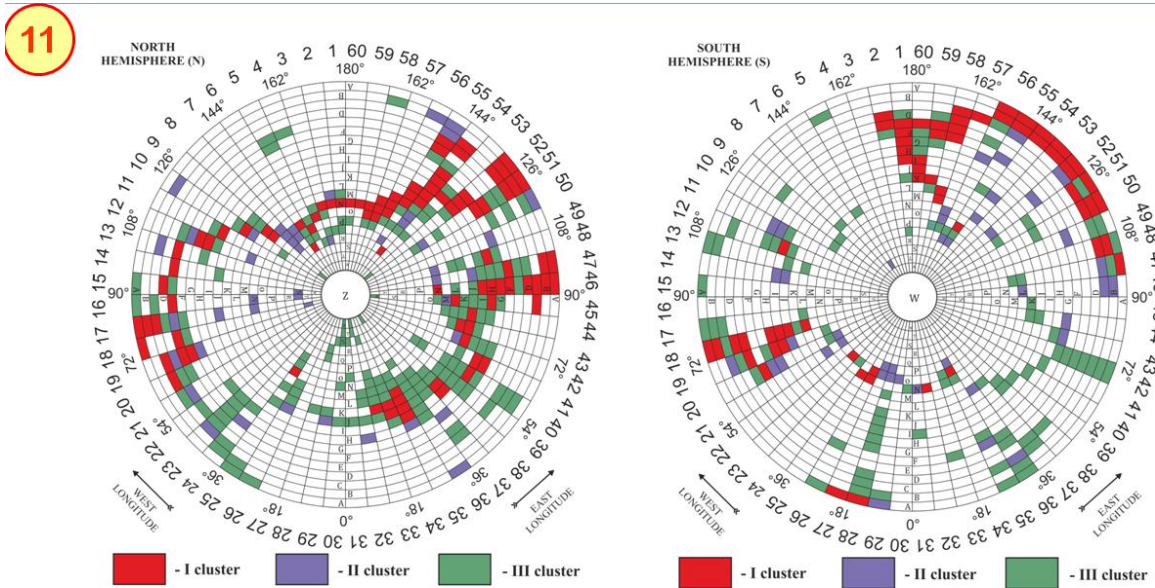
Схема системи розподілу карт на окремі листи

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{z=1}^p (X_{iz} - X_{jz})^2} \quad (5)$$

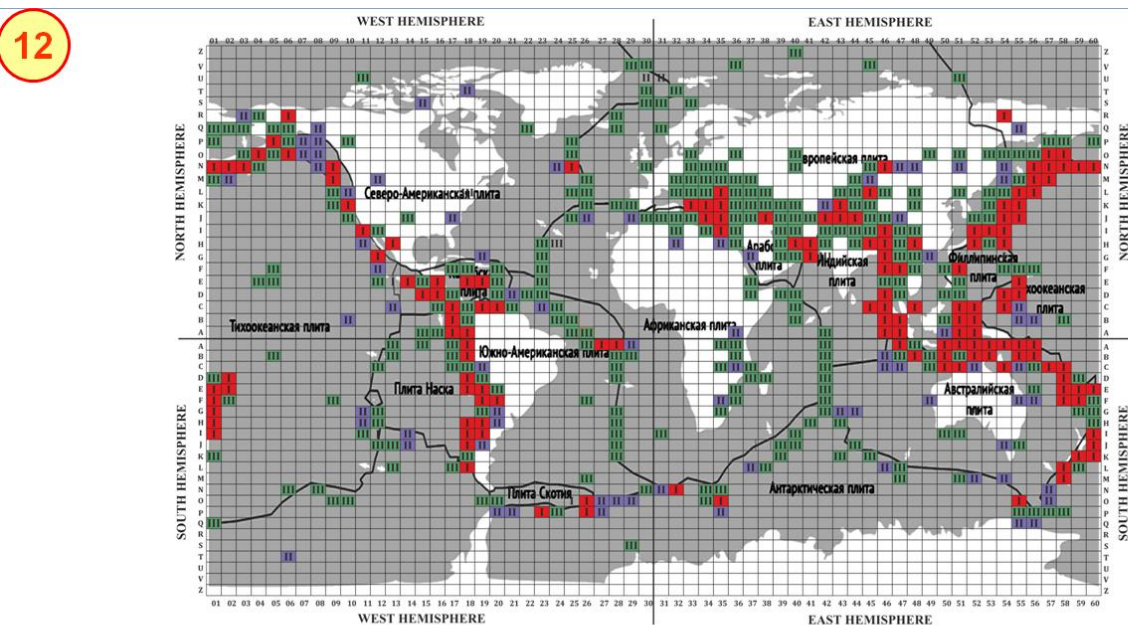
$$X_{iz}^* = \frac{X_{iz} - M[X_i]}{\sigma_{X_i}} \quad X_{jz}^* = \frac{X_{jz} - M[X_j]}{\sigma_{X_j}} \quad (6)$$

Дендрограма кластеризації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, отриманих в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за ступенем сейсмічної активності за період 2009–2018 рр.





Картографічне представлення результатів кластеризації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, отриманих в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за ступенем сейсмічної активності за період 2009–2018 рр.



Картографічне представлення результатів кластеризації сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, отриманих в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за ступенем сейсмічної активності за період 2009–2018 рр.

13

РОЗРОБКА НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ

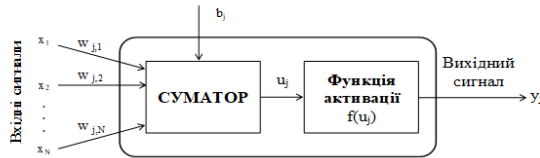


Схема штучного нейрона

Стан нейрона описується наступним виразом:

$$u_j = \sum_{i=1}^N w_{j,i} x_i + b_j \quad (7)$$

Алгоритм навчання нейромережі:

1) подати на вхід нейронної мережі один із потрібних образів та визначити значення виходів нейронів нейромережі;

2) розрахувати рекурсивну формулу для вихідного шару нейронної мережі:

$$\delta_j^{(N)} = [y_j^{(N)} - d_j] \cdot \frac{dy_j}{ds_j}$$

 $S_j = \sum_{i=1}^N w_{j,i} x_i$ – зважена сума вхідних сигналів;

3) розрахувати зміни ваг вихідного шару:

$$\Delta w_{ji} = -h \frac{dE(w)}{dw_{ji}}$$

 $E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2$ – функція помилки нейронної мережі,

 h – параметр, що визначає швидкість навчання;

4) розрахувати для інших шарів нейромережі:

$$\delta_j^{(n)} = \left[\sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot w_{j,k}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{dy_j}{ds_j} \quad \Delta w_{ji}^{(n)} = -h \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n$$

5) скорегувати всі ваги нейромережі:

$$\Delta w_{ji}^{(n)} = w_{ji}^{(n)}(t-1) + w_{ji}^{(n)}(t)$$

6) якщо помилка істотна, то перейти на крок 1.

14

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ІМОВІРНІСТІ ВИНИКНЕННЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ В РАЙОНІ ЯПОНСЬКИХ ОСТРОВІВ, ЯК РАЙОНУ З ВЕЛИКОЮ СЕЙСМІЧНОЮ АКТИВНІСТЮ

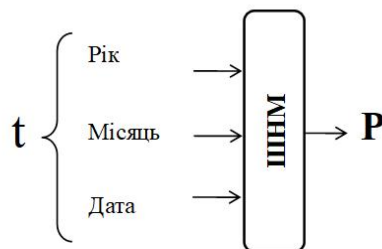
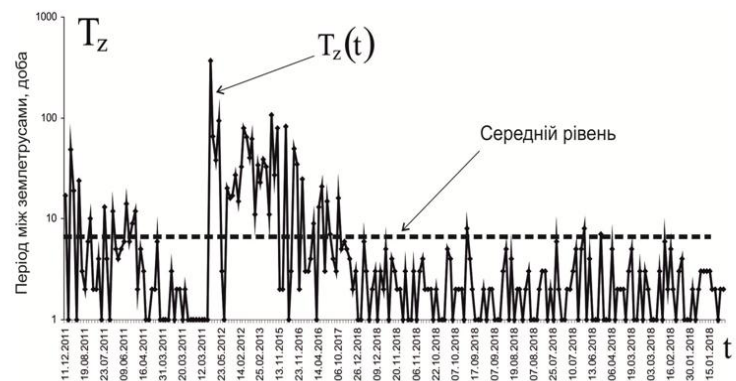
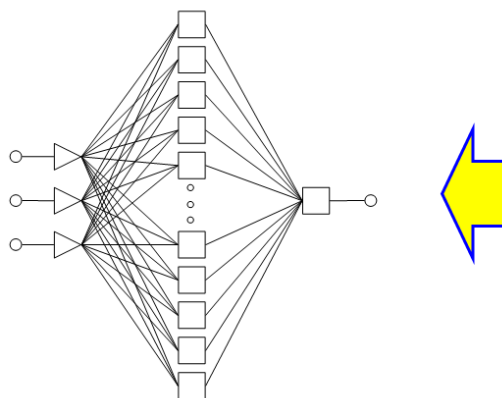


Схема штучної нейронної мережі (ШНМ) щодо прогнозування імовірності виникнення землетрусів

Динаміка періодів між землетрусами в районі Японських островів (за 2009–2018 рр. з магнітудою $M \geq 5$)

15

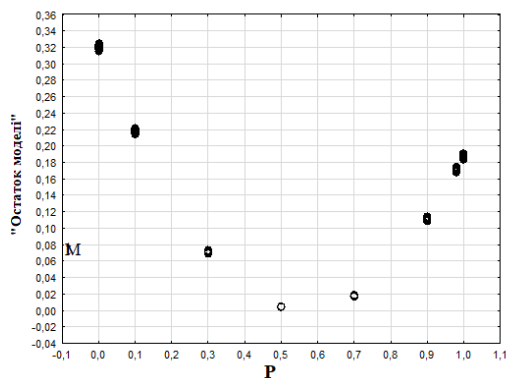


Архітектура тришарового перцептрона MLP 3-193-1 щодо прогнозування імовірності виникнення землетрусів в районі Японських островів

Статистичні характеристики трьохшарового перцептрону MLP 3-193-1 щодо прогнозу імовірності виникнення землетрусів в районі Японських островів

№ рішення	Архітектура	Продуктивність навчання	Контроль на продуктивність	Тестова продуктивність	Похибка навчання	Контроль на похибка	Тестова похибка	Алгоритм навчання	Функція помилки	Активація схованого шару	Активація вихіду
1	MLP 3-193-1	0,944	0,859	0,976	0,010	0,031	0,010	BFGS 17	SOS	Exponential	Exponential

16



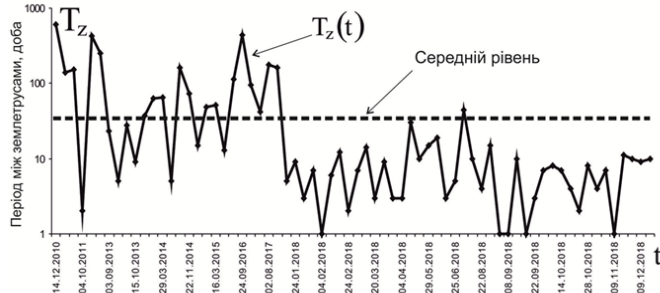
Графік залежності між значеннями показника імовірність виникнення землетрусу (P), що прогнозується мережею MLP 3-193-1, та показника "Остаток моделі" (різниця між фактичним та прогностичним значення)

Порівняльний аналіз між результатами прогнозування мережею MLP 3-193-1 імовірність виникнення землетрусу (P) та фактичним показником виникнення землетрусу ($M \geq 5$) в районі Японських островів (дані про виникнення землетрусів у 2019 році були взяті з усієї вибірки випадковим образом)

t	2019 рік										
	06.01	18.01	09.02	02.03	27.03	05.04	01.07	29.08	29.09	22.11	30.12
P	0,90	0,10	0,99	0,70	0,90	0,99	0,90	0,01	0,99	0,90	0,50
M	5,5	5,2	5,2	6,1	5,3	6,0	5,4	5,9	5,0	5,4	5,4

17

НЕЙРОМЕРЕЖЕВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ ІМОВІРНІСТІ ВИНИКНЕННЯ ЗЕМЛЕТРУСІВ В ГОРАХ ВРАНЧА, ЯК РАЙОНУ ЩО ВПЛИВАЄ НА РІВЕНЬ НЕБЕЗПЕКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

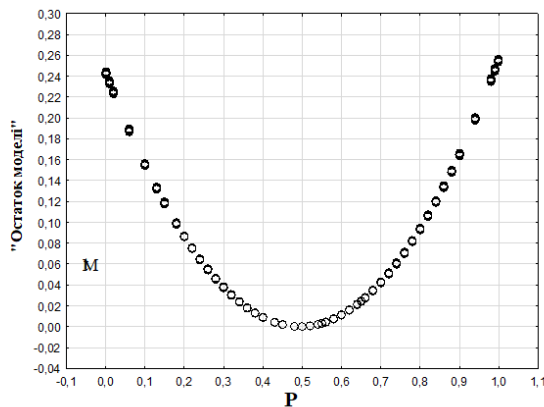


Динаміка періодів між землетрусами в горах Вранча (за 2009–2018 рр. з магнітудою $M \geq 3$)

Статистичні характеристики трьохшарового перцептрону MLP 3-95-1 щодо прогнозу імовірності виникнення землетрусів в горах Вранча

№ рішення	Архітектура	Продуктивність навчання	Контроль на продуктивність	Тестова продуктивність	Похибка навчання	Контроль на похибку	Тестова похибка	Алгоритм навчання	Функція помилки	Активація схованого шару	Активація вихіду
1	MLP 3-95-1	0,430	0,284	0,276	0,034	0,046	0,043	BFGS92	SOS	Logistic	Exponential

18



Графік залежності між значеннями показника імовірність виникнення землетрусу (P), що прогнозується мережею MLP 3-95-1, та показника "Остаток моделі" (різниця між фактичним та прогностичним значення)

Порівняльний аналіз між результатами прогнозування мережею MLP 3-95-1 імовірність виникнення землетрусу (P) та фактичним показником виникнення землетрусу ($M \geq 3$) в горах Вранча (дані про виникнення землетрусів у 2019 році були взяті з усієї вибірки випадковим образом)

	2019 рік										
	26.02	12.04	30.08	11.09	20.09	29.10	10.11	09.12	12.12	25.12	30.12
P	0,98	0,82	0,58	0,80	0,99	0,74	0,99	0,56	0,62	0,86	0,99
	3,1	3,8	3,9	3,6	3,4	3,6	3,3	3,5	3,2	3,0	3,3

19

ВИСНОВКИ

1. За допомогою методу ієрархічної кластеризації проведено ранжирування сейсмічно активних локальних територій Земної кулі, отриманих в результаті поділу карт на окремі листи масштабу 1:1000000, за основними параметрами, що визначає рівень сейсмічної активності, а саме за кількістю виниклих землетрусів, а також діапазону магнітуд землетрусів, що виникли на певній локальній території землетрусів. В результаті об'єднання в кожному кластері, за методом Варда, значень цих змінних за період 2009–2018 рр., встановлений ефект поділу сейсмічно активних локальних територій Земної кулі на три основних кластера, які характеризуються відносно високим, середнім і низьким ступенями сейсмічної активності.

2. Об'єднання проранжованих сейсмічно активних локальних територій Земної кулі у відповідні за рівнем небезпеки зони дозволило встановити, що зони з відносно високим ступенем сейсмічної активності перебувають: уздовж розділу Європейської та Тихоокеанської плит; навколо Філіппинської плити; уздовж розділу Північно-Американської та Тихоокеанської плит; навколо Карибської плити; уздовж розділу Австралійської і Тихоокеанської плит; уздовж розділу Південно-Американської плити і плити Наска. Отримані таким чином зони з відносно низьким ступенем сейсмічної активності перебувають: переважно вздовж південної частини Європейської плити на її розділі з Африканської, Арабської і Індійської плитами; уздовж розділу Європейської та Північно-Американської плит; переважно вздовж західної та східної частини Африканської плити на її розділі з Південно-Американської і Австралійської плитами; уздовж розділу Антарктичної плити з Тихоокеанської, Південно-Американської, Африканської і Австралійської плитами.

20

3. В роботі розроблено нейромережеву модель прогнозування імовірності виникнення землетрусів (з магнітудою $M \geq 5$) в районі Японських островів, як району з великою сейсмічною активністю, яка являє собою багатощаровий перцептрон MLP 3-193-1, який має три входу, сто дев'яносто три елемента у схованому шарі та одну логічну вихідну функцію. Факторами навчання цього багатощарового перцептрон є результати аналізу динаміки періодів між землетрусами в районі Японських островів за 2009–2018 рр.

Результати перевірки адекватності розробленої математичної нейромережевої моделі прогнозування землетрусів дозволяють констатувати, що показник похибки відповідає залежності між значеннями показника імовірність виникнення землетрусу (P), що прогнозується мережею MLP 3-193-1, та показника "Остаток моделі" (різниця між фактичним та прогностичним значення).

4. В роботі розроблено нейромережеву модель прогнозування імовірності виникнення землетрусів (з магнітудою $M \geq 3$) в горах Вранча, як району що впливає на рівень небезпеки функціонування території України, яка являє собою багатощаровий перцептрон MLP 3-95-1, який має три входу, дев'яносто п'ять елементів у схованому шарі та одну логічну вихідну функцію. Факторами навчання цього багатощарового перцептрон є результати аналізу динаміки періодів між землетрусами в горах Вранча за 2009–2018 рр.

Результати перевірки адекватності розробленої математичної нейромережевої моделі прогнозування землетрусів дозволяють констатувати, що показник похибки відповідає залежності між значеннями показника імовірність виникнення землетрусу (P), що прогнозується мережею MLP 3-95-1, та показником різниці між фактичним та прогностичним значенням.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!