

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет  
Кафедра прикладної радіоелектроніки**

«На правах рукопису»  
УДК 612.821:519.21

До захисту допущено:

В.о. зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Андрій МОВЧАНЮК

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні технології  
радіоелектронної техніки»**

**за спеціальністю 172«Телекомунікації та радіотехніка»**

**на тему: « Метод обробки сигналів енцефалограми за допомогою нейронної  
мережі »**

Виконав (-ла):

студент (-ка) 2 курсу, групи РЕ-21мп Тележинський В.Д.

Керівник:

Доцент, к.т.н. Перегудов С.М.

Рецензент:

Професор, д.т.н Шарпан О.Б.

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Радіотехнічний факультет**  
**Кафедра прикладної радіоелектроніки**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інтелектуальні технології радіоелектронної техніки»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Андрій МОВЧАНЮК

«  » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студента**  
**Тележинського Володимира Дмитровича**

1. Тема дисертації «Метод обробки сигналів енцефалограми за допомогою нейронної мережі»  
науковий керівник дисертації к.т.н., доцент Перегудов С.М.  
затверджені наказом по університету від «09» листопада 2023 р. № 5206-с
2. Термін подання студентом дисертації 11 січня 2024 року
3. Об'єкт дослідження є енцефалографічні сигнали.
4. Вихідні дані. Аналіз ЕЕГ даних. Передбачення епілептичних нападів.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Аналітичний огляд джерел інформації за темою дисертації. 2. Дослідження характеристик сигналів та завад у енцефалографії. 3. Дослідження характеристик нейронних мереж для дослідження. 4. Розробити метод обробки сигналів енцефалограми за допомогою нейронної мережі.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Презентація

9. Дата видачі завдання 01 вересня 2023 року

## Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримання теми магістерської дисертації	05.09.2023р.	Виконано
2	Розробка плану магістерської дисертації	10.09. 2023р.	Виконано
3	Початок збору інформації для дослідження	24.09.2023р.	Виконано
4	Проведення досліджень щодо перевірки розробленого методу та уточнення вимог до параметрів нейронної мережі	21.10.2023 – 10.11.2023	Виконано
5	Розробка нейронної мережі	21.11.2023 – 10.12.2023	Виконано
6	Навчання нейронної мережі	21.12.2023 – 31.12.2023	Виконано
7	Оформлення магістерської дисертації	09.01.2024р.	Виконано

Студент



Тележинський Володимир

Науковий керівник



Сергій Перегудов

## РЕФЕРАТ

**Зв'язок роботи з науковими програмами:** тема дисертаційної роботи пов'язана з планами наукових досліджень, що проводяться на кафедрі прикладної радіоелектроніки КПІ ім. Ігоря Сікорського.

**Актуальність теми:** ЕЕГ грає важливу роль у медичних дослідженнях та розробці нейро-комп'ютерних інтерфейсів. Незважаючи на досягнення, галузь має недоліки, зокрема у складності аналізу сигналу. Використання глибоких нейронних мереж дозволяє, знайти вирішення завдань зі складністю аналізу сигналів ЕЕГ. Важливим аспектом є забезпечення релевантного представлення сигналів для ефективного аналізу, що може якісно сприяти на науковий та технологічний прогрес.

**Об'єктом дослідження:** енцефалографічні сигнали.

**Предметом дослідження:** методи, що використовуються у програмно-апаратних засобах обробки ЕЕГ сигналів.

**Мета роботи:** у роботі використовуються методи математичного аналізу – для розроблення моделі, та математичної статистики – для обробки результатів вимірювань; експериментальні методи досліджень з використанням програмно-апаратних засобів для аналізу форми енцефалографічних сигналів та визначення діагнозу захворювань.

**Наукова новизна:** запропоновано метод обробки сигналів енцефалограми за допомогою нейронної мережі, який у порівнянні з відомими є більш адекватним для обробки результатів енцефалографічних обстежень функціонування мозку.

**Практична цінність:** запропонований метод може використовуватись у клінічній практиці для прогнозування епілептичних нападів, а також запропонована програмна реалізація методу.

**Особистий внесок магістранта:** основні переваги запропонованого методу полягають у швидкості обробки та навчання на вхідних сирих даних. Це вказує на потенційне використання даного методу в галузі прогнозування

епілептичних станів, де важлива швидка та точна обробка великої кількості даних. Таким чином, запропонований метод виявляє якісні переваги та може бути перспективним напрямком для подальших досліджень у цій області.

**Структура та обсяг роботи:** магістерська дисертація складається з вступу, п'ятьох розділів, висновків та додатку.

У вступі подано повну характеристику, проведено аналіз сучасного стану проблеми, обґрунтовано актуальність вибраного напрямку досліджень, чітко сформульовано завдання, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У проведено аналіз ринку, галузі, та методи застосування електроенцефалографії

У другому розділі детально розглянуто тему використання методів штучних нейронних мереж для обробки сигналів електроенцефалограми (ЕЕГ). Зокрема, проаналізовано важливі аспекти та переваги застосування штучних нейронних мереж у контексті обробки сигналів ЕЕГ.

У третьому розділі розглядається розробка методу обробки сигналів електроенцефалограми (ЕЕГ). Проводиться детальний аналіз крок за кроком процесу створення та оптимізації методу, спрямованого на ефективне витягування інформації з ЕЕГ-сигналів.

У четвертому розділі виконана верифікація розробленого методу обробки сигналів електроенцефалограми (ЕЕГ). Цей етап дослідження спрямований на перевірку ефективності та надійності розробленого методу через ретельні тести та аналіз результатів.

У п'ятому розділі вивчено та розроблено стартап-проект, пов'язаний із застосуванням розробленого методу обробки сигналів електроенцефалограми (ЕЕГ). Цей етап включає в себе розробку бізнес-моделі, стратегії впровадження та маркетингового плану для ефективного впровадження розробленого методу на ринок.

У висновках здійснено комплексне узагальнення отриманих у ході роботи результатів.

У додатках наведені лістинг програм та стек даних для навчання нейронної мережі.

Робота виконана на 113 аркушах, містить 2 додатка та посилання на список використаних літературних джерел з 23 найменувань. У роботі наведено 31 рисунок та 5 таблиць.

**Ключові слова:** електроенцефалографія, нейронні мережі, машинне навчання, епілепсія.

## ABSTRACT

**Connection of the work with scientific programs:** The topic of the dissertation work is related to the plans of scientific research conducted at the Department of Applied Radioelectronics of KPI named after Igor Sikorsky.

**Relevance of the topic:** Electroencephalography (EEG) plays an important role in medical diagnostics and research of the nervous system, as well as in the development of modern neuro-computer interfaces. Despite significant achievements, numerous challenges arise in this field. One of the key aspects of the complication of EEG signal analysis is the lack of universal characteristics that would ensure high reliability of technical means when using classification algorithms. The non-stationarity of the signal and its complex shape in the time domain make standard analysis methods less effective, requiring new approaches from engineering professionals to make progress.

**The object of research:** encephalographic signals.

**The subject of the research:** methods used in hardware and software processing of EEG signals.

**The purpose of the work:** the work uses the methods of mathematical analysis - to develop a model, and mathematical statistics - to process the results of measurements; experimental research methods using software and hardware tools for analyzing the form of encephalographic signals and determining the diagnosis of diseases.

**Scientific novelty:** the obtained results consist in the application of the method of neural networks in the process of processing the results of encephalographic studies.

**Practical value:** A method of processing encephalogram signals using a neural network is proposed, which, compared to the known ones, is more adequate for processing the results of encephalographic examinations of the functioning of the human brain and can be used during the diagnosis of a number of functional and pathological abnormalities of the brain and determining the mental state of a person.

**Personal contribution of the master's student:** The main advantages of the proposed method are the speed of processing and training on input raw data. This indicates the potential use of this method in the field of prediction of epileptic states, where fast and accurate processing of a large amount of data is important. Thus, the proposed method reveals qualitative advantages and can be a promising direction for further research in this area.

**Structure and scope of work:** The master's thesis consists of an introduction, five chapters, conclusions and an appendix.

The introduction provides a full description, analyzes the current state of the problem, substantiates the relevance of the chosen research direction, clearly formulates the task, highlights the scientific novelty and practical significance of the obtained results.

The first chapter is about the encephalogram method in general. Give typical graphs of encephalograms. Write about the scope of this method. But conclusions have been drawn

In the second chapter, the topic of using artificial neural network methods for processing electroencephalogram (EEG) signals is discussed in detail. In particular, the important aspects and advantages of using artificial neural networks in the context of EEG signal processing are analyzed.

The third chapter deals with the development of a method of processing electroencephalogram (EEG) signals. A detailed step-by-step analysis of the process of creating and optimizing a method aimed at effectively extracting information from EEG signals is carried out.

In the fourth chapter, the verification of the developed method of processing electroencephalogram (EEG) signals is carried out. This stage of research aims to verify the effectiveness and reliability of the developed method through thorough tests and analysis of the results.

In the fifth chapter, a start-up project related to the application of the developed method of processing electroencephalogram (EEG) signals is studied and developed. This stage includes the development of a business model, an



implementation strategy and a marketing plan for the effective introduction of the developed method to the market.

In the conclusions, a comprehensive generalization of the results obtained during the work is carried out.

They are given in the appendices

The work is completed on sheets, contains appendices and links to the list of used literary sources from names. The work contains figures and 8 tables.

**Keywords:** epilepsy, electroencephalography, neural networks, machine learning.

## Зміст

<b>Перелік умовних скорочень .....</b>	<b>12</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>13</b>
<b>1. ТЕОРИТИЧНІ ОСНОВИ ТА АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЇ.....</b>	<b>16</b>
1.1. Енцефалографія .....	16
1.2. Ринок енцефалографічних пристроїв .....	18
1.3. Різновиди сигналів електроенцефалограми.....	23
1.4. Сфери застосування пристроїв електроенцефалограми.....	28
1.5. Висновки .....	30
<b>2. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЕЕГ.....</b>	<b>31</b>
2.1. Сутність машинного навчання.....	31
2.2. Методи машинного навчання та його застосування для обробки ...	32
2.2.1. Штучні нейронні мережі .....	32
2.2.2. Тренування штучних нейронних мереж .....	35
2.2.3. Конволютивні нейронні мережі.....	37
2.2.4. Метод К-найближчих сусідів.....	38
2.2.5. Обробки сигналів, зокрема сигналів ЕЕГ .....	39
2.3. Існуючі програмно-апаратні засоби .....	41
2.3.1. Нейронні мережі та пристрої .....	41
2.3.2. Змагання SPC .....	42
2.4. Висновки .....	45
<b>3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЕЕГ .....</b>	<b>47</b>
3.1. Основні засади розробленого методу аналізу ЕЕГ .....	47
3.2. Обробки енцефалографічних сигналів.....	48
3.2.1. Оптимізація необроблених даних від ЕЕГ апаратів .....	48
3.2.2. Цифрові фільтрації сигналів .....	51
3.2.3. Детектування різних типів мозкових хвиль .....	53

3.2.4.	Вилучення аномальних викидів в процесі попередньої обробки даних.	58
3.2.5.	Прогнозування з використанням методу К-найближчих сусідів..	60
3.3.	Програмне-апаратне забезпечення методу .....	62
3.3.1.	Отримання необроблених даних від апаратної частини .....	62
3.3.2.	Аналіз даних по типи мозкових хвиль .....	63
3.4.	Висновки .....	65
<b>4.</b>	<b>ВЕРИФІКАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ .....</b>	<b>67</b>
4.1.	Вихідні дані для тестування .....	67
4.2.	Верифікація .....	69
4.3.	Висновки .....	71
<b>5.</b>	<b>СТАРТАП ПРОЕКТУ .....</b>	<b>72</b>
5.5.	Висновки .....	77
	<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>78</b>
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>80</b>
	<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>83</b>
	<b>Додаток А .....</b>	<b>84</b>
	<b>Додаток Б .....</b>	<b>89</b>

## Перелік умовних скорочень

КНН - конволютивна нейронна мережа

ЕЕГ - електроенцефалограма

ЛДА - лінійний дискримінантний аналіз

ЛР - логістична регресія

Преіктальний - той, що передує епілептичному нападу

ШНМ - штучна нейронна мережа

AES - (American Epilepsy Society) Американське товариство епілепсії

ROC - (receiver operating characteristic) крива помилок класифікатора

AUC - (area under ROC curve) площа під ROC кривою

TNR - (true negative rate) специфічність класифікатора

TPR - (true positive rate) чутливість класифікатора

SPC (seizure prediction challenge) - виклик прогнозування судом

## ВСТУП

Сучасні досягнення в області комп'ютерного обладнання та процесорних технологій відкрили нові можливості для дослідження у всьому світі. Ці досягнення дозволяють значно розширити наше розуміння складності людського мозку та забезпечують глибше вивчення процесів і структур, які відбуваються в мозку. Навіть якщо технологія електроенцефалограми (ЕЕГ) існує протягом більшої частини минулого століття, тільки нещодавно вона стала доступною для широкого загалу.

Наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття ринок споживчих ЕЕГ-пристроїв виник завдяки діяльності провідних компаній у цій галузі. Це відкрило можливість користувачам у різних секторах, таких як медицина, наукові дослідження та сфера охорони здоров'я, використовувати ЕЕГ-обладнання для своїх потреб [14].

Аналіз ЕЕГ-даних починається з ідентифікації різних типів мозкових хвиль, таких як альфа, бета, гамма, дельта і тета хвилі. Кожен з цих типів хвиль може бути визначений з сирих даних ЕЕГ-сигналу і вказує на різні стани людського мозку. Однак для подальшого аналізу, такого як виявлення патернів, що відповідають певним діям користувача, необхідна обробка вхідних сигналів.

Епілепсія, яка стосується близько 1% населення, визначається як один із найпоширеніших неврологічних розладів. Це захворювання, що виявляється у спонтанних нападах, від короткочасної втрати свідомості до інтенсивних конвульсій, залишає великий вплив на життя пацієнтів. Близько 2/3 хворих можуть знаходити полегшення за допомогою медикаментозного лікування, але для інших ця терапія залишається неефективною, призводячи до додаткових побічних ефектів.

Така ситуація веде до суттєвого зниження якості життя осіб, що стикаються з епілепсією, через постійний стрес та тривогу перед можливістю несподіваних нападів. Сучасні системи передбачення епілептичних нападів

призначені поліпшити життя таких пацієнтів, дозволяючи їм уникати ризикованих ситуацій, таких як водні види спорту чи керування автотранспортом, і приймати ліки лише у необхідних випадках.

Очевидно, що успішність цих систем залежить від розробки надійних алгоритмів, які здатні точно передбачати періоди підвищеної ймовірності майбутніх епілептичних нападів. Такі технології можуть суттєво покращити якість життя та безпеку людей із епілепсією, надаючи їм більше контролю над їхнім щоденним життям.

Епілептичні напади виникають через неправильну електричну активність у клітинах мозку, тому для виявлення або передбачення таких нападів часто використовується електроенцефалограма .

Кілька досліджень доводять існування специфічного періоду, що передує епілептичному нападу. Згідно з отриманими даними, цей період відрізняється спектральними патернами і характером хвиль на ЕЕГ. Однак питання можливості передбачення нападів залишається предметом дискусій через численні статистичні недоліки, які гальмують прогрес у цій галузі. На сьогоднішній день алгоритм, який може гарантувати високий рівень точності розпізнавання різних станів ЕЕГ, який був би придатний для впровадження в медичну практику. Був розроблений та запропонований на дослідницькому конкурсі від AES, а саме SPC. У роботі були використані методи одного з учасників змагань, і якість розробленого методу порівняно з результатами учасників змагань [14].

Збір даних електроенцефалограми (ЕЕГ) може стати складнішим у приміщеннях, де присутні численні електричні пристрої, що можуть спричиняти спотворення вимірювань. Після проведення обробки вхідних даних, отриманих з ЕЕГ, можливо провести подальший аналіз за допомогою методів машинного навчання. Цей підхід дозволяє автоматизовано вивчати інформацію, отриману з ЕЕГ, що відкриває можливості для глибшого розуміння фізіологічних аспектів та визначення паттернів активності мозку.

Основним принципом аналізу отриманих даних є використання

конволютивних нейронних мереж (КНН) - це тип глибоких штучних нейронних мереж, який в останні роки відзначився високим темпом розвитку в галузі комп'ютерного бачення. Дослідження активно зосереджені на вивченні можливостей застосування конволютивних нейромереж для аналізу зображень та відео, де вони здобули визнання завдяки своїм унікальним властивостям у визначенні просторових шаблонів та характеристик об'єктів.

Однак, у випадку обробки фізіологічних даних, особливо довгих часових рядів, використання конволютивних та глибоких нейронних мереж може виявитися менш адаптованим. Проблема полягає у тому, що такі дані часто виявляють стаціонарність та високу розмірність, що може становити виклик для традиційних методів аналізу. Інноваційні підходи та модифікації конволютивних нейронних мереж можуть бути ключовими для успішного застосування цих методів в аналізі фізіологічних даних.

Цей метод детально розглядається в даній роботі, де окремі етапи виявлення та адаптації конволютивних нейронних мереж для аналізу ЕЕГ даних розглядаються як ключові для подальшого вдосконалення та розширення їх застосування в області фізіологічної діагностики.

# 1. ТЕОРИТИЧНІ ОСНОВИ ТА АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЇ

## 1.1. Енцефалографія

Людський мозок вражає своєю складністю, складаючись з мільярдів взаємопов'язаних нейронів, які спілкуються між собою за допомогою невеликих електричних сигналів. Ці сигнали, створені взаємодією між нейронами, невимірювані напряму ззовні черепа, але вони об'єднуються в непередбачувані хвилі через активність сотень тисяч розрядів, які можна виміряти та аналізувати.

Різноманітні стани мозку є результатом різних моделей нейронної взаємодії. Ці закономірності породжують хвилі з різними амплітудами та частотами. Наприклад, бета-хвилі з частотою між 12 і 30 герц вказують на концентрацію, тоді як альфа-хвилі з частотою між 8 і 12 герц пов'язані з розслабленням та психічним спокоєм [1].

Скорочення м'язів також асоціюється з унікальними хвильовими моделями, тому що деякі ЕЕГ-пристрої виявляють ознаки моргання. Такі хвильові патерни відображають різні фізіологічні та психічні стани, допомагаючи в розумінні функціонування мозку.

Ці хвильові характеристики надають інсайти для дослідження різних аспектів когнітивних та фізичних функцій мозку, відзначаючи його важливу роль у регулюванні різних аспектів людського життя.

Енцефалографія (ЕЕГ) представляє собою важливий метод наукового дослідження, спрямований на аналіз електричної активності головного мозку. Цей метод використовує спеціалізоване обладнання, енцефалограф, для реєстрації електричних сигналів, які генеруються нейронами у мозку, з метою подальшого їх докладного аналізу.



Проведення ЕЕГ передбачає необхідність визначення роботи різних областей мозку, вивчення їх взаємодії та ідентифікацію електричних патернів, що виникають під час різних фізіологічних та патологічних станів. Цей метод широко використовується для діагностики різноманітних неврологічних захворювань, а також для вивчення функціональної активності мозку та визначення конкретних електричних сигналів під час змін свідомості.

ЕЕГ є не лише засобом діагностики, але й важливим інструментом для дослідження ефективності стимуляції мозку та оцінки результатів лікування. Цей метод дозволяє науковцям отримати більш глибоке розуміння фізіології мозку та вивчити важливі аспекти мозкової активності в різних умовах.

Пристрої електроенцефалографії (ЕЕГ) є важливими електронними інструментами для вимірювання електричних сигналів у мозку. Зазвичай датчики ЕЕГ виявляють різноманітні електричні сигнали, що виникають внаслідок активності великих груп нейронів, розташованих близько до поверхні мозку, протягом конкретного періоду часу.

В основі роботи цих пристроїв лежить вимірювання невеликих коливань електричного струму між шкірою та електродом датчика. Після цього електричний сигнал посилюється та може піддаватися різноманітній обробці, включаючи застосування фільтрів, таких як смугова фільтрація. Цей процес дозволяє отримувати інформацію про електричну активність мозку та використовується в різних областях, включаючи науку та медицину.

Використання пристроїв ЕЕГ має значущі застосування, зокрема у діагностиці неврологічних захворювань, дослідженні функцій мозку та визначенні специфічних електричних патернів в різних станах свідомості. Ці технології також відкривають нові можливості для наукових досліджень та розвитку методів лікування в галузі неврології.

## 1.2. Ринок енцефалографічних пристроїв

Ринок енцефалографічних пристроїв є важливим компонентом сучасних медичних технологій, які спрямовані на вивчення та моніторинг активності головного мозку. Енцефалографи, що вимірюють електричну активність мозку за допомогою електродів, наділяють медичні фахівці та дослідників потужним інструментарієм для діагностики та вивчення різноманітних аспектів мозкової активності.

Різноманітність ринку включає у себе різні типи енцефалографів, від стаціонарних для клінічних досліджень до портативних та вбудованих пристроїв для використання в реальному часі. Новітні технології та наукові відкриття допомагають постійно вдосконалювати якість та функціональні можливості цих пристроїв, роблячи їх більш доступними та ефективними.

Застосування енцефалографії охоплює широкий спектр від сфери медичної діагностики та моніторингу неврологічних захворювань до дослідження різних аспектів мозкової діяльності в різних умовах. Висока зацікавленість у розвитку нейротехнологій та збільшення усвідомленості щодо важливості догляду за мозковим здоров'ям сприяє постійному росту та інноваціям на цьому динамічному ринку.

Основні виробники енцефалографічних апаратів:

1. Brain Products: німецька компанія, яка спеціалізується на розробці та виробництві обладнання для досліджень у галузі нейронауки. Компанія була заснована у 1997 році і швидко стала однією з провідних у світі у цьому сегменті. Виробляє енцефалографи, призначені для реєстрації електричної активності мозку. Електроенцефалографічна система BRAIN PRODUCTS BRAINAMP SERIES (рисунок 1.1) [2]

2. BioSemi: компанія, заснована в Нідерландах, яка спеціалізується на розробці та виробництві обладнання для електроенцефалографії (ЕЕГ). Заснована у 1984 році, BioSemi просунула свої технології та виробництво в галузі активної системи збору даних ЕЕГ. Компанія відома своєю

інноваційністю та високим стандартом якості в області електроенцефалографії. Її продукти широко використовуються у наукових, клінічних та промислових дослідженнях, де точність та стабільність даних є критичними. Електроенцефалограф BioSemi AD-box (рисунок 1.2) [3]



Рисунок 1.1 - Електроенцефалографічна система BRAIN PRODUCTS  
BRAINAMP SERIES



Рисунок 1.2 - Електроенцефалограф BioSemi AD-box

3. g.tec medical engineering GmbH: австрійська компанія, яка спеціалізується на розробці та виробництві обладнання для запису та аналізу біосигналів для застосувань у галузі нейронауки та реабілітації. Заснована в 1999 році, g.tec відома своїми інноваціями в області медичної техніки. Електроенцефалографічна система g.tec medical engineering GmbH g.GAMMASYS (рисунок 1.3). [4]



Рисунок 1.3 - Електроенцефалографічна система g.tec medical engineering GmbH g.GAMMASYS(8).

4. Compuedics Limited: австралійська компанія, що спеціалізується на розробці та виробництві медичного обладнання для діагностики та моніторингу різних неврологічних та сонних розладів. Заснована у 1987 році, Compuedics стала відомою своїми інноваційними рішеннями в галузі медичних технологій. Електроенцефалографічна система Compuedics Limited g.GAMMASYS GraeL LT (рисунок 1.4). [5]



Рисунок 1.4 - Електроенцефалографічна система Comrumedics Limited  
g.GAMMASYS Grael LT

5. Neuroscan (Comrumedics Neuroscan): Це підрозділ компанії Comrumedics Limited, , що спеціалізується на виробництві та розробці обладнання для електроенцефалографії (ЕЕГ) та інших методів запису біосигналів в галузі нейрофізіології. Електроенцефалографічна система Neuroscan MicroMagLink RT (рисунок 1.5) [6].

6. Electrical Geodesics Incorporated (EGI, a Philips company): EGI була поглинута компанією Philips і виробляє обладнання для досліджень мозку, зокрема системи енцефалографії. Електроенцефалографічна система Electrical Geodesics Incorporated GES 400 (рисунок 1.6) [7].



Рисунок 1.5 - Електроенцефалографічна система Neuroscan MicroMagLink RT



Рисунок 1.6 - Електроенцефалографічна система Electrical Geodesics Incorporated GES 400

### 1.3. Різновиди сигналів електроенцефалограми

Електроди на пристрої ЕЕГ реєструють різні частоти електричної активності мозку. За допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT) необроблені сигнали ЕЕГ можна ідентифікувати як різні хвилі з різними частотами. Частота вимірює швидкість електричних коливань і виражається в циклах на секунду, де один Герц (Гц) означає один цикл в секунду. Мозкові хвилі зазвичай класифікуються за чотирма основними типами: бета, альфа, тета і дельта. (рисунок 1.6) [8].

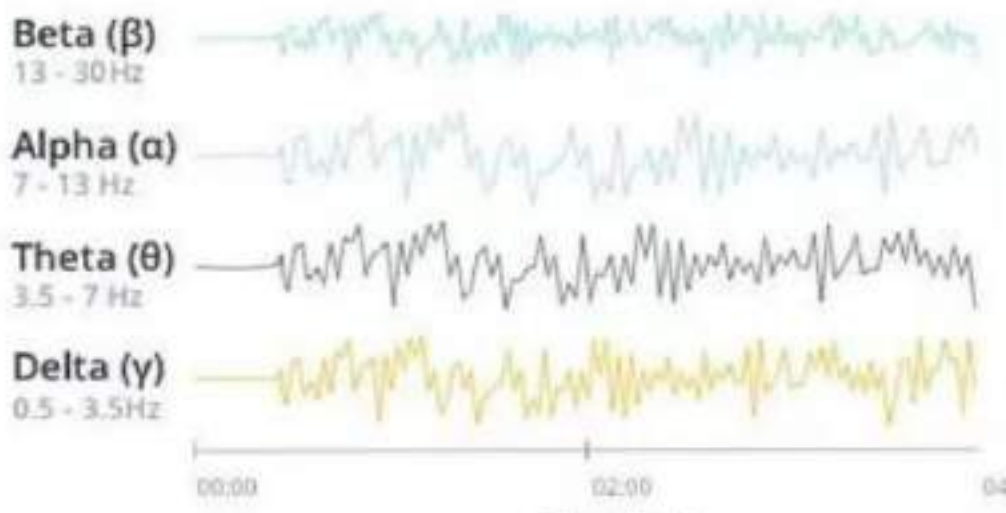


Рисунок 1.6 – Відстеження хвиль ЕЕГ у реальному часі на графіках

Альфа-хвилі, які коливаються в діапазоні від 7 до 13 Гц, зазвичай вказують на стан розслаблення та спокою. Їх можна виявити в задній та потиличній частині мозку. Закриття очей та розслаблення сприяють виникненню альфа-хвиль. Важко спостерігати їх під час інтенсивних когнітивних процесів, таких як активне мислення, обчислення та вирішення складних завдань. У більшості дорослих альфа-хвилі мають частоту між 9 та 11 Гц.

Бета-хвилі (13-30 Гц) пов'язані з бодрістю і свідомістю. Зменшення амплітуди бета-хвиль вказує на активну концентрацію або напружений стан. Ці хвилі також впливають на моторні рішення, такі як керування рухами та сприйняття руху через сенсорний зворотний зв'язок.

Тета-активність мозку, яка виявляється в діапазоні частот 4-7 Гц, виявляється як тета-ритм під час вимірювання ЕЕГ. Вона часто спостерігається у молодих людей, особливо в околицях скроневих областей і при проблемах з диханням. В літніх людей тета-активність з амплітудою приблизно 30 мікрвольт (мВ) рідко спостерігається, за винятком ситуацій, коли вони сонливі.

Дельта-хвилі, з частотою від 0.5 до 3.5 Герц, представляють собою великоамплітудні мозкові коливання, що переважно спостерігаються у немовлят і пов'язані з глибокими фазами сну.

При дотриманні стандартних умов реєстрації (закриті очі, стан спокійного бодрству, емоційний комфорт, відсутність зовнішніх подразників) у більшості (85-90%) дорослих здорових людей на ЕЕГ реєструється альфа-паттерн, який представляє собою організований альфа-ритм, чітко модульований в веретена амплітудою від 40 до 60—80 мкВ.

Форма хвиль є правильною синусоїдою: не "заострена", не спотворена асиметрією у висхідній та низхідній фазі. На нормальному ЕЕГ альфа-ритм займає до 80—90% часу реєстрації (індекс ритму), іноді перериваючись епізодами швидкокількісної активності, очевидно, пов'язаними з власною психічною (мислительною) діяльністю об'єкта дослідження (рисунк 1.7).

Альфа-ритм максимально представлений у парієтальних і затыличних відділах обох півкуль. Є виражена зональність розподілу альфа-ритму: його амплітуда і частота поступово зменшуються від затылиці до центральних і лобових відділів мозку. У лобових відведеннях реєструється слабовиражений низькоамплітудний не модульований альфа-ритм, який займає не більше 50% часу реєстрації, чергуючись з періодами реєстрації



низькочастотної бета-активності, схожої за амплітудою з альфа-ритмом. У висхідних відведеннях реєструється немодульований в веретена альфа-ритм, як правило, з меншою амплітудою, ніж у центральних відведеннях. Повільні хвилі в усіх відведеннях практично не представлені.

Симетрія, хоч і відносна, настільки характерна для нормального ЕЕГ, що є одним із критеріїв оцінки функціонального стану мозку. В нормі асиметрія за амплітудою не перевищує 30% [12]. Частотна міжпівкульна асиметрія не повинна бути більше 1 Гц. Звісно, при цьому має бути повна впевненість у ідентичності встановлення електродів над обома півкулями. Наслідком функціональної асиметрії мозку, пов'язаної у більшості людей з перевагою активності лівого (домінуючого) півкуля, є певна перевага за амплітудою альфа-ритму в правій півкулі. Вважається, що ліве півкуля більш тісно пов'язане з активуючими мезенцефальними структурами мозку, а праве — з синхронізуючими діенцефальними структурами. [9]

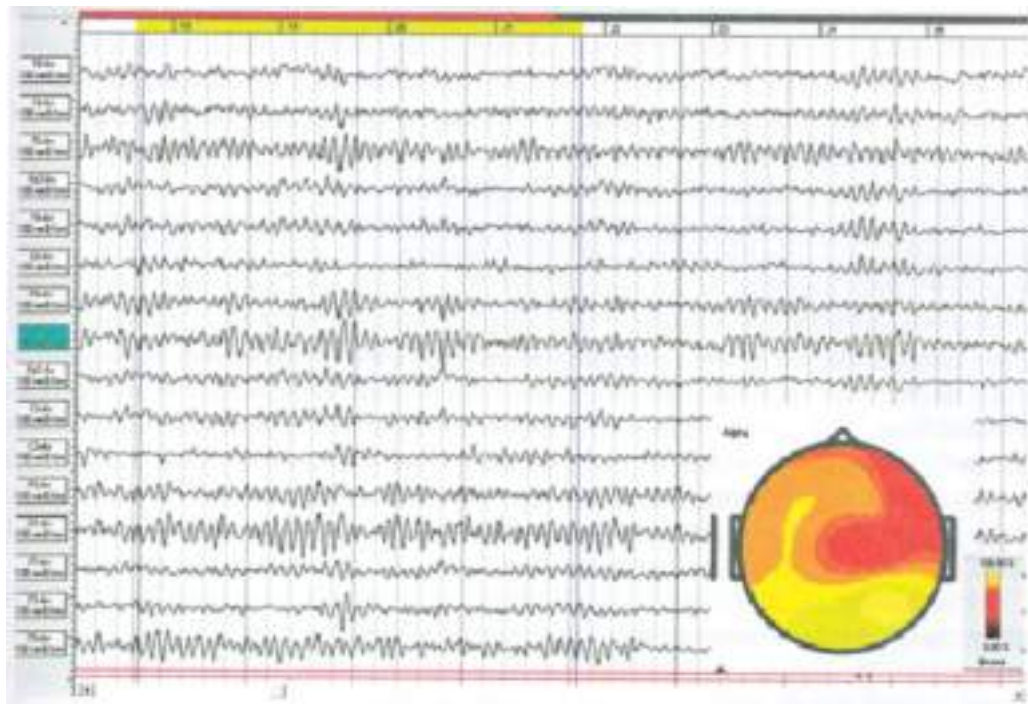


Рисунок 1.7 – ЕЕГ середньостатистичної людини

У 10–20% здорових об'єктів дослідження не вдається зареєструвати альфа-паттерн. Регулярний організований альфа-ритм на ЕЕГ практично відсутній. Приблизно 10–20% часу реєструється нерегулярна альфа-

активність, амплітуда якої не перевищує 10 мкВ. На ЕЕГ переважає бета-активність, зазвичай з частотою до 20–25 Гц та амплітудою до 10–15 мкВ. Характерний вигляд такої активності дозволив позначити її як "плоска" ЕЕГ, а тип ЕЕГ називають низькоамплітудним (рисунок 1.8) [15].

"Плоска" ЕЕГ є варіантом нормального стану біоелектричної активності. Тим не менше, розрізнявати такий паттерн від патологічних типів, наприклад, від дифузної тахіаритмії при вираженому атеросклеротичному ураженні судин головного мозку, безумовно, складна задача. "Плоску" ЕЕГ оцінюють як варіант норми за умови виключення патологічних процесів у ЦНС.



Рисунок 1.8 – Плоска ЕЕГ

ЕЕГ при епілепсії може виявляти різноманітні патологічні зміни та характеристики, які свідчать про епілептичну активність у мозку. Ось деякі зміни, які можна спостерігати на ЕЕГ при епілепсії (рисунок 1.9): [9]

1. Судинні спайки (Spike-and-Wave Complexes)(1): це є однією з основних характеристик епілептичного розладу на ЕЕГ. Спайки (гострі викиди) та вилі (повільні коливання) спостерігаються разом і є типовим паттерном для епілептичних нападів.

2. Високочастотні розряди (Fast Activity): під час епілептичного нападу може виникати підвищена електрична активність високої частоти, яка виявляється на ЕЕГ.

3. Асиметрія та Неорганізовані Паттерни: епілептичні атаки можуть призводити до асиметрії в електричній активності різних частин мозку. Також може спостерігатися неорганізована або неправильна активність.

4. Інтеріктальний (міжнападовий) ЕЕГ: Навіть поза епілептичними нападами може бути виявлено зміни у мозковій активності, що свідчать про тенденцію до епілептичних викидів.

5. Фокальна Активність: іноді епілептична активність може бути обмежена певною областю мозку, що виявляється фокальними змінами на ЕЕГ [18].

Загальний вигляд ЕЕГ при епілепсії може варіюватися в залежності від типу та важкості епілептичного розладу у конкретного пацієнта.

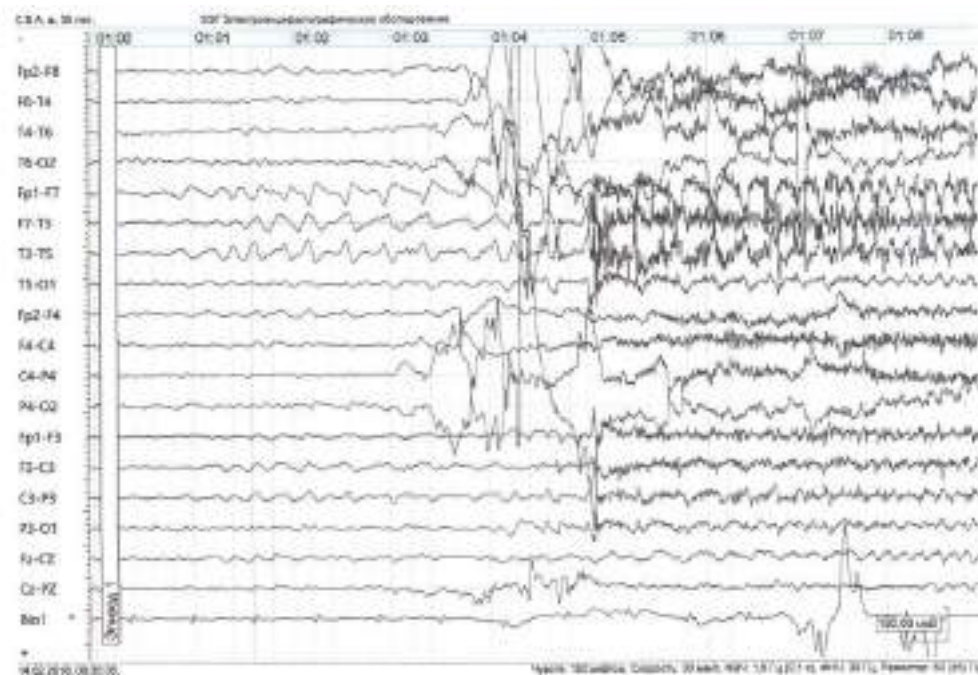


Рисунок 1.9 – ЕЕГ при епілепсії[9]

## 1.4. Сфери застосування пристроїв електроенцефалограми

ЕЕГ-пристрої є цінним інструментом для вивчення стану психічного здоров'я людини, її думок та уяви. Тому дослідники з різних галузей використовують ці пристрої для своїх досліджень. Застосування ЕЕГ-пристроїв можна розділити на п'ять основних категорій: біометрія, нейронаука та клінічні дослідження, нейромаркетинг, спеціалізовані рішення та інтерфейси мозок-комп'ютер (рисунок 1.10).

В біометрії ЕЕГ-пристрої використовуються для розпізнавання та визначення різниць між людьми на основі їх фізіологічних та поведінкових особливостей, таких як відбитки пальців, голос, обличчя, оболонка ока, погляд, хода та поза. Недавні дослідження показують, що дані ЕЕГ можуть також надавати інформацію про ідентифікацію людей, включаючи їх когнітивний та емоційний стан мозку [14].

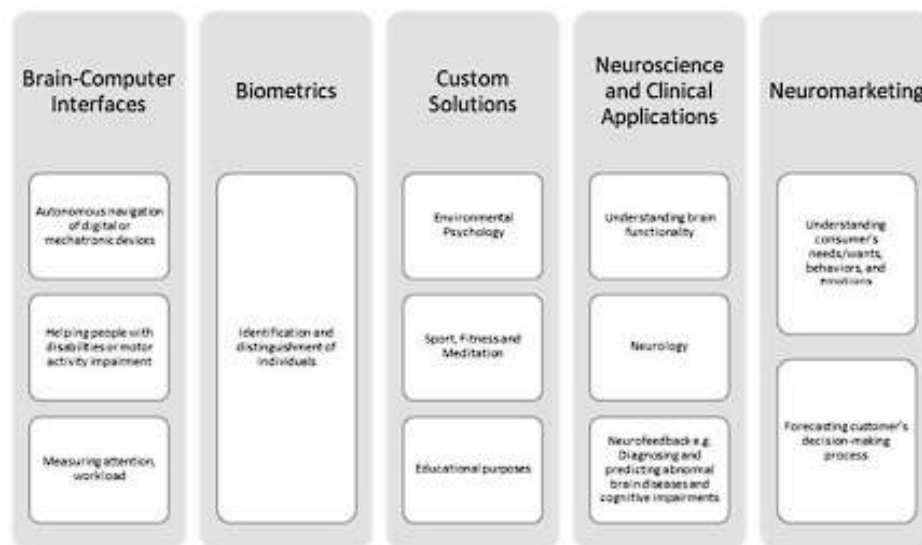


Рисунок 1.10 – сфери застосування ЕЕГ[10]

ЕЕГ часто використовується в психологічних дослідженнях для вивчення мозкових процесів, які стоять в основі уваги, навчання та пам'яті. Шляхом аналізу потенціалів, пов'язаних з подіями (ERPs), які виділяються з неперервного потоку ЕЕГ-даних, дослідники можуть детально досліджувати

мозкові процеси, спричинені цими подіями з високою часовою роздільною здатністю в масштабі декількох десятків мілісекунд.

ERPs можна характеризувати за їх амплітудою (з використанням позитивних і негативних хвиль, позначених як P і N відповідно), часом (в мілісекундах відносно початку події) та розподілом напруги на всіх електродах (топографія). Встановлено конкретні ERPs, які можуть бути корисними для вивчення обробки облич, слів та їх значень, виявлення несподіваних подій або відтворення пам'яті.

ЕЕГ-пристрої знайшли широке застосування в різних галузях, включаючи психологічні дослідження, спорт, освіту та навіть маркетинг.

У психологічних дослідженнях ЕЕГ допомагає вивчати мозкові процеси, пов'язані з увагою, навчанням та пам'яттю. Дослідники аналізують ERPs, щоб отримати високочасовий огляд мозкової активності, пов'язаної з подіями, такими як відгуки на подразники.

У спорті та різних сферах ЕЕГ може бути використано для вимірювання когнітивних функцій, таких як увага, стрес та когнітивне навантаження. Спортсмени та інші зацікавлені особи використовують ЕЕГ, щоб відстежувати активність свого мозку, так само, як вони відстежують інші аспекти фізичного здоров'я.

У сфері освіти ЕЕГ може бути використана для вимірювання рівня розуміння під час лекцій або для оцінки концентрації та когнітивного навантаження учнів під час навчання. Ці дані можуть бути корисні для розробки інтелектуальних систем підтримки навчання.

У сфері нейромаркетингу ЕЕГ допомагає економістам розуміти мозкові процеси, які впливають на споживчі рішення та поведінку споживачів.

Однією зі спеціалізованих областей застосування ЕЕГ є створення інтерфейсів мозок-комп'ютер, які дозволяють контролювати механічні або електронні пристрої за допомогою реального часу ЕЕГ-даних. Ця технологія має багато потенційних застосувань, включаючи допомогу паралізованим

пацієнтам у керуванні інвалідними візками або електронними пристроями (рисунок 1.11).

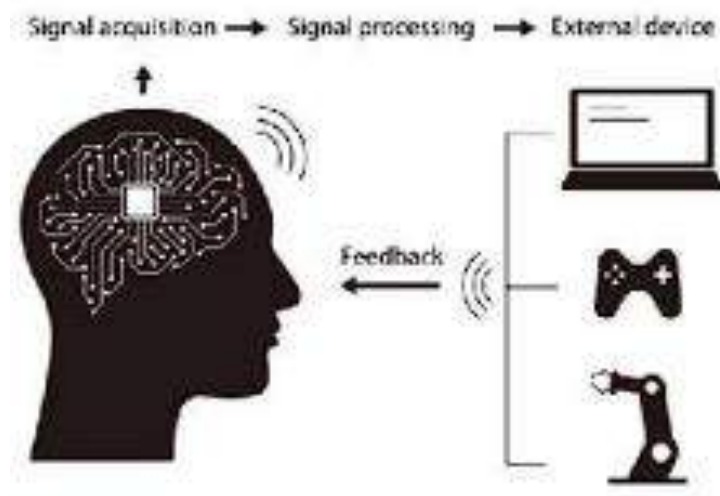


Рисунок 1.11 – Схема роботи нейрокомп'ютерного інтерфейсу[11]

### 1.5. Висновки

В розділі розглянуто ЕЕГ пристрої, які важливим інструментом для дослідження електричної активності мозку та має різноманітні застосування, включаючи діагностику неврологічних захворювань, вивчення ефективності стимуляції мозку та наукові дослідження. Ринок енцефалографічних пристроїв активно розвивається, завдяки ключовим виробникам, таким як Brain Products і BioSemi, які пропонують інноваційні технології та високоякісні продукти.

Застосування ЕЕГ розповсюджене в біометрії, нейронауці, клінічних дослідженнях, нейромаркетингу та інтерфейсах мозок-комп'ютер. Він грає важливу роль у розумінні мозкових процесів та розвитку передових технологій, таких як інтерфейси мозок-комп'ютер, що дозволяють контролювати пристрої за допомогою мозкових сигналів.

## **2. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЕЕГ**

### **2.1. Сутність машинного навчання**

Машинне навчання - це достатньо розвинута галузь штучного інтелекту, що досліджує, як створювати та оптимізувати алгоритми, наділені унікальною здатністю комп'ютерів навчатися та приймати рішення на основі даних, без потреби явного програмування.

Основні аспекти машинного навчання включають в себе використання різноманітних алгоритмів для створення математичних моделей. Ці моделі здатні передбачати, класифікувати та приймати рішення на основі нових даних, є ключовою складовою цього визначного напрямку штучного інтелекту.

Ще однією важливою частиною є використання штучних нейронних мереж. Ці мережі імітують структуру та функції біологічних нейронних мереж, що надає системам неймовірну здатність ефективно розпізнавати образи та розв'язувати різноманітні завдання.

Різнманіття машинного навчання включає в себе навчання з наглядом та навчання без нагляду. В першому випадку система вивчає вхідні дані з відомими мітками, в другому - аналізує дані без попередніх міток. Ключовим аспектом є узагальнення, тобто здатність моделі ефективно працювати з новими даними.

Застосування машинного навчання має широкий спектр задач та включають розпізнавання образів, мовні технології, прогнозування, медичну діагностику та інші галузі. Важливою перевагою є можливість постійного навчання та вдосконалення в процесі використання, роблячи цю технологію справжнім мотором у сучасному світі технологій.

Машинне навчання стає не тільки ключовою технологією в сфері штучного інтелекту, але й важливим інструментом вирішення складних

завдань, з якими стикається сучасне суспільство. Його потужний потенціал у поєднанні з постійним розвитком алгоритмів та збільшенням обчислювальної потужності, робить машинне навчання однією з визначальних галузей для технологічного прогресу у наш час.

## **2.2. Методи машинного навчання та його застосування для обробки**

### **2.2.1. Штучні нейронні мережі**

Штучна нейронна мережа (ШНМ) виникла як абстракція біологічного мозку та стала математичною моделлю для обробки інформації. Основна структура ШНМ включає в себе нейрони - елементарні вузли обробки інформації, які взаємодіють між собою через зважені синаптичні з'єднання. Ця архітектура розділяється на два основних класи: рекурентні нейронні мережі, де зв'язки можуть формувати цикли, та мережі прямого поширення, що є ациклічними. Серед останніх виділяється багатошаровий перцептрон (БШП) як найпростіша модель цього типу.

Рекурентні нейронні мережі відображають більш складні структури, де інформація може циркулювати між нейронами через циклічні зв'язки. Цей підхід дозволяє моделі більш ефективно враховувати часові та просторові залежності від даних, що робить його корисним для різних завдань, від розпізнавання образів до обробки послідовностей.

Мережі прямого поширення, зокрема багатошаровий перцептрон, стали однією з найпоширеніших архітектур у сфері машинного навчання. Вони володіють здатністю ефективно апроксимувати різноманітні функції та використовуються для завдань класифікації, регресії та інших областей. Структура БШП, яка включає вхідний, прихований та вихідний шари, дозволяє моделі вивчати складні залежності в даних шляхом вагових коефіцієнтів та функцій активації.



Багатошаровий перцептрон - це не просто набір моделей мультикласової логістичної регресії, комплексна структура, що виконує навчання на різних рівнях абстракції. У порівнянні зі стеком моделей, він здатний вивчати та розуміти більш складні та нелінійні залежності в даних завдяки різноманітним функціям активації та внутрішнім шаром прихованих нейронів (рисунок 2.1) [20].

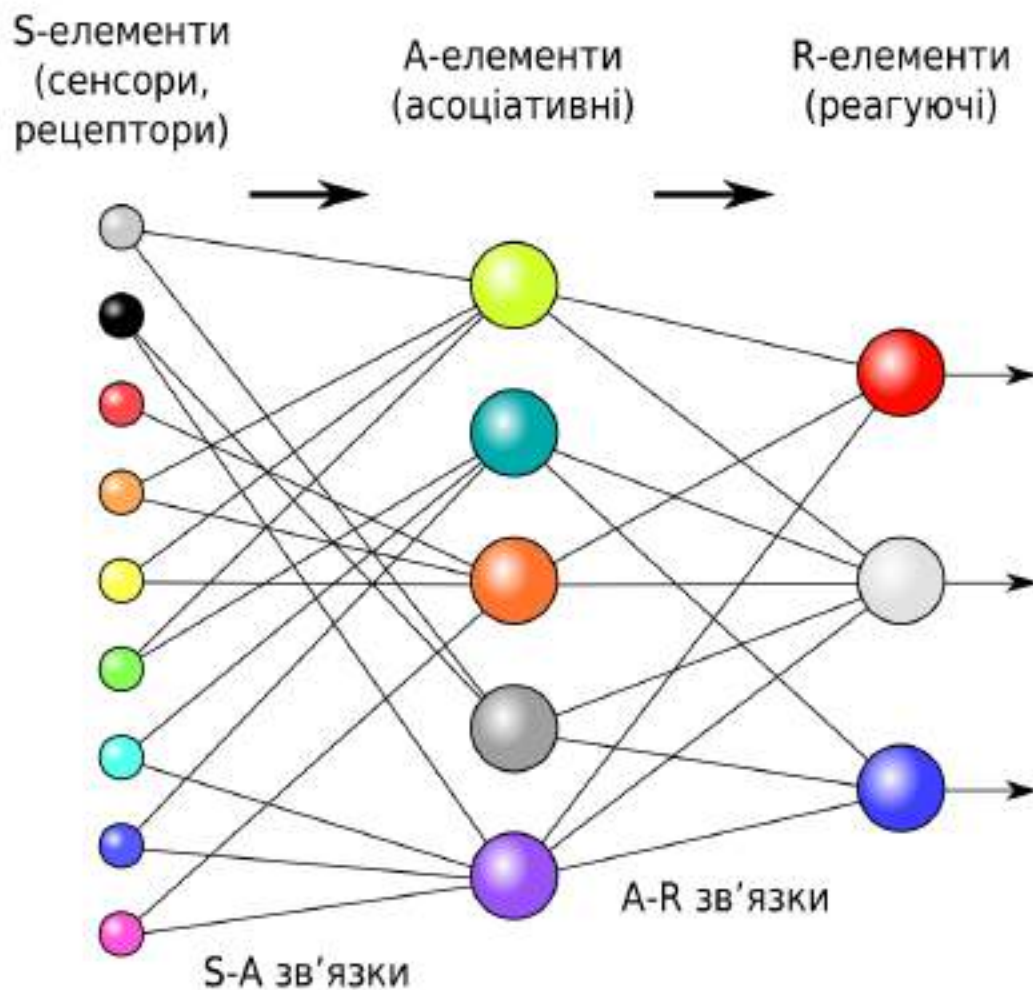


Рисунок 2.1 - Багатошаровий перцептрон

Головною метою використання багатошаровості є створення ефективних репрезентацій даних на різних рівнях абстракції. Це дозволяє не лише вирішувати завдання класифікації чи регресії, але й автоматично вивчати та виділяти важливі ознаки та патерни, що може бути особливо корисним у вирішенні складних завдань машинного навчання.

Ця структура складається з кількох шарів, включаючи вхідний, прихований і вихідний. Кожен штучний нейрон взаємодіє з нейронами у сусідніх шарах через зважені зв'язки.

Основна ідея багатошарового нейрона полягає в тому, щоб дозволити системі автоматично вивчати представлення даних на різних рівнях абстракції. У вхідному шарі дані подаються в мережу, а потім інформація проходить через приховані шари, де здійснюється опрацювання та вивчення внутрішніх ознак (рисунок 2.1).

Ключовим аспектом є використання нелінійних функцій активації в прихованих шарах, що дозволяє нейронам виявляти та вивчати складні неоднорідності в даних. Це робить багатошаровий нейрон ефективним для моделювання складних завдань та вирішення проблем класифікації, регресії та розпізнавання патернів в різних областях застосування [21].

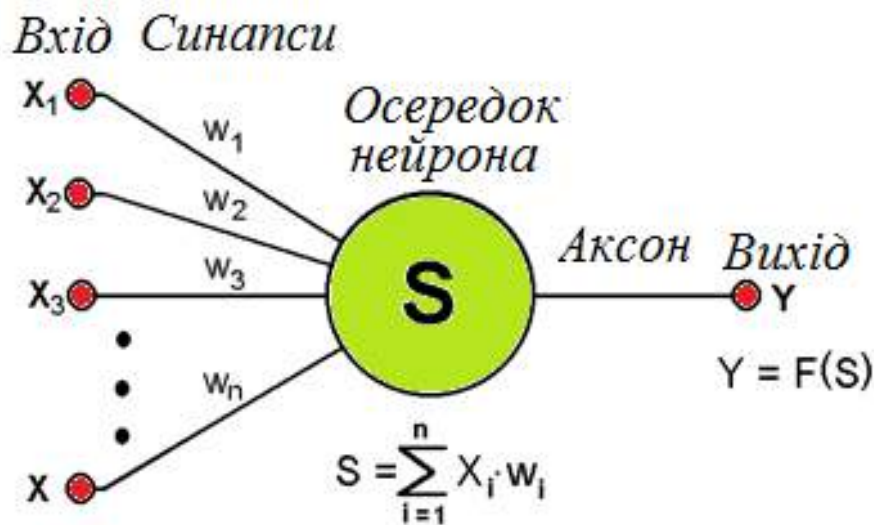


Рисунок 2.2 - Штучний нейрон

## 2.2.2. Тренування штучних нейронних мереж

Штучні нейронні мережі (ШНМ) є ключовою складовою галузі штучного інтелекту, спрямованою на розробку моделей, які можуть автоматично навчатися та приймати рішення. Тренування ШНМ є важливим етапом в їх використанні, де модель адаптується до вхідних даних та вивчає складні залежності для досягнення поставленої мети.

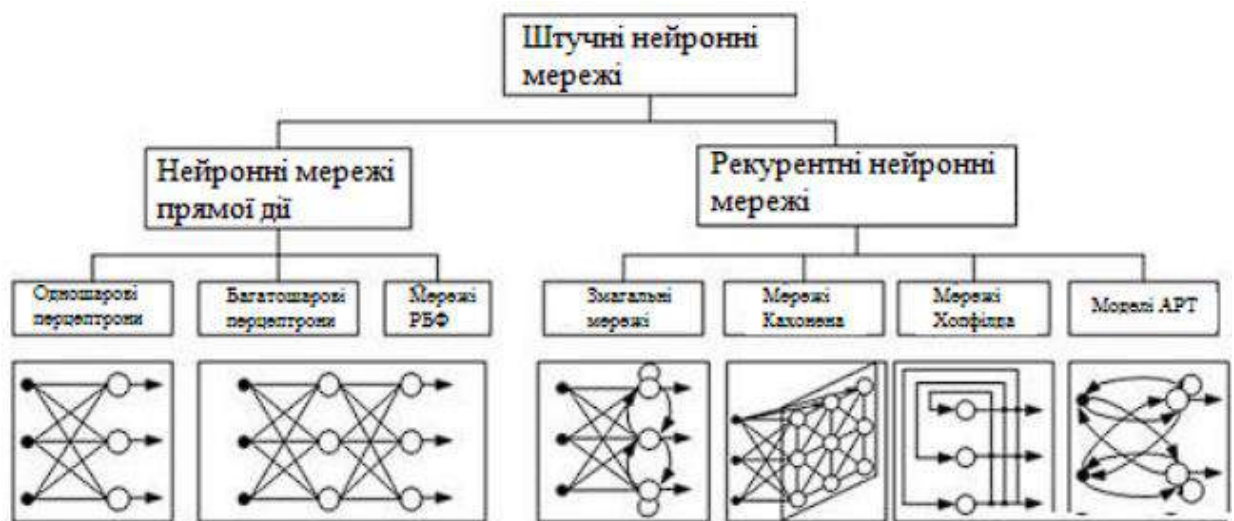


Рисунок 2.3 – Штучні нейронні мережі[12]

Етапи Тренування ШНМ:

- Підготовка даних:

Перед початком тренування необхідно створити тренувальний та тестовий набори даних. Ці дані повинні бути репрезентативними для проблеми, яку має вирішувати мережа.

- Визначення архітектури:

Обрання структури мережі є ключовим етапом. Визначення кількості шарів, кількість нейронів у кожному шарі, а також типи функцій активації визначають архітектурну конфігурацію мережі.

- Ініціалізація параметрів:

Параметри мережі, такі як ваги та зсуви, ініціалізуються перед тренуванням. Існує кілька методів ініціалізації, які можуть впливати на ефективність тренування.

- Вибір функції втрат та оптимізація:

Функція втрат визначає, наскільки віддаленими є прогнози мережі від фактичних результатів. Оптимізатор відповідає за корекцію параметрів мережі для мінімізації цієї функції втрат.

- Зворотній розповсюдження помилок:

Алгоритм зворотного розповсюдження помилок використовується для корекції ваг та зсувів мережі на основі порівняння прогнозів та фактичних результатів. Цей етап важливий для ефективного тренування.

Тренування нейронної мережі – це ітеративний процес, який має на меті налаштувати параметри мережі так, щоб вона навчалася вирішувати певне завдання. Одним з ключових аспектів є мінімізація функції помилки, яка визначає, наскільки точно прогнози мережі відповідають фактичним результатам (рисунок 2.4).

У багатьох випадках для тренування використовується логарифмічна функція правдоподібності з від'ємним знаком. У нашому випадку це пов'язано з мінімізацією від'ємного логарифму функції правдоподібності, яка визначає, наскільки ймовірно те чи інше значення параметрів при заданих вхідних даних.

Оптимізація параметрів мережі здійснюється шляхом використання алгоритмів, таких як зворотне розповсюдження помилок. Цей процес є ітеративним, де на кожному кроці параметри коригуються з метою зменшення функції помилки. Це призводить до поступового уточнення та навчання мережі, дозволяючи їй ефективно вирішувати завдання з високою точністю.

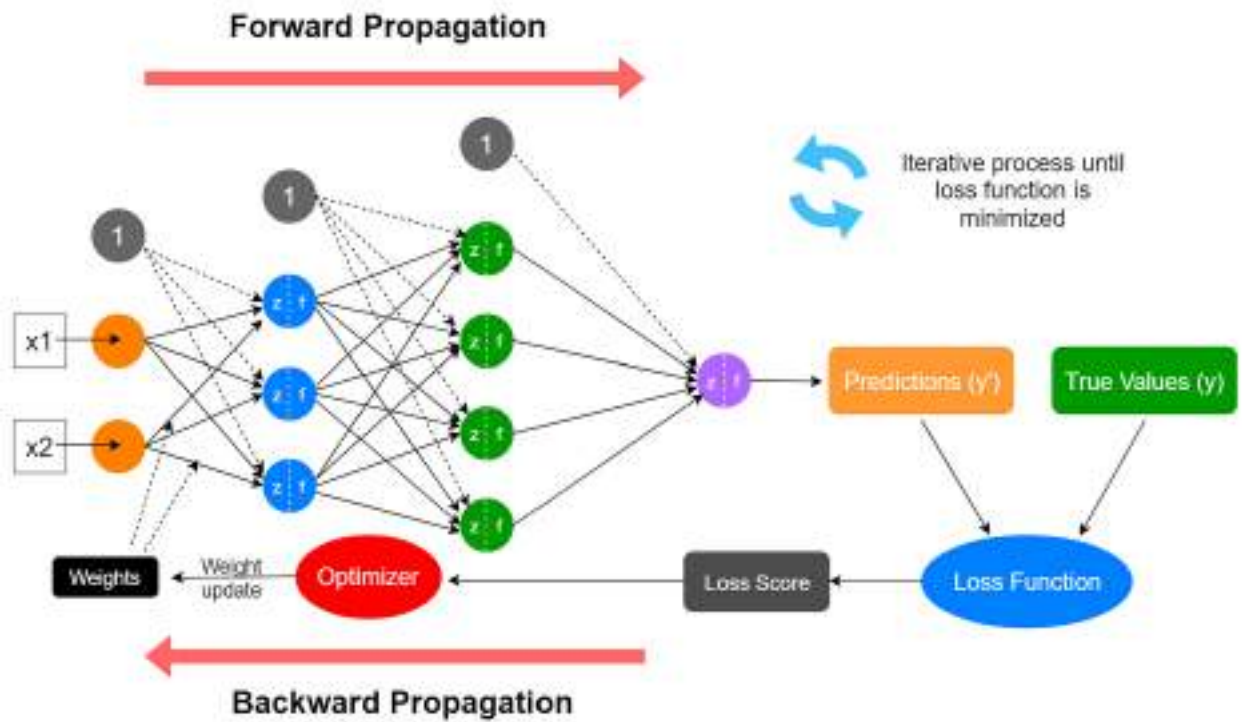


Рисунок 2.4 – Навчання нейронної мережі[13].

### 2.2.3. Конволютивні нейронні мережі

Конволютивні нейронні мережі (CNN) відзначаються своєю ефективністю в розв'язанні завдань обробки та розпізнавання візуальних даних, зокрема, зображень. Однією з ключових особливостей цих мереж є застосування операції конволюції, яка дозволяє автоматично виділяти важливі ознаки за допомогою фільтрів (рисунок 2.5).

Структура CNN включає конволюційні, пулінгові та повнозв'язані шари, призначені для виявлення ознак, зменшення розмірів та рішення завдань відповідно. Ці мережі застосовуються в різних областях, таких як розпізнавання образів, медична діагностика, автомобільна промисловість, обробка відео та інші.

Тренування CNN виконується на великих даних, а ключові архітектури включають LeNet, AlexNet, VGG та інші. Сучасні технології, такі як передові обчислення, сприяють розвитку та ефективнішому використанню цих мереж.

У світі постійного розвитку CNN стають ключовим інструментом в обробці візуальної інформації, відкриваючи широкі перспективи застосування у різних галузях.

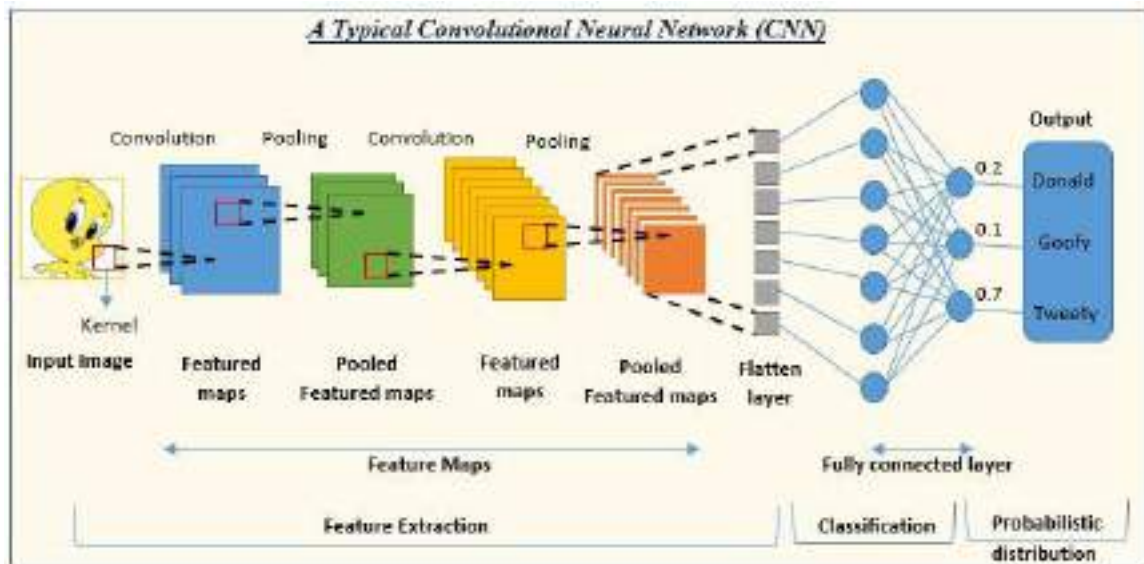


Рисунок 2.5 – Конволютивні нейронні мережі[14]

#### 2.2.4. Метод К-найближчих сусідів

Метод "к-найближчих сусідів" (KNN) представляє собою простий та ефективний алгоритм машинного навчання, який використовується для класифікації та регресії. Основна концепція полягає в тому, що об'єкти, розташовані близько один до одного в просторі ознак, мають схожі властивості. Під час класифікації нового прикладу, алгоритм враховує k найближчих сусідів і приймає рішення на основі більшості класів цих сусідів [15].

Унікальність KNN полягає в його простоті та інтуїтивності. Він добре пристосовується різноманітним задачам, таким як класифікація зображень чи рекомендації. Однак важливо правильно підібрати значення k, щоб уникнути перенавчання чи недонавчання моделі. Загалом, KNN є потужним інструментом у світі машинного навчання, де важлива роль відводиться

вибору правильних параметрів для досягнення оптимальних результатів (рисунок 2.6).

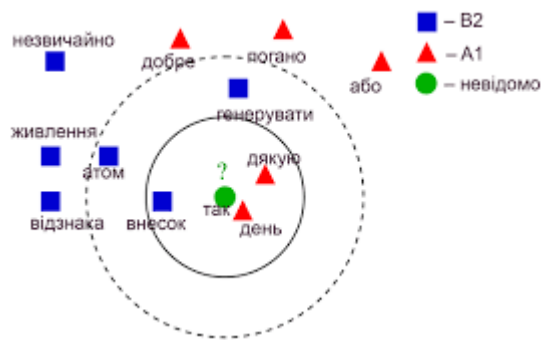


Рисунок 2.6 – Структура KNN мережі

В даній роботі цей метод буде використано з огляду на кілька важливих переваг. По-перше, він вражає своєю простотою та інтуїтивністю, що робить його досить доступним для розуміння та впровадження. Зокрема, KNN виявляється ефективним для аналізу невеликих обсягів даних та демонструє надійні результати в таких умовах.

По-друге, використання KNN не вимагає передзавантаження моделі, оскільки весь процес навчання відбувається лише під час класифікації нових прикладів. Це робить його зручним для застосування в різних сферах, таких як класифікація образів, рекомендаційні системи та медичні дослідження. Враховуючи його простоту та універсальність, KNN може бути ефективним інструментом для вирішення різноманітних завдань у сфері машинного навчання.

### 2.2.5. Обробки сигналів, зокрема сигналів ЕЕГ

Для діагностики епілептичних випадків на основі ЕЕГ з використанням машинного навчання, зазвичай розробляються з

використанням Python і відкритого вихідного коду, використовуються для покращення діагностики сигналів ЕЕГ.

TensorFlow та Keras - популярні бібліотеки для глибокого навчання, які широко використовуються для виявлення сигналів ЕЕГ.

Глибокі нейронні мережі - це структури, що мають більше двох прихованих шарів, і вони потребують ефективних методів навчання та запобігання перенавчанню. Згорткові мережі використовують фільтри для обробки вхідних шаблонів, зменшуючи кількість параметрів для навчання. Для покращення швидкості та ефективності навчання вони використовують методи, такі як пакетна нормалізація, відсів, рання зупинка, регуляризація та об'єднання шарів.

Згорткові нейронні мережі, спочатку розроблені для обробки зображень, пізніше були адаптовані для діагностики та прогнозування хвороб на основі біологічних сигналів, зокрема сигналів ЕЕГ.

У глибокому навчанні для виявлення епілептичних випадків використовуються як двовимірні (2D-CNN), так і одновимірні (1D-CNN) згорткові нейронні мережі.

У 2D-CNN сигнали ЕЕГ, які на початку були одновимірними, перетворюються у двовимірні графіки за допомогою методів візуалізації, таких як спектрограми, спектри вищого порядку та вейвлет-перетворення. Після цього ці графіки обробляються згортковою мережею.

У 1D-CNN вхідні сигнали ЕЕГ подаються у вигляді одновимірних даних без додаткового перетворення. У таких мережах вносять зміни в основну архітектуру 2D-CNN, щоб їх можна було використовувати для обробки 1D-сигналів (рисунок 2.7).

Глибокі 2D-мережі зараз широко використовуються в різних медичних додатках, включаючи комп'ютерну томографію та рентгенографію. Їх використовують для класифікації медичних зображень та вирішення складних завдань з високою продуктивністю. Такі мережі також застосовуються для виявлення нетрадиційних сигналів ЕЕГ.



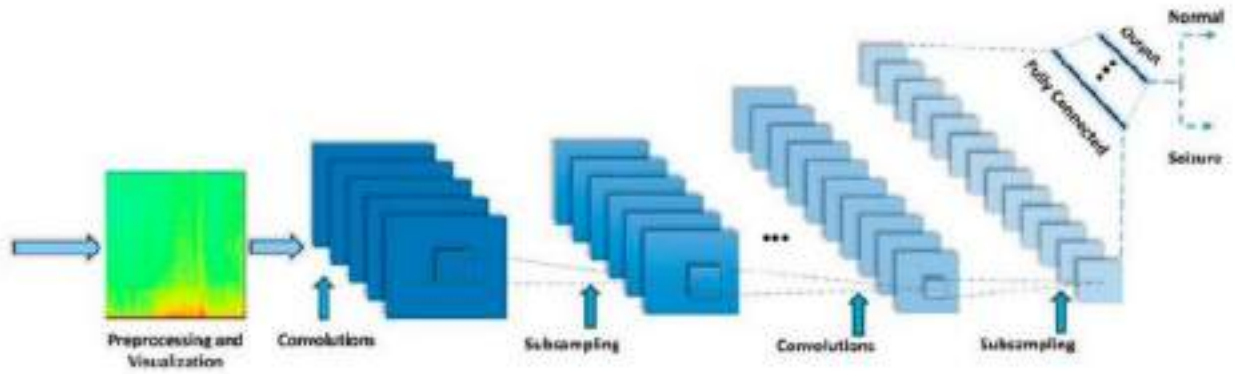


Рисунок 2.7 – структура 2D-CNN нейронної мережі[16].

## 2.3. Існуючі програмно-апаратні засоби

### 2.3.1. Нейронні мережі та пристрої

Модуль ThinkGear ASIC (TGAM), створений компанією NeuroSky, є основою апаратної частини для аналізу мозкових хвиль. Продукти, розроблені на основі TGAM, дозволяють партнерам NeuroSky швидко та ефективно впроваджувати на ринок споживчі технології, які використовують аналіз електроенцефалограми. Ці модулі є серед найпопулярніших рішень у світі для отримання даних електроенцефалограми. Використовуючи сухий електрод, модуль сприймає сигнали від людського мозку, фільтрує зовнішні шуми та перешкоди від електричних приладів, а потім перетворює їх у цифровий сигнал (рисунок 2.8) [11].

У модулі TGAM вбудований чіп TGAT, що представляє собою повністю інтегрований однокристальний датчик електроенцефалограми (рисунок 2.1). Цей чіп має програмовані функції NeuroSky eSense, A/D-перетворення, посилення сигналу при застосуванні на голову, а також фільтрацію шуму для електроміографії та приглушення перешкод від мережі змінного струму з частотою 50 або 60 Гц. Ціна модуля TGAM розрахована на широке використання в масових мобільних пристроях, освітньому обладнанні та інших споживчих товарах.



Рисунок 2.8 - Апаратний модуль ThinkGear ASIC від компанії NeuroSky.

В сучасний період глибокі двовимірні мережі широко застосовуються в різних медичних програмах, включаючи комп'ютерну томографію та рентгенографію, а також в дослідженнях розладів аутистичного спектра за допомогою методів магнітно-резонансної томографії (МРТ). У 2014 році була представлена мережа, спрямована на вирішення завдань класифікації зображень, яка подалі використовувалася для різноманітних завдань, таких як класифікація медичних зображень. Це дозволило уникнути труднощів, пов'язаних із попередніми моделями, і вирішити більш складні проблеми з вищою ефективністю. Зокрема, виявилось, що двовимірні глибокі мережі (2D-CNN) виявляються більш продуктивними при взаємодії з системами електроенцефалографії (ЕЕГ) [9].

### 2.3.2. Змагання SPC

У рамках змагання з передбачення судомних нападів AES (інтракраніальні електроенцефалографічні дані) були записані у 7-м пацієнтів, з яких 5 були собаками, а 2 - людьми, які перебували під моніторингом ЕЕГ. Собакам був записаний сигнал ІЕЕГ з 16 електродів із частотою дискретизації 400 Гц. Записи здійснювались протягом року, і деякі

з них включали до сотні епілептичних нападів. Щодо людей, кількість електродів варіювалась в залежності від стану хворого, а сигнал семпльовався із частотою 5000 Гц протягом тижня моніторингу. [17]

Цей набір даних становить цінний ресурс для дослідження та розробки алгоритмів передбачення судомних нападів. Зокрема, наявність записів з різних видів тварин та людей може допомогти в порівняльному аналізі паттернів, пов'язаних із судомами. Також, тривалість збору даних і кількість зафіксованих нападів створюють унікальну можливість вивчення динаміки епілептичних подій та їх зв'язку з електроенцефалограмою .

Однак, слід зазначити, що робота з таким обсягом даних вимагає високоефективних методів обробки та аналізу. Також, необхідно враховувати індивідуальні особливості тварин та пацієнтів при розробці моделей передбачення. Результати подальших досліджень з цим набором даних можуть принести нові уявлення про механізми судом та допомогти вдосконалити методи діагностики та передбачення цих станів (рисунок 2.9).

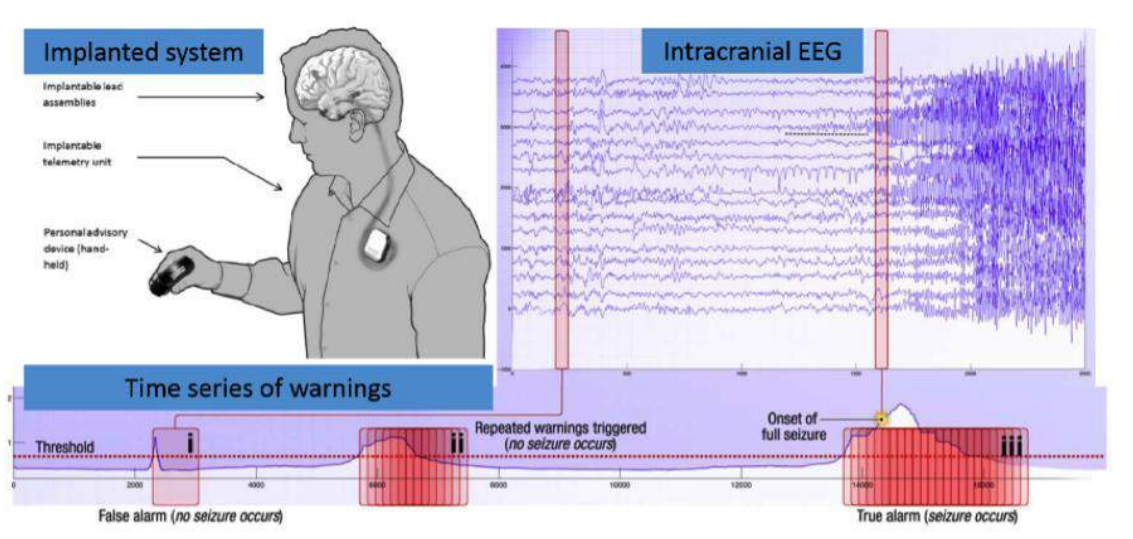


Рисунок 2.9 - Приклад ЕЕГ з преіктальним періодом та нападом [17]

У контексті вивчення епілепсії та передбачення судомних нападів, важливо розглядати не лише факт нападу, але і динаміку їх виникнення. З цією метою в змаганні AES Seizure Prediction Challenge було вирішено

аналізувати лише перший напад у групі, оскільки напади часто виникають групами. Дані, які використовувалися для змагання, включали лише ті напади, які відрізнялися у часі на більш ніж 4 години.

Ураховуючи важливість проміжку часу між нападами, було встановлено, що інтеріктальні дані (періоди без судом) без слідів епілептичної активності також є важливою частиною аналізу. Ці дані були випадково вибрані з усього запису ЕЕГ. Для собак враховувався мінімальний період відділення від нападу принаймні один тиждень, а для людей - не менше 4 годин [2].

Цей підхід дозволяє зосередитися на прогнозуванні першого нападу, що може бути індикатором настання подальших судомних подій. Такий аспект обробки даних визначає стратегію змагання та надає можливість більш точного передбачення епілептичних нападів з урахуванням їхньої групової природи.

В даному змаганні для кожного сегменту ЕЕГ вимагалось передбачити ймовірність того, що даний сегмент належить преіктальному періоду, тобто передує епілептичним станам. Для оцінки якості класифікації використовувалась площа під ROC кривою, обрахованою водночас для всіх пацієнтів. Введемо бінарна класифікація, коли замість ймовірнісного розподілу між класами, введено бінарні мітки 0 або 1, чи буде напад чи ні. (рисунок 2.10) [17].

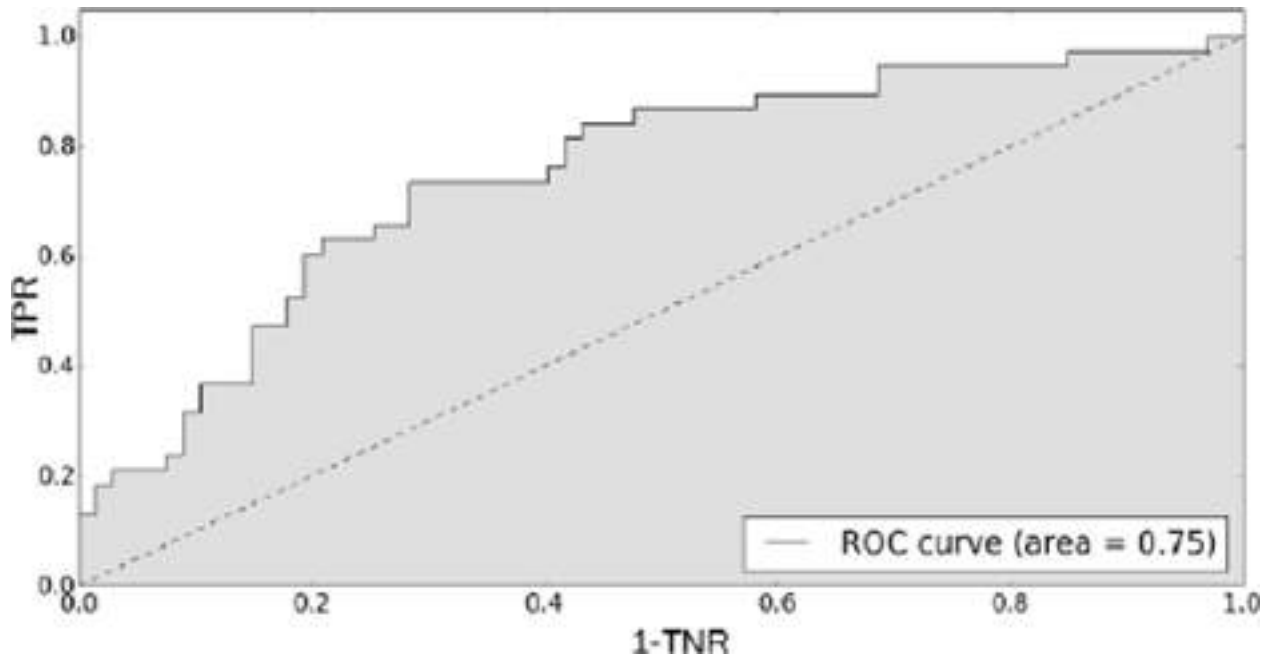


Рисунок 2.10 - ROC крива [17]

№	Назва команди	Публічний AUC	Приватний AUC
1	Medrr	0.90316	0.83993
2	QMSPD	0.85951	0.81962
3	Birchwood	0.83869	0.80079
4	ESAI CEU-UCH	0.82488	0.79347
5	Michael Hills	0.86248	0.79251
6	KPZZ	0.82051	0.79136
7	Carlos Fernandez	0.84225	0.79063
8	Isaac	0.84197	0.78863
9	Wei Wu	0.81803	0.78724
10	<i>golondrina</i>	<i>0.82455</i>	<i>0.78513</i>

Рисунок 2.11-результати досліджень команд [17]

## 2.4. Висновки

У розділі погляд зосереджено на розгляді фундаментальних концепцій теорії машинного навчання та обробки цифрових сигналів. Окрему увагу

приділено лінійним методам класифікації, таким як логістична регресія та лінійний дискримінантний аналіз (ЛДА), здійснено їх детальний опис.

Також в розділі засвідчено основи штучних нейронних мереж, враховуючи дві широко вживані архітектури: багатошаровий перцептрон (БШП) та конволюційна нейронна мережа (КНН). Зазначено алгоритми навчання цих архітектур та висвітлено підходи до уникнення перенавчання, що є актуальною проблемою для глибоких нейронних мереж. У заключенні розділу, особлива увага приділена методам візуалізації багатовимірних даних, які можуть виявитися важливими для розуміння викликів, пов'язаних з обробкою ЕЕГ-сигналів.

Набір даних від AES Seizure Prediction Challenge, записаний у 7 пацієнтів (5 собак і 2 людини), є важливим ресурсом для досліджень епілептичних нападів. Для тварин та людей записані ІЕЕГ сигнали, деякі включають до сотні епілептичних нападів. Висвітлено важливість проміжку часу між нападами. Робота з обсягом даних вимагає ефективних методів обробки. Передбачення лише перших нападів спрямоване на точніше передбачення подальших судомних подій. ROC-крива та бінарна класифікація оцінювали ефективність алгоритмів. Висновки досліджень можуть сприяти розумінню механізмів судом та покращенню методів діагностики епілепсії.

### 3. РОЗРОБКА МЕТОДУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ЕЕГ

#### 3.1. Основні засади розробленого методу аналізу ЕЕГ

Для початкової обробки отриманих сигналів ЕЕГ апарату, створений алгоритм оптимізованого процесу зчитування типового для ЕЕГ апаратури ThinkGear-пакетів передачі інформації.

Метод, що базується на використанні методу k-найближчих сусідів, був розроблений командою, яка досягла третього місця в конкурсі (SPC). Однак у дослідженні не буде використовуватися тестова множина для калібрування передбачень між пацієнтами, що призвело до менш прозорих результатів досліджень. Замість цього, нейронну мережу буде навчено індивідуально для кожного пацієнта, оскільки мозкова активність має виражено індивідуальний характер. Такий підхід дозволяє враховувати унікальні особливості кожного пацієнта, що може покращити точність передбачень та результати дослідження.

Для кожного окремого пацієнта створювалась індивідуальна модель Метод k-найближчих для класифікації. Це здійснювалося на основі аналізу інтервалів тривалістю 1 хвилини з вихідного сегмента тривалістю 10 хвилин. Кожен епізод класифікувався як 0 або 1.

Проводилась оцінка ймовірності коректності прогнозів для кожного пацієнта, застосовуючи подальше усереднення для забезпечення більшої репрезентативності результатів дослідження.

Оскільки використання Метод k-найближчих виявилось ефективнішим для завдань класифікації порівняно з лінійною регресією, логістичною регресією та ЛДА, команда обрала його в якості основного алгоритму класифікації.

## 3.2. Обробки енцефалографічних сигналів

### 3.2.1. Оптимізація необроблених даних від ЕЕГ апаратів

Енцефалографи на виході генерує цифрові дані у формі асинхронного послідовного потоку байтів, який передається як ThinkGear-пакети. Кожен пакет вимагає розбору та аналізу для коректного видобування інформації. Структура кожного пакету складається з трьох частин: заголовка, даних та контрольної суми даних (рисунок 3.1). [18]

Synchronization		Package body		Checksum
SYNC	SYNC	PLENGTH	PAYLOAD	CHECKSUM
SYNC	SYNC	PLENGTH	CODE	VALUE
				CHECKSUM

Рисунок 3.1 – Структура пакета ThinkGear

Заголовок кожного пакету складається з трьох байтів: два байти синхронізації, за якими слідує байт розміру корисних даних (PLENGTH). Два байти синхронізації, що мають значення 0xAA (десятькове 170), використовуються для сигналізації про початок нового пакету.

Для зменшення ризику неправильного розпізнавання байтів синхронізації в середині пакету як його початку використовується два байти синхронізації замість одного. Навіть якщо два послідовних байти синхронізації можуть з'явитися в пакеті, що призводить до спроби парсера розпізнати середину пакету як його початок, PLENGTH та CHKSUM гарантують відсутність відповідності правильно синхронізованого пакету, який завжди має лише один байт синхронізації. Байт PLENGTH вказує на довжину розділу пакету даних у байтах і може приймати значення від 0 до 169. Байт CHKSUM використовується для перевірки цілісності даних пакета



та обчислюється як сума всіх байтів пакета, взята залишок від ділення на 256, і його бітова інверсія.

Після підтвердження контрольної суми пакета можна розглядати байти даних. Вони представляють собою послідовність значень даних, кожне з яких розміщене в байтах, що утворюють DataRow. Кожен DataRow містить інформацію про тип значення даних, його довжину і самі байти, що представляють значення.

Кожен DataRow складається з байтів коду, довжини та значення. DataRow може починатися з нульового або більше байтів, що мають розширений код, представлений байтами зі значенням 0x55. Кількість байтів EXCODE вказує на рівень розширеного коду. Цей рівень, разом із байтом CODE, визначає тип значення даних, яке міститься у цьому DataRow.

Для отримання необроблених даних використовується збір DataRow з кодом 0x80, складається з двох байтів та представляє собою одну необроблену вибірку хвилі. Значення цієї вибірки є 16-бітовим цілим числом із знаком, що змінюється від -32768 до 32767.

Старший байт значення визначає старші біти двійкового доповнення, в той час як молодший байт визначає молодші біти. Для відновлення повного необробленого значення хвилі виконується операція зсуву першого байту вліво на 8 біт, а потім виконується побітова операція АБО на результаті з другим байтом.

Нижче подано алгоритм отримання необроблених даних:

Крок перший: Зчитати байти з потоку даних до того часу, поки не знайдете байт SYNC, який має значення 0xAA.

Крок другий: Прочитайте наступний байт і перевірте, чи він також є байтом SYNC. Якщо це не байт SYNC, поверніться до Кроку 1. Якщо це байт SYNC, перейдіть до Кроку 3.

Крок третій: Прочитайте наступний байт як PLENGTH. Якщо PLENGTH рівний 0xAA (десятькове 170), повторіть Крок 3. Якщо значення

PLENGTH перевищує 170, поверніться до Кроку 1. У протилежному випадку перейдіть до Кроку 4.

Крок четвертий: Прочитайте PLENGTH байтів з PAYLOAD, зберігаючи їх у сховищі. Під час читання підсумуйте кожен байт, збільшуючи акумулятор контрольної суми.

Крок п'ятий: Візьміть найнижчі 8 бітів з акумулятора контрольної суми та інвертуйте їх.

Крок шостий: Прочитайте наступний байт з потоку як байт CHKSUM. Якщо CHKSUM не відповідає обчисленій сумі, проігноруйте дані, виведіть попередження та поверніться до Кроку 1. В іншому випадку збережіть отримані дані. Якщо необхідна кількість даних зібрана, поверніть результат; в іншому випадку - перейдіть до Кроку 1.

Шляхом використання загального алгоритму для збору необроблених даних було втілено його реалізацію на мові програмування Python за допомогою бібліотеки PySerial (Додаток А (лістинг 3.1)).

Код реалізації алгоритму для збору необроблених даних є чітким та ефективним. Додаткові заходи безпеки, такі як перевірка контрольної суми та обробка помилкових даних, також включені, що підвищує надійність програмного забезпечення.

Унікальні назви функцій та змінних дозволяють легко розрізнити їхню функціональність. Код також використовує ітератори для зручного перегляду байтів вхідних даних.

В цілому, код представляє собою добре організовану та ефективну реалізацію алгоритму для обробки потоку байтів, що містить необроблені дані.

Для читання лише певної кількості байт в коді використано окрему змінну, яка визначена поза межами наданого прикладу. Результат читання зберігається у змінній `result_data`, а її значення конвертуються у формат CSV-файлів.

### 3.2.2. Цифрові фільтрації сигналів

Цифрова фільтрація представляє собою стандартний етап перед обробкою сигналів ЕЕГ. Зазвичай використовується високочастотний фільтр для відсіювання низькочастотних коливань менше 0,1 Гц або 1 Гц, а також низькочастотний фільтр для відсіювання високочастотних коливань вище 40 або 50 Гц. Хоча фільтрація є ефективним методом для зменшення або відокремлення шуму від корисного сигналу, важливо враховувати, що цей процес також може змінювати вихідний сигнал. Низка наукових досліджень підтверджує, що фільтрація може впливати на форму або часову структуру ЕЕГ-сигналів або даних, пов'язаних з потенційними подіями.

Фільтри можуть бути створені з кінцевою імпульсною характеристикою (FIR) або нескінченною імпульсною характеристикою (IIR). Імпульсна характеристика визначає, як фільтр обробляє одиничний імпульсний сигнал у часовій області (суть його впливу на структуру сигналу), і його частотна характеристика відома як перетворення Фур'є.

FIR-фільтр, з його обмеженою тривалістю імпульсної характеристики, приводить до того, що вихідний сигнал стає нульовим, маючи однакові затримки на всіх частотах (відомий як лінійна фазова характеристика). У порівнянні з цим, IIR-фільтри (рекурсивні фільтри) мають нескінченну імпульсну характеристику, де частина виходу фільтра використовується як зворотний зв'язок. Це призводить до нелінійних затримок на різних частотах (нелінійні фазові характеристики), що вказує на те, що вихідний сигнал зазнає зміщення в часі порівняно з входом, при цьому деякі частотні компоненти мають більші затримки, ніж інші. Однією з основних переваг IIR-фільтрів є їхня вища обчислювальна ефективність.

Інший важливий аспект у створенні фільтрів - це напрямок сигналу, який використовується як вхід. Фільтри, які базуються лише на попередній та поточній інформації, відомі як причинно-наслідкові фільтри, тоді як ті, що враховують інформацію з минулого та майбутнього вводу, називаються

непричинними чи неказуальними фільтрами. Протягом причинно-наслідкового фільтру відповідь виникає після початку ( $t = 0$ ). Непричинні фільтри викликають реакцію ще до початку через зворотню фільтрацію і можуть викликати більше бокових всплесків. Фільтрація з причинністю досягається на практиці шляхом фільтрації даних спочатку вперед, а потім назад, що може допомогти мінімізувати фазові затримки у сигналі. Оскільки аказуальний або причинний фільтр вимагає повних даних, це не можна виконати в реальному часі (наприклад, причинно-наслідковий фільтр), і це є операцією, яка виконується після збору даних в автономному режимі.

Рисунок 3.2 ілюструє, як причинно-наслідковий фільтр поступово розкриває форму сигналу, дозволяючи виявити його особливості з плином часу. З іншого боку, аказуальний чи непричинний фільтр зберігає форму сигналу, але вносить відмінності ще до його початку при  $t = 0$  через використання зворотної фільтрації. Це демонструє, що вибір типу фільтрації може суттєво вплинути на сприйняття та аналіз сигналів. В данній роботі буде використано аказуальний фільтр завдяки його вищезазначеним якостям.

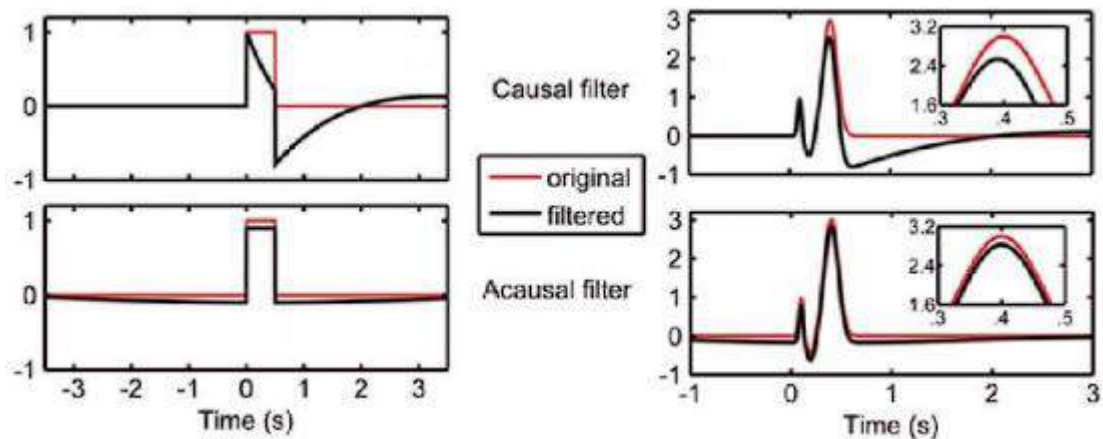


Рисунок 3.2 – Порівняння двох фільтрів [18]

### 3.2.3. Детектування різних типів мозкових хвиль

В аналізі даних ЕЕГ основним етапом є ідентифікація різних видів мозкових хвиль, таких як альфа, бета, гамма, дельта і тета. Кожен з цих типів хвиль характеризується власним діапазоном частот і відображає різні стани мозку людини. Після отримання необроблених даних від апаратної частини проводиться їх нормалізація, розрахунок періодограми Уелча для визначення спектральної густини потужності, а також визначення сили діапазону хвиль мозку за допомогою правила Сімпсона для обчислення площі під кривою графіка спектральної густини потужності.

Дослідження і застосування оцінки спектральної потужності в цифровій обробці сигналів мають велике значення. Методи оцінки спектральної потужності можна розділити на дві категорії: непараметричні та класичні, і вони часто ґрунтуються на використанні періодограми. Спектральна потужність відображає характеристики сигналів, які вважаються випадковими процесами.

Автокореляційна функція випадкового сигналу — статистичне середнє, використовуване для аналізу характеристик випадкових сигналів у часовій області. Спектральна щільність потужності є результатом Фур'є-перетворення автокореляційної функції, що дозволяє перейти від представлення у часовому домені до частотного. Такий підхід сприяє глибшому вивченню частотних характеристик сигналів та розподілу їх енергії.

Спектральна потужність визначає, як енергія часового ряду розподіляється у частотній області. Ця величина, що має реальні значення, не містить фазової інформації. Оскільки часовий ряд може включати неперіодичні або асинхронні періодичні компоненти сигналу, спектральна потужність часового ряду, як правило, розглядається як неперервна функція частоти.

Непараметричний метод Уелча є вдосконаленим способом оцінки спектра періодограми, особливо коли відношення сигналу до шуму високе. Цей метод використовується для отримання оцінок потужності сигналу на різних частотах та володіє перевагою у зменшенні впливу шуму за рахунок зниження роздільної здатності по частоті. Періодограма, хоча і легко обчислюється, має обмежені можливості для точної оцінки спектру потужності, особливо при використанні коротших вікон. Метод Уелча визначається як покращена альтернатива періодограмі, що дозволяє покращити точність оцінки спектру збільшенням довжини вікна та зниженням впливу шуму.

Оцінка спектральної потужності має на меті надати опис розподілу потужності у сигналі в залежності від частоти, використовуючи обмежений набір даних. Цей аналіз є корисним для різноманітних використань, таких як виявлення сигналів у широкосмуговому шумі. Застосування спектрального аналізу включає в себе вивчення сигналів зв'язку, аналіз подій чи стимульованих реакцій у людини на її електроенцефалограмі під час діагностики захворювань мозку. Він також використовується для обробки інших біологічних сигналів, метеорологічного моніторингу, під час контролю виробничих процесів та вимірювання спектрів шуму для оптимальної лінійної фільтрації.

Щоб зменшити негативний вплив спектральних спотворень, корисно використовувати відповідні віконні функції при аналізі даних. Вибіркове значення даних множиться на відповідне значення обраної віконної функції від точки до точки. При виборі вікна враховуються такі фактори, як еквівалентна смуга пропускання шуму, посилення обробки, втрати обробки в найгіршому випадку та мінімальна роздільна здатність. У випадку кореляції перекриття усереднення спектру віконних даних приводить до значно покращеної оцінки спектру.

Існують два основних типи методів для оцінки спектральної щільності: параметричний і непараметричний. Параметричні методи, також відомі як

некласичні, моделюють аналізований процес відповідною моделлю з відомим спектром. З іншого боку, непараметричні методи, або класичні, не роблять жодних припущень щодо процесу генерації даних. Параметричні методи базуються на параметричних моделях часового ряду, таких як моделі авторегресії (AR), моделі ковзного середнього та моделі авторегресійного ковзного середнього. Отже, їх також часто називають методами на основі моделі.

Для оцінки спектральної густини потужності часового ряду за допомогою параметричних методів спочатку потрібно отримати параметри моделі часового ряду. Однак у непараметричних методах, таких як метод періодограми, метод Уелча та методи Блекмана-Тьюкі, використовується дискретне перетворення Фур'є, і немає необхідності отримувати параметри часового ряду. Усі ці методи можуть бути ефективно реалізовані за допомогою швидкого перетворення Фур'є, але вони можуть мати обмежену роздільну здатність по частоті при обробці коротких даних.

Параметричні методи виділяються високою точністю та швидкодією. Зокрема, широко використовується підхід, що базується на визначенні спектру через параметри авторегресійної моделі сигналу.

Метод Уелча представляє собою удосконалену версію методу Бартлетта в двох аспектах. По-перше, йому дозволяється перекидати сегменти даних. По-друге, перед обчисленням кожного сегмента використовується віконна функція для розрахунку періодограми. Суть методу полягає в поділі часового ряду на сегменти (які можуть перекидатися), розрахунку модифікованої періодограми для кожного сегмента та усередненні оцінок спектральної густини потужності.

Для застосування методу Уелча використовувалася бібліотека `scipy` у її модулі `signal`, що містить різноманітні інструменти для обробки сигналів (Додаток А (лістинг 3.2)).

Перед використанням функції `welch` проводиться розрахунок розміру сегмента. Зменшення параметра `nperseg` дозволяє розділити вхідні дані на

більшу кількість сегментів, що призводить до отримання надійнішої оцінки. Збільшення ж `perseg` покращує частотну роздільну здатність результатів. У поточній реалізації розмір сегмента встановлено таким чином, що він дорівнює розміру вхідного масиву даних, а саме 512.

Вхідні дані та результати періодограми представлені у формі об'єкта `DataFrame` з бібліотеки `Pandas`. Кожен `DataFrame` є двовимірною структурою даних, аналогічною звичайній таблиці. Дані, отримані з періодограми Уелча, будуть використані для подальшого визначення конкретних діапазонів мозкових хвиль, проводячи обчислення площі під кривою графіка.

Для обчислення цієї площі використовується правила Сімпсона .

Інтегрування функцій  $f(x)$  за правилами трапецій можна розглядати як заміну первісної функції  $f(x)$  деякою кусково-лінійною функцією. Це досягається шляхом розбиття загального інтервалу інтеграції на безліч відрізків, на кожному з яких апроксимується функція лінійним виразом. Потім від цих кускових лінійних функцій вираховується близьке значення інтеграла. Помилка цього методу визначається грубістю запропонованого способу апроксимації функцій.

У випадку правила Сімпсона наближення первісної функції  $f(x)$  на відрізках виконується поліномами більш високих порядків, зокрема, параболою. Це дозволяє зменшити помилку методу інтегрування, оскільки кожен відрізок апроксимується більш точною параболою, а не прямою.



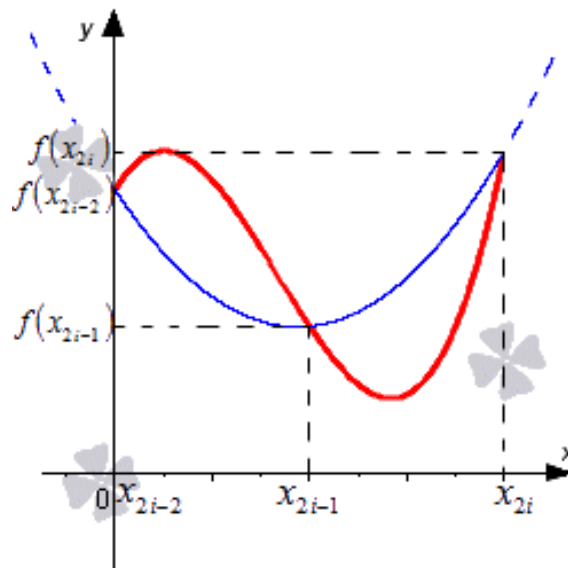


Рисунок 3.3 - Апроксимація функції  $f(x)$  (зображеної синім графіком) використовуючи квадратичний поліном  $P(x)$  (позначений червоним кольором). [18]

Формулою Сімпсона (3.1) обчислення інтегралу, що представляє інтеграл від квадратичного інтерполяційного полінома, який апроксимує функцію на визначеному відрізку  $[a, b]$ .

$$\int_a^b f(x) dx = \int_a^b p_2(x) dx = \frac{b-a}{6} (f(a) + 4f\left(\frac{a+b}{2}\right) + f(b))$$

Формула 3.1 - Використання методу Сімпсона було реалізовано з використанням бібліотеки `scipy` та функції `simpson` для обчислення площі під кривою графіка (Додаток А (лістинг 3.3)).

Дані, отримані із періодограми Уелча, були подальше проаналізовані для визначення конкретних діапазонів мозкових хвиль. Цей аналіз включав розрахунок площі під кривою для кожного зазначеного діапазону частот для хвиль (альфа, бета, гамма, дельта, тета). Після цього отримані значення були нормалізовані.

### **3.2.4. Вилучення аномальних викидів в процесі попередньої обробки даних.**

Наявність аномальних значень у наборі даних вказує на наявність викидів, які істотно відрізняються від основного потоку даних. Причини виникнення викидів можуть бути різноманітні, такі як помилки вимірювання, введення даних або навіть виявлення реальних, але виняткових подій. Визначення та ідентифікація викидів загалом є нетривіальною задачею через унікальність кожного конкретного набору даних.

Обробка вхідних даних стає необхідною для вирішення питання про те, чи є певні значення викидами чи ні. Проте визначення викидів може бути проблематичним завданням, особливо у випадку обмежених обсягів вибірки. Невірне визначення може призвести до вилучення чи модифікації нормальних даних.

Використання статистичних методів для виявлення викидів та аномалій у наборі даних стає важливою частиною процесу фільтрації і обробки даних, адже це дозволяє виявити рідкісні або малоймовірні спостереження з урахуванням наявних даних. Пошук викидів та невірних даних у наборі даних є однією з найбільш складних частин процесу фільтрації даних.

У випадку, коли розподіл значень у вибірці відповідає гаусовому або подібному до гаусового, можна використовувати середньоквадратичне відхилення вибірки як пороговий показник для виявлення викидів. Гаусів розподіл володіє властивістю, що стандартне відхилення від середнього може служити надійним критерієм для оцінки того, наскільки значення вибірки відрізняються від середнього значення. Це використовується для ефективного визначення відсотка значень у вибірці, які можуть бути вважати викидами. Рисунок 3.4

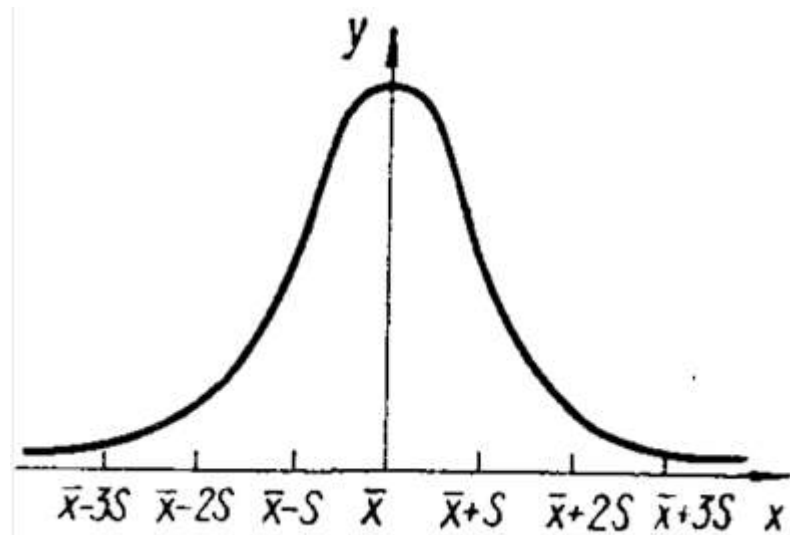


Рисунок 3.4 – густина ймовірності нормального розподілу і відсоток випадкової величини на відрізьку

Наприклад, якщо ми генеруємо 10 тисяч випадкових чисел із розподілу Гауса, де середнє значення становить 50, а стандартне відхилення - 5, то в межах одного середнє квадратичне відхилення від середнього значення буде охоплено приблизно 68% даних. Іншими словами, якщо середнє значення дорівнює 50, а стандартне відхилення дорівнює 5, то всі дані у вибірці, які потрапляють в діапазон між 45 і 55, становитимуть близько 68% вибірки даних.

Можна розширити охоплення вибірки даних, використовуючи наступні проміжки:

- Однє середньоквадратичне відхилення від середнього: 68% даних;
- Два середньоквадратичних відхилення від середнього: 95% даних;
- Три середньоквадратичних відхилення від середнього: 99,7% даних.

Значення, які виходять за межі трьох середньоквадратичних відхилень, належать до розподілу, проте це вкрай малоїмовірна або рідкісна подія, що відбувається лише приблизно в 1 випадку з 370 зразків. Це називається правилом трьох  $\sigma$ . Використання трьох стандартних відхилень від середнього є загальноприйнятим обмеженням для виявлення викидів у випадку гаусового чи подібного до гаусового розподілу. Для менших вибірок можна застосовувати значення двох стандартних відхилень (95%), а для більших

вибірок можна розглядати використання значень чотирьох стандартних відхилень (99,9%).

### 3.2.5. Прогнозування з використанням методу К-найближчих сусідів.

Метод k-найближчих сусідів (KNN) використовує навчальний набір даних для прогнозування. Процес передбачення для нового екземпляру включає пошук K найбільш подібних екземплярів, або сусідів, у всьому навчальному наборі. Прогноз формується шляхом агрегації вихідних значень цих K сусідів. У випадку регресії використовується середнє значення вихідної змінної, а для класифікації - найбільш часте значення класу.

Для визначення, які з K екземплярів у навчальному наборі даних найбільш схожі на новий вхід, використовується міра відстані. У випадку вхідних змінних з дійсним значенням, евклідова відстань є найпоширенішою мірою відстані. Обчислення евклідової відстані включає в себе визначення квадратного кореня із суми квадратів різниць між новою точкою (x) та кожною існуючою точкою (x<sub>i</sub>) за всіма вхідними атрибутами j.

$$E(x, x_i) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_j - x_i)^2} \quad 3.2$$

Найбільш поширені міри відстані:

- відстань Хеммінга: визначення різниці між двійковими векторами (або більше);
- відстань Манхеттена: обчислення відстані між реальними векторами, використовуючи суму їх абсолютної різниці;
- відстань Мінковського: узагальнення евклідової та манхеттенської відстані, яке охоплює їх як часткові випадки.

Інші міри відстаней, такі як Танімото, Жаккард, Махаланобіса та косинусна відстань, також можуть бути використані в залежності від властивостей вхідних даних. Вибір оптимального показника відстані повинен базуватися на характеристиках конкретного датасету. Якщо ви не впевнені у виборі конкретного методу відстані, можна експериментувати з різними мірами відстаней та значеннями  $K$ , щоб визначити, який метод найкраще підходить для отримання точних моделей.

Вибір евклідової міри відстані буде доцільним, якщо вхідні змінні подібні за типом (наприклад, ширина, довжина, висота). З використанням манхеттенської відстані можна вирішити ситуацію, коли вхідні змінні відрізняються за типом (наприклад, вік, стать, зріст і т. д.).

Підбір оптимального значення параметра  $K$  для алгоритму є важливою задачею. Дослідження різних значень для  $K$ , наприклад, в діапазоні від 1 до 21, дозволяє знайти найефективніше для конкретного набору даних. З іншого боку, із зростанням обсягу навчальних даних, важливо розглядати можливість зробити алгоритм  $KNN$  стохастичним, використовуючи випадкову підвибірку для обчислення  $K$  найбільш схожих екземплярів.

У своїй широкій області застосування алгоритм  $KNN$  має різні назви залежно від контексту:

- Навчання на основі екземплярів: використання необроблених навчальних екземплярів для прогнозування, і тому часто називається навчанням на основі екземплярів або навчанням на основі випадків.

- Ліниве навчання: оскільки модель не вивчається наперед, а працює лише під час запиту, алгоритм також може називатися алгоритмом лінивого навчання.

- Непараметричний: через відсутність припущень про функціональну форму проблеми,  $CNN$  відомий як непараметричний алгоритм машинного навчання.

Підготовка даних для використання в алгоритмі  $KNN$  вимагає розміщення їх в однаковому масштабі. Краще всього, якщо всі дані

знаходяться у діапазоні  $[0, 1]$ , тому нормалізація даних стає важливим етапом попередньої обробки. Також може бути корисним стандартизувати дані, особливо, якщо вони розподілені за законом Гаусса.

Присутність відсутніх даних може ускладнювати обчислення відстаней між вибірками, оскільки немає можливості розрахувати відстань для відсутніх значень. В такому випадку можна розглядати видалення зразків з відсутніми значеннями або врахування цих відсутніх значень у відповідних обчисленнях.

CNN є ефективним методом для даних з меншою розмірністю. Використання його на даних великої розмірності (з великою кількістю вхідних змінних, таких як сотні чи тисячі) може бути можливим, але йому може бути важко конкурувати з іншими методами ефективності. В даному випадку важливим може стати вибір підмножини ознак, що дозволяє зменшити розмірність вхідного набору даних і покращити результати CNN.

### **3.3. Програмне-апаратне забезпечення методу**

#### **3.3.1. Отримання необроблених даних від апаратної частини**

Отримані дані в ході виконання Python-скрипту було збережено за допомогою бібліотеки Pandas. Ця бібліотека надає можливість зберігати об'єкт DataFrame у форматі CSV, що включає дві колонки: Time і Value. Згідно з технічними характеристиками апаратної частини, неперероблені дані ЕЕГ передаються зі швидкістю 512 біт на секунду. Для спрощення подальшого аналізу дані DataFrame розбиваються на блоки по 512 значень під час збереження, створюючи набір CSV-файлів, кількість яких відповідає кількості секунд збору даних. Це значення програмно визначається і може динамічно змінюватися для більшої зручності в подальшому дослідженні.

Для побудови графіків та гістограм отриманих даних використовувалася бібліотека Matplotlib. Ця бібліотека володіє великою гнучкістю та легкістю налаштування, а також, спільно з NumPy, SciPy та IPython, надає можливості, аналогічні до MATLAB. Вона здатна працювати з різними графічними бібліотеками, включаючи wxWindows та PyGTK. На рисунку 4.2 представлений графік одного з фрагментів необробленого файлу.

Результатом цього етапу – підготовлені для аналізу данні, для подальшої роботи (рисунок 3.5).

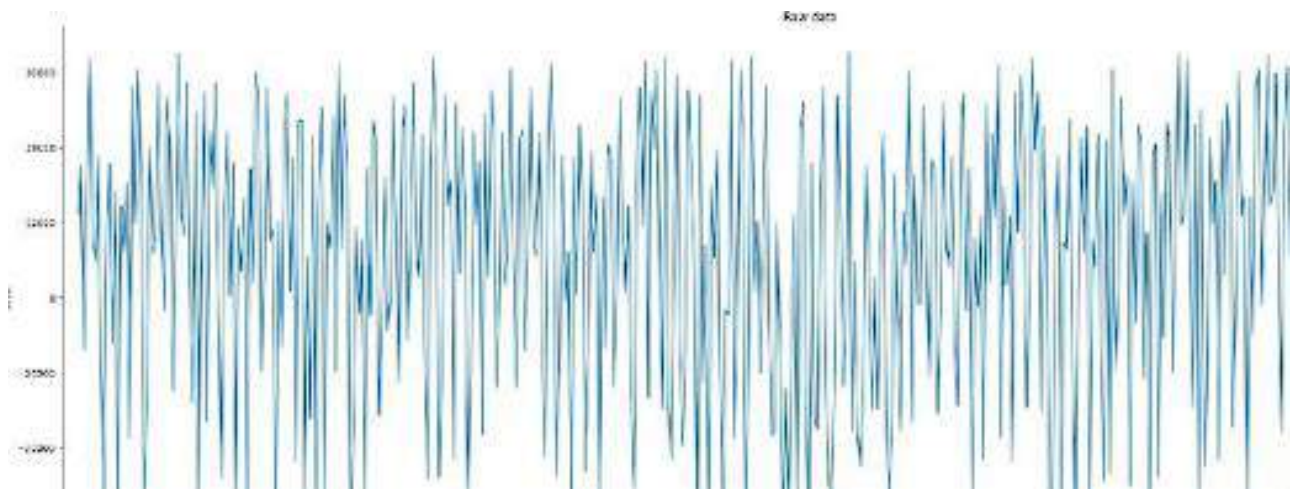


Рисунок 3.5 – Отримані необроблені дані ЕКГ на графіку

### 3.3.2. Аналіз даних по типи мозкових хвиль

Першим кроком обробки даних енцефалограми є виконання їх перетворення шляхом нормалізації (4.1):

$$n_v = 2 * \frac{n_B - m_v}{m_v - m_v} - 1$$

4.1

min\_value та max\_value представляють мінімальні та максимальні значення у всьому наборі даних. Таким чином, отримано нормалізовані дані,

які знаходяться у діапазоні від -1 до 1 (рисунок 3.6).

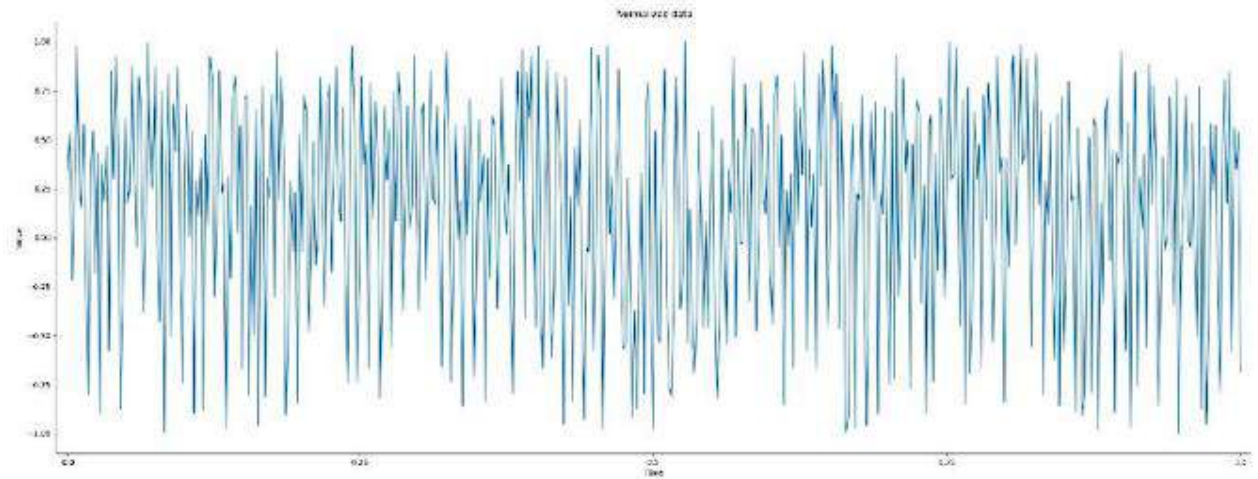


Рисунок 3.6 – Графік з нормалізованим ЕКГ

З використанням бібліотеки SciPy для мови програмування Python застосовано відповідні методи обробки сигналів. Ця бібліотека використовується для вирішення різноманітних математичних, наукових, інженерних та технічних завдань. Вона дозволяє користувачам ефективно маніпулювати даними та візуалізувати їх за допомогою різноманітних високорівневих команд в середовищі Python. Важливо відзначити, що SciPy базується на бібліотеці NumPy.

Для використання методу Уелча була використана функція `welch` з вказаної бібліотеки. Її вивідом є періодограма, яка представлена на наступному графіку (рисунок 3.7).

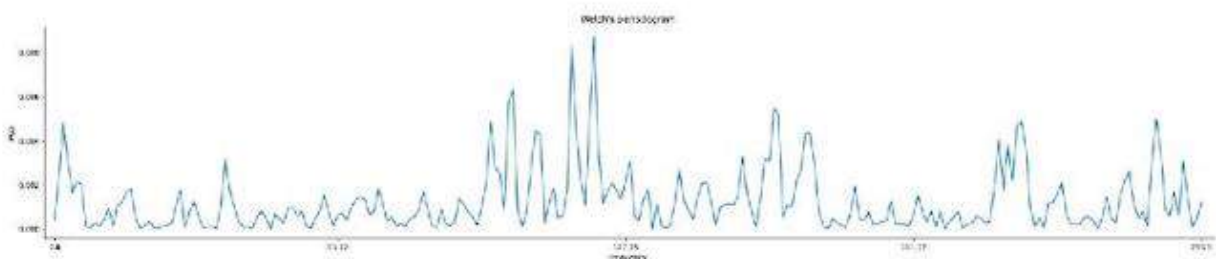


Рисунок 3.7 –Періодограма Уелча

Далі визначається сила різних діапазонів мозкових хвиль, таких як альфа, бета, гамма, дельта і тета, з використанням правила Сімпсона для



обчислення площі під кривою графіка спектральної густини потужності. Для цього використовується функція `simpson` з модуля `integrate` бібліотеки `SciPy`. Кожен тип хвиль має власний діапазон частот, і їх визначають окремо (Додаток А (лістинг 3.4)).

Маючи періодограму Уелча з визначеними частотами та діапазонами для кожного типу хвиль, можна відобразити силу кожного діапазону на гістограмі. Для цього використовується функція `hist` з бібліотеки `Matplotlib`. Результат роботи цієї функції наведено на графіку (рисунок 3.8).

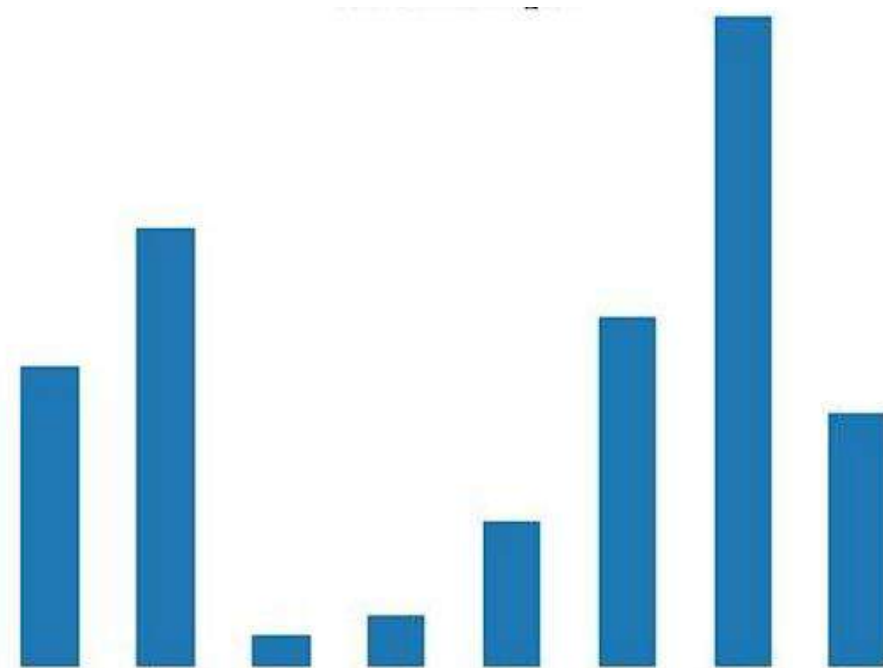


Рисунок 3.8 – Гістограма потужності для кожного типу хвиль

Цей аналіз виявив різні типи мозкових хвиль, такі як альфа, бета, гамма, дельта і тета, у неопрацьованому сигналі ЕЕГ. Ці хвилі характеризують різні стани людського мозку.

### 3.4. Висновки

Для початкової обробки отриманих сигналів ЕЕГ розроблено алгоритм оптимізованого процесу зчитування типових для ЕЕГ апаратури ThinkGear-пакетів передачі інформації. Застосування оптимізованого алгоритму

дозволяє ефективно взаємодіяти з сигналами, отриманими від ThinkGear-апаратури, та забезпечує надійність та точність в отриманні інформації. Цей підхід має потенціал для поліпшення процесу обробки даних та подальшого розвитку.

В розділі 4 проведено аналіз методів класифікації вихідних сигналів ЕЕГ апаратури з метою прогнозування епілептичних нападів. Запропоновано алгоритм, який дозволяє оптимізувати обробку типових ThinkGear-пакетів. В основу алгоритму покладено метод К-найближчих сусідів для початкової класифікації. Слід зазначити, що відсутність використання тестової множини для калібрації прогнозів між пацієнтами призвела до менш прозорих результатів.

Для подальшої класифікації судомних нападів використовувались індивідуальні моделі засновані на Метод k-найближчих для кожного окремого пацієнта. Цей підхід дозволяв враховувати індивідуальний характер мозкової активності, забезпечуючи оптимальні результати. Оцінка ймовірності коректності передбачень для кожного пацієнта та подальше усереднення сприяли отриманню більш репрезентативних результатів дослідження.

Висновок полягає в тому, що використання індивідуальних моделей на основі CNN для кожного пацієнта є ефективним підходом до передбачення судомних нападів на основі ЕЕГ сигналів.

## 4. ВЕРИФІКАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОГО МЕТОДУ

### 4.1. Вихідні дані для тестування

Для тестування запропонованого методу, що дозволяє прогнозувати епілептичний напад, було використано вхідні необроблені ЕЕГ-сигнали та інші дослідження з відкритих джерел, а саме з досліджень AES SEIZURE PREDICTION CHALLENGE, яка містить також і епілептичного стану людини. Апаратна частина представлена у вигляді нейрогарнітури, яка містить в собі 14 електродів, завдяки чому надає більш точні дані для аналізу та навчанню мережі.

Необроблені апаратні дані у файлі з ARFF форматом, які отримані з професійного обладнання, який можна легко конвертувати в CSV формат відредагувавши заголовок файлу. Безпосередньо самі дані представлені у вигляді 14 значень відповідні до кількості електродів та епілептичного стану у вигляді 0 чи 1.

Використовуючи вже відому бібліотеку Matplotlib, було виконано відображення на графіку кожного потоку даних згідно з 14 каналами та епілептичним станом людини.

На графіку можна побачити аномальні викиди, які шкодять подальшому навчанню нейронної мережі, тому необхідно виконати відповідну фільтрацію. Рисунок 4.1 Для цього було використано метод середньоквадратичного відхилення для відсіювання значень, які не відповідають обчисленому діапазону. Для досягнення цієї мети використовувався метод фільтрації на основі середньоквадратичного відхилення, щоб відсіяти значення, які не відповідають діапазону вимірювань.

Для розрахунку середньоквадратичного відхилення використовувалася функція `std` з бібліотеки NumPy, а також функція `mean` для визначення

середнього арифметичного значення з відповідного масиву значень, отриманих з кожного з електродів. Відповідний код можна побачити у додатку А лістинг 4.2.

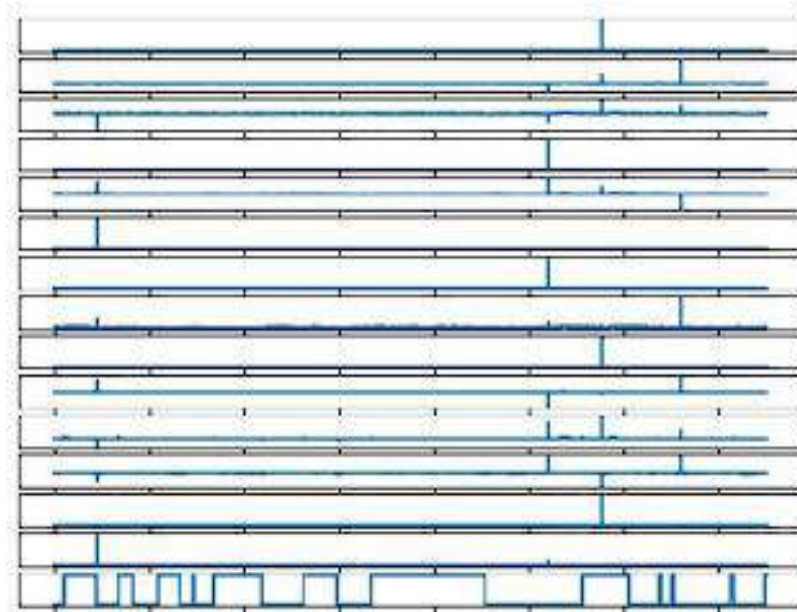


Рисунок 4.1 – Візуалізація вхідних даних разом зі станом очей

Для уникнення перенавчання зазвичай використовується частина наявних даних у вигляді тестового набору під час проведення експерименту з машинним навчанням.

Для вирішення проблеми перенавчання була використана модель KFold з бібліотеки sklearn. Ця модель дозволяє розділити вхідні дані на навчальні та тестові вибірки за допомогою крос-валідації, забезпечуючи використання даних для тестування, які не використовувалися під час навчання. Рисунок 4.2

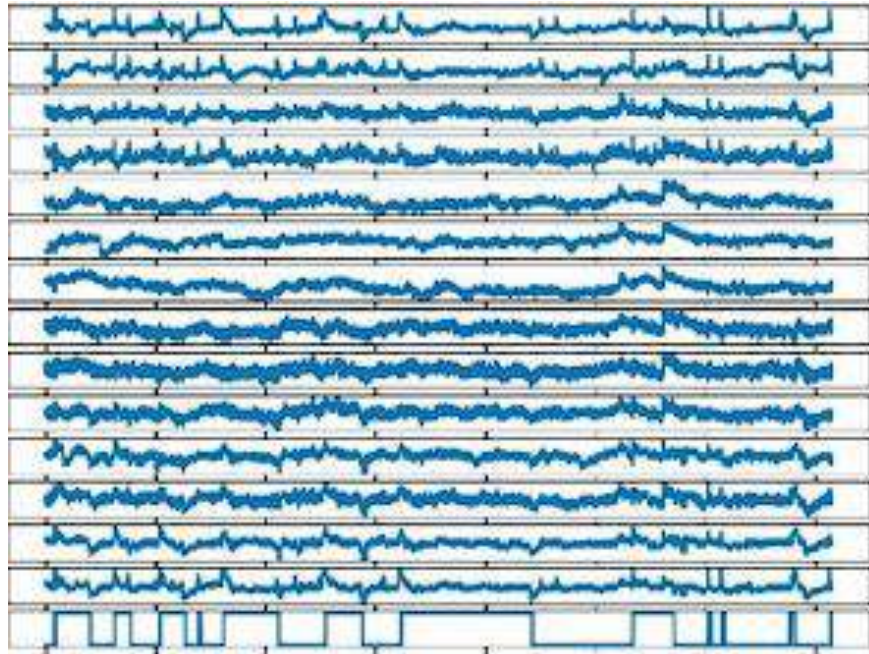


Рисунок 4.2 – Данні після фільтрації

#### 4.2. Верифікація

Для прогнозування епілептичного стану використовувалася класифікація, заснована на алгоритмі К-найближчих сусідів з параметром К, що дорівнює 3. Цей метод використовується для тренування та прогнозування, і програмна реалізація була здійснена за допомогою бібліотеки sklearn.

Результати прогнозування відображені на рис. 4.3.

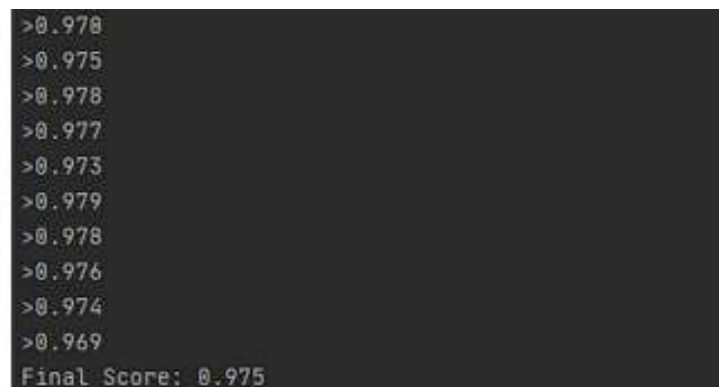


Рисунок 4.3 – Точність прогнозування

№	Назва команди	Публічний AUC
1	Medgr	0.90316
2	QMSDP	0.85951

Рисунок 4.4 – Точність прогнозування учасників змагання [17]

На отриманих результатах відображено високий рівень точності прогнозування для кожного пацієнта, а також високе усереднене значення, що становить 97,5 відсотка. Що перевищує рівень точності учасників змагань SPC. Рисунок 4.4 . Це свідчить про ефективність та вірогідність алгоритму у визначенні паттернів та характеристик мозкової активності для індивідуальних пацієнтів.

Отриманий високий рівень точності говорить про можливість успішного застосування розробленого методу для індивідуалізованої обробки сигналів ЕЕГ. Такий алгоритм може стати перспективним інструментом для діагностики та вивчення мозкової діяльності з високою ступенем надійності та точності в прогнозуванні.

Для визначення точності прогнозування була використана функція `accuracy_score`. У випадку класифікації за кількома мітками ця функція обчислює точність для підмножини, де передбачені мітки вибірки повинні точно відповідати очікуваним міткам (Додаток А (лістинг 4.2)).

Змінні `train_ix` та `test_ix` містять масиви індексів, які взято з вихідного набору даних `input_values`. За допомогою цих змінних формується набір даних з електроенцефалограмою (відомий як `train_x` та `test_x` відповідно) та відповідними значеннями епілептичного стану (позначеними як `train_y` та `test_y`). Значення епілептичного стану взято з останнього стовпця вхідних значень, тоді як всі інші значення відображають дані електроенцефалограми (ЕЕГ).

Таким чином, проведено аналіз результатів прогнозування епілептичного стану, використовуючи вхідні необроблені дані електроенцефалограми (ЕЕГ) з відкритого джерела. Дані були попередньо

оброблені за допомогою методу середньоквадратичного відхилення, і прогнозування епілептичного стану було виконано за допомогою алгоритму машинного навчання "K-найближчих сусідів".

Отже, запропонований метод має досить високий рівень точності прогнозування про, що свідчать результати тестування. Також демонструє якісні переваги у вигляді швидкості обробки та навчання вхідних сирих даних, що дозволяє використовувати цей метод в даній галузі.

### **4.3. Висновки**

У результаті аналізу прогнозування епілептичного стану з використанням необроблених даних електроенцефалограми (ЕЕГ) було встановлено, що запропонований метод, який використовує метод K-найближчих сусідів та розроблений метод перед обробки даних за допомогою методу середньоквадратичного відхилення, демонструє високий рівень точності прогнозування. Результати тестування свідчать про ефективність цього методу у прогнозуванні епілептичних станів.

Основні переваги запропонованого методу полягають у швидкості обробки та навчання на вхідних сирих даних. Це вказує на потенційне використання даного методу в галузі прогнозування епілептичних станів, де важлива швидка та точна обробка великої кількості даних. Таким чином, запропонований метод виявляє якісні переваги та може бути перспективним напрямком для подальших досліджень у цій області.

## 5. СТАРТАП ПРОЕКТУ

### 5.1. Опис ідеї проекту

Під час розробки стартап-проекту проведено аналіз суті ідеї, можливі сфери застосування, основні якості даного товару, що може отримати користувач, на відміну від існуючих аналогів.

Таблиця 5.1 — Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка методу на основі штучних нейронних мереж, який дозволяє ідентифікувати певні ділянки енцефалограми, що характеризують стан головного мозку.	Запропоновано метод обробки сигналів енцефалограми за допомогою нейронної мережі, який у порівнянні з відомими є більш адекватним для енцефалографічних обстежень функціонування мозку людини і може використовуватися під час діагностики низки функціональних та патологічних відхилень для визначення психічного стану людини.	Завчасне передбачення епілептичних препадків доля нейронної мережі.

Конкурентами на ринку є дослідження дослідження учасників SPC, їх методи дослідження в галузі обробки сигналів ЕЕГ



Таблиця 5.2 — Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари конкуrentів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент			
1	Швидкість обробки сигналів					✓
2	Точність передбачання					✓
3	Трудомісткість виготовлення				✓	

## 5.2. Аудит ідеї проекту

У цьому розділі наведено основні висновки під час огляду програмного забезпечення, яке використовувалося для збору та оброблення даних. Щодо обробки інформації, було прийнято рішення використовувати наступне програмне забезпечення. По-перше, Google Sheets, що є продуктом компанії Google та призначене для роботи з електронними таблицями. Другим вибором став Matlab 2018b, який є пакетом прикладних програм для чисельних обчислень та аналізу числових даних.

Цей підхід дозволяє використовувати різноманітні інструменти залежно від потреб та характеру даних, що підкреслює гнучкість та адаптивність вибраного програмного середовища.

Таблиця 5.3 — Технологічна здійсненність проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технології	Доступність технології
1		Google Sheets	Так	Так
2		Matlab 2018b	Так	Так
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Google Sheets				

Для роботи в цьому проекті вибрано програмне забезпечення Google Sheets, оскільки цей продукт компанії Google повністю задовольняє вимоги щодо визначення необхідних економічних показників. У порівнянні з розробкою власного програмного забезпечення, використання Google Sheets виявляється більш доступним та економічно обґрунтованим варіантом.

### 5.3. Аналіз можливостей стартап-проекту

У цьому розділі представлені результати аналізу ринкових можливостей запропонованого інструменту для радіомоніторингу (товару). Розглянуто можливість комерціалізації проекту та проведено оцінку економічних загроз. Аналіз цих аспектів надає теоретичні основи для розробки стратегій та напрямків розвитку комерційного проекту, зокрема щодо виробництва та методів реалізації продукції.

Таблиця 5.4 — Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	До 11
2	Загальний обсяг продаж, ум. од.	Невідомий
3	Динаміка ринку	Зростає

4	Наявність обмежень для входу	Невідома
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Існують
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	1000%

Після проведеного аналізу можна визначити, що ринок є досить конкурентним і не є монополізованим основними учасниками. Проте, вартість входу на ринок визначається виключно якістю виробу, що виготовляється, оскільки цільова аудиторія представлена заможними споживачами. Крім того, визначені потенційні сегменти клієнтів.

Таблиця 5.5 — Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Відсутні	Глибокі дослідження в галузі	Невідомо	Приватні особи зацікавлені в здоров'ї	Невідомо
Висновки	Можлива конкуренція на ринку	Існує можливість на виході на ринок	Невідомо	Клієнти диктують умови на ринку	Невідомо

#### 5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробка та впровадження системи прогнозування епілептичних випадків, що ґрунтується на нейронних мережах та аналізі електроенцефалограми (ЕЕГ), є важливим кроком у сучасній медицині. Для успішного впровадження цієї інноваційної технології в життя та медичну

практику, необхідно провести комплексний маркетинговий аналіз, який спрямований на ефективне популяризування та використання системи.

#### Аналіз ринку та конкурентів:

Першим етапом є ретельний аналіз ринку медичних технологій та конкурентів у сегменті систем прогнозування епілептичних випадків. Визначення переваг та недоліків конкурентів дозволить створити стратегію, яка надасть нашому продукту конкурентні переваги.

#### Визначення цільової аудиторії:

Детальне вивчення та визначення груп пацієнтів та медичних закладів, які мають найбільший попит на системи прогнозування епілептичних випадків, стане важливою частиною стратегії впровадження.

#### Розробка унікальної пропозиції:

Створення унікальної пропозиції для нашої системи полягатиме в чіткому визначенні конкурентних переваг, таких як висока точність прогнозів, оперативність та зручність використання. Це дозволить відрізнити наш продукт на ринку.

#### Стратегія ціноутворення:

Визначення конкурентоспроможних та ефективних цінових стратегій буде залежати від вартості виробництва, цінових умов ринку та стратегії конкурентів.

#### Просування та маркетинг:

Створення інформаційного веб-сайту, рекламних матеріалів та проведення рекламних кампаній допоможе збільшити усвідомленість серед лікарів, пацієнтів та медичних закладів щодо переваг нашої системи.

#### Партнерства та співпраця:

Розгляд можливостей співпраці з медичними закладами, дослідницькими установами та фармацевтичними компаніями забезпечить додаткові шляхи для впровадження системи.

#### Слідкування та аналіз результатів:

Постійне вдосконалення стратегій буде забезпечено використанням систем відстеження та аналізу результатів маркетингових заходів.

Маркетингова програма повинна сприяти популяризації системи прогнозування епілептичних випадків, забезпечуючи її успішне впровадження на ринку медичних технологій.

## **5.5. Висновки**

Розроблена маркетингова програма для системи прогнозування епілептичних випадків на основі нейронних мереж та ЕЕГ визначає чіткі етапи стратегічного планування.

На першому етапі важливо провести ретельний аналіз ринку та конкурентів для ідентифікації ключових параметрів і конкурентних переваг. Визначення цільової аудиторії дозволяє точно спрямовувати маркетингові зусилля та пристосовувати стратегію до потреб клієнтів.

Розробка унікальної пропозиції базується на конкурентних перевагах системи, таких як точність, оперативність та зручність використання. Ціноутворення повинне бути конкурентоспроможним та ефективним, а стратегія маркетингу має включати рекламу, веб-просування та рекламні кампанії для забезпечення великої усвідомленості серед медичних спеціалістів та пацієнтів.

Співпраця та партнерства з медичними закладами та іншими зацікавленими сторонами можуть забезпечити додаткові можливості впровадження системи на ринок. Постійний моніторинг та аналіз результатів дозволять адаптувати маркетингові стратегії для досягнення найкращих результатів.

## ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто значущий внесок електроенцефалографії (ЕЕГ) як важливого інструменту для вивчення електричної активності мозку та його різноманітних застосувань, включаючи діагностику неврологічних захворювань, дослідження ефективності стимуляції мозку та наукові дослідження. Ринок енцефалографічних пристроїв гарно розвинутий завдяки ключовим виробникам, таким як Brain Products і BioSemi, які впроваджують інноваційні технології та високоякісні продукти.

Застосування ЕЕГ широко поширене в різних сферах, включаючи біометрію, нейронауку, клінічні дослідження, нейромаркетинг та інтерфейси мозок-комп'ютер. Відзначено, що воно відіграє ключову роль у розумінні мозкових процесів та в розвитку передових технологій, зокрема інтерфейсів мозок-комп'ютер, які дозволяють управляти пристроями за допомогою мозкових сигналів.

Робота приділяє увагу фундаментальним концепціям теорії машинного навчання та обробки цифрових сигналів, включаючи лінійні методи класифікації, такі як логістична регресія та лінійний дискримінантний аналіз. Основи штучних нейронних мереж, зокрема багатошарового перцептронну та конволютивної нейронної мережі, також розглянуті разом з алгоритмами їхнього навчання та стратегіями уникнення перенавчання.

Наступний етап роботи присвячено аналізу важливого датасету від AES Seizure Prediction Challenge, який є важливим ресурсом для дослідження епілептичних нападів. Зазначено важливість проміжку часу між нападами та розглянуто методи обробки даних для ефективного використання цього датасету. Оцінка ефективності алгоритмів проводилася за допомогою ROC-кривої та бінарної класифікації.

Для початкової обробки отриманих сигналів ЕЕГ розроблено алгоритм оптимізованого процесу зчитування типових для ЕЕГ апаратури ThinkGear-пакетів передачі інформації. Застосування оптимізованого алгоритму

дозволяє ефективно взаємодіяти з сигналами, отриманими від ThinkGear-апаратури, та забезпечує надійність та точність в отриманні інформації. Цей підхід має потенціал для поліпшення процесу обробки даних та подальшого розвитку.

Подальша класифікація судомних нападів базувалася на індивідуальних моделях, створених для кожного окремого пацієнта за допомогою методу k-найближчих сусідів. Цей підхід дозволяв враховувати індивідуальні особливості мозкової активності, що забезпечувало оптимальні результати. Оцінка ймовірності коректності передбачень для кожного пацієнта та подальше усереднення сприяли отриманню більш репрезентативних результатів дослідження.

Результати аналізу прогнозування епілептичного стану з використанням необроблених даних ЕЕГ підтверджують високу точність запропонованого методу, який використовує метод k-найближчих сусідів та метод середньоквадратичного відхилення. Цей метод вирізняється швидкістю обробки та навчання на вхідних сирих даних, що вказує на потенційну ефективність в галузі прогнозування епілептичних станів.

Розроблена маркетингова програма для системи прогнозування епілептичних випадків на основі нейронних мереж та ЕЕГ визначає чіткі етапи стратегічного планування. Співпраці та партнерства з медичними закладами та іншими зацікавленими сторонами можуть забезпечити додаткові можливості впровадження системи на ринок. Постійний моніторинг та аналіз результатів дозволять адаптувати маркетингові стратегії для досягнення найкращих результатів

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1].Електроенцефалограма [Електронний ресурс]. <https://vestamed.com/article/jelektrojencefalogramma-jejeg/>(дата звернення: 10.01.2024).
- [2].Brain Products [Електронний ресурс]. <https://www.brainproducts.com/>(дата звернення: 10.01.2024).
- [3]BioSemi AD-box [Електронний ресурс].[https://www.biosemi.com/ad-box\\_activetwo.htm](https://www.biosemi.com/ad-box_activetwo.htm)(дата звернення: 10.01.2024).
- [4]g.tec medical engineering GmbH g.GAMMASYS[Електронний ресурс].<https://www.gtec.at/product/ggammasy/>(дата звернення: 10.01.2024).
- [5]Compumedics Limited g.GAMMASYS Graef LT [Електронний ресурс]<https://www.compumedics.com.au/en/>(дата звернення: 10.01.2024).\
- [6]Electrical Geodesics [Електронний ресурс].<https://www.egi.com/>(дата звернення: 10.01.2024).
- [7] Neuroscan [Електронний ресурс]<https://compumedicsneuroscan.com/applications/eeg/>(дата звернення: 10.01.2024).
- [8]Мозкові хвилі [Електронний ресурс]<https://med-ukraine.info/news/2019/mozkovi-hvili-539>(дата звернення: 10.01.2024).
- [9]НормИ ЭЭГ[Електронний ресурс]<https://cmi.to/%D0%BD%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%B%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F-%D1%8D%D1%8D%D0%B3/>(дата звернення: 10.01.2024).
- [10]researchgate[Електронний ресурс]<https://www.researchgate.net/figure/fig-Figure-10-341508802>(дата звернення: 10.01.2024).
- [11]НЕЙРОКОМП'ЮТЕРНИЙ ІНТЕРФЕЙС[Електронний ресурс]<https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/3399250-20222032-nervi-rozgulalisa-postavimo-nejroprotez.html>(дата звернення: 10.01.2024).
- [12]Класифікація нейронних мереж та їх властивості.[Електронний ресурс]<https://chiefengineer.uф/organizaciya-proizvodstva/biznes-analitika/neyrosetevoj-analiz/>(дата звернення: 10.01.2024).



- [13]Two or More Hidden Layers (Deep) Neural Network Architecture[Електронний ресурс]<https://medium.com/data-science-365/two-or-more-hidden-layers-deep-neural-network-architecture-9824523ab903>(дата звернення: 10.01.2024).
- [14]DLOA (Part-12)-Convolutional Neural Networks (CNNs)[Електронний ресурс].<https://medium.com/ai-genesis/dliao-part-12-convolutional-neural-networks-cnns-3db9e75c889f>(дата звернення: 10.01.2024).
- [15]Метод к найближчих сусідів [Електронний ресурс][medium.com/ai-genesis/dliao-part-12-convolutional-neural-networks-cnns-3db9e75c889f](https://medium.com/ai-genesis/dliao-part-12-convolutional-neural-networks-cnns-3db9e75c889f)(дата звернення: 10.01.2024).
- [16]2d-cnn [Електронний ресурс][medium.com/ai-genesis/dliao-part-12-convolutional-neural-networks-cnns-3db9e75c889f](https://medium.com/ai-genesis/dliao-part-12-convolutional-neural-networks-cnns-3db9e75c889f)(дата звернення: 10.01.2024).
- [17].Epileptic seizure recognition [Електронний ресурс].[atthiashttps://www.kaggle.com/code/mduriez/epileptic-seizure-recognition-matthias](https://www.kaggle.com/code/mduriez/epileptic-seizure-recognition-matthias) (дата звернення: 10.01.2024).
- [18]LucidScribe-ThinkGear-EEG[Електронний ресурс].<https://github.com/lucidcode/LucidScribe-ThinkGear-EEG>(дата звернення: 10.01.2024).
- [19]Dieleman Sander. Recommending music on Spotify with deep learning. — <http://benanne.github.io/2014/08/05/spotify-cnns.html>. — 2014. (дата звернення: 10.01.2024).
- [20]Bergstra James, Breuleux Olivier, Bastien Frederic et al. Theano: a CPU and GPU Math Expression Compiler // Proceedings of the Python for Scientific Computing Conference (SciPy). — 2010. (дата звернення: 10.01.2024).
- [21]Bastien Frederic, Lamblin Pascal, Pascanu Razvan et al. Theano: new features and speed improvements. — Deep Learning and Unsupervised Feature Learning NIPS 2012 Workshop. — 2012. (дата звернення: 10.01.2024).
- [22]Bland J Martin, Kerry Sally M. Weighted comparison of means // BMJ. — 1998. — Vol. 316, no. 7125. — P. 129. (дата звернення: 10.01.2024).

[23]Dolgin Elie. Technology: Dressed to detect//Nature. — 2014.— Vol. 511, no. 7508.—P. 16-17. (дата звернення: 10.01.2024).

[24]Zamora-Martinez Francisco, Almaraz Francisco Javier Munoz, Pardo Juan. Kaggle-epilepsy. — <https://github.com/ESAI-CEU-UCH/kaggle-epilepsy>. —

2014. (дата звернення: 10.01.2024).[25]Monteith Kristine, Carroll James L., Seppi Kevin D., Martinez Tony R. Turning Bayesian model averaging into Bayesian model combination. // IJCNN. - IEEE, 2011. - P. 2657-2663. (дата звернення: 10.01.2024).

[26]Korshunova Iryna, Kopychko Sergii. Detecting epileptic seizures from raw EEG data using convolutional neural networks // System Analysis and Information Technology: 17-th International Conference SAIT- 2015. - 2015. — P. x-x. (дата звернення: 10.01.2024).

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

Лістинг 3.1 – Реалізований алгоритм читання потоку байт

```
input_bytes = serial_obj.read(bytes_to_read)
bytes_iterator = iter(input_bytes)
while values_limit > 0:
    first_byte = next(bytes_iterator)
    second_byte = next(bytes_iterator)
    if first_byte != BYTE_SYNC or second_byte != BYTE_SYNC:
        continue
    packet_length = next(bytes_iterator)
    while packet_length == ByteCodes.SYNC:
        packet_length = next(bytes_iterator)
    if packet_length > ByteCodes.SYNC:
        continue
    packet_data = []
    packet_checksum = 0x00
    while packet_length > 0:
        packet_code = next(bytes_iterator)
        packet_checksum += packet_code
        packet_length -= 1
        if packet_code == ByteCodes.RAW_VALUE:
            row_len = next(bytes_iterator)
            low_byte = next(bytes_iterator)
            high_byte = next(bytes_iterator)
            packet_data.append(_raw_value(low_byte, high_byte))
            packet_checksum += row_len + low_byte + high_byte
            packet_length -= 3
    packet_checksum &= 0xFF
```

```

packet_checksum = ~packet_checksum & 0xFF
received_checksum = next(bytes_iterator)
if received_checksum == packet_checksum:
    result_data.extend(packet_data)
    values_limit -= len(packet_data)

```

### Лістинг 3.2 – Отримання періодограми Уелча

```

def compute_unique_welch_periodogram(data_frame):
    segment_length = (data_frame['Timestamp'].max()
                      * data_frame['Timestamp'].size)
    freq_values, psd_values = signal.welch(
        data_frame['Normalized_Value'],
        data_frame['Timestamp'].size,
        nperseg=segment_length)
    return pd.DataFrame(list(zip(freq_values, psd_values)),
                        columns=['Frequency', 'Power_Spectral_Density'])

```

### Лістинг 3.3 – Використання правила Сімпсона

```

def analyze_frequency_bands(welch_results):
    power_spectral_density = welch_results['PSD']
    frequency_values = welch_results['Frequency']
    bands_info = []
    area_under_curve_values = []
    for band_name, band_range in FREQUENCY_BANDS.items():
        low_limit, high_limit = band_range
        band_mask = (frequency_values >= low_limit) & (frequency_values <
high_limit)

```

```

band_power_spectral_density = power_spectral_density[band_mask]
band_frequencies = frequency_values[band_mask]
auc = 0.0
if not band_power_spectral_density.empty and not
band_frequencies.empty:
    auc=integrate.simpson(band_power_spectral_density,
band_frequencies)
    bands_info.append(band_name)
    area_under_curve_values.append(auc)
total_auc = sum(area_under_curve_values)
normalized_auc_values = np.array(area_under_curve_values) / total_auc
return pd.DataFrame(list(zip(bands_info, normalized_auc_values)),
columns=['Frequency Band', 'Normalized Area Under Curve'])

```

#### Лістинг 3.4 – Типи хвиль мозку з вказаним діапазоном частот

```

BAND-RANGE = {
'Del': (0.05, 3),
'The': (3.05, 8),
'Alp': (8.05, 12),
'Low-B': (12.05, 15),
'Mid-B': (15.05, 18),
'High-B': (18.05, 30),
'Low-Gam': (30.05, 39.75),
'Mid-Gam': (39.80, 49.75),
}

```

## Лістинг 4.1 – фільтрація методом середньоквадратичного відхилення

```

data_mean, data_std = np.mean(data), np.std(data)
cut_off = data_std * 3
lower, upper = data_mean - cut_off, data_mean + cut_off
filtered_data = [x for x in data if lower < x < upper]

```

## Лістинг 4.2 – Прогнозування методом К-найближчих сусідів

```

import pandas as pd
from sklearn.model_selection import KFold
from sklearn.neighbors import KNeighborsClassifier
from sklearn.metrics import accuracy_score
from numpy import mean
# Зчитування даних з CSV-файлу
data = pd.read_csv('eeg_data.csv', header=None)
# Отримання вхідних значень
input_values = data.values
# Ініціалізація списку для збереження точності на кожній ітерації
scores = []
# Ініціалізація об'єкту KFold з параметрами
kfold = KFold(n_splits=10, shuffle=True, random_state=1)
# Цикл по ітераціям KFold
for train_ix, test_ix in kfold.split(input_values):
    # Розділення даних на тренувальний та тестовий набори
    train_x = input_values[train_ix, :-1]
    train_y = input_values[train_ix, -1]
    test_x = input_values[test_ix, :-1]
    test_y = input_values[test_ix, -1]
    # Ініціалізація та навчання моделі k-найближчих сусідів

```

```
model = KNeighborsClassifier(n_neighbors=3)
model.fit(train_x, train_y)
# Прогнозування на тестовому наборі
pred_res = model.predict(test_x)
# Оцінка точності та збереження результату
score = accuracy_score(test_y, pred_res)
scores.append(score)
# Виведення точності для поточної ітерації
print('>%.3f' % score)
# Виведення кінцевої середньої точності
print('Final Score: %.3f' % (mean(scores)))
```



## Додаток Б

Набір даних для навчання[17].

Дані зображені в якості thinkgear-пакетів

Unnamed,X1,X2,X3,X4,X5,X6,X7,X8,X9,X10,X11,X12,X13,X14,X15,X16,X17,X18,,X  
 X59,X60,X61,X62,X63,X64,X65,X66,X67,X68,X69,X70,X71,X72,X73,X74,X75,X76,X  
 2,X113,X114,X115,X116,X117,X118,X119,X120,X121,X122,X123,X124,X125,X126,X  
 X158,X159,X160,X161,X162,X163,X164,X165,X166,X167,X168,X169,X170,X171,X17  
 X21.V1.791,135,190,229,223,192,125,55,-9,-33,-38,-10,35,64,113,152,164,127,50,-47,-1  
 150,-207,-186,-165,-148,-103,-33,40,94,75,8,-81,-155,-227,-262,-233,-218,-187,-126,-65,  
 23,8,42,77,103,135,121,79,59,43,54,90,111,107,64,32,18,-25,-69,-65,-44,-33,-57,-88,-114  
 X15.V1.924,386,382,356,331,320,315,307,272,244,232,237,258,212,2,-267,-605,-850,-10  
 74,-388,-679,-892,-949,-972,-1001,-1006,-949,-847,-668,-432,-153,72,226,326,392,461,4  
 780,-597,-460,-357,-276,-224,-210,-350,-930,-1413,-1716,-1360,-662,-96,243,323,241,29  
 X8.V1.1,-32,-39,-47,-37,-32,-36,-57,-73,-85,-94,-99,-94,-96,-104,-103,-92,-75,-69,-69,-53  
 7,-36,-47,-37,-36,-22,-32,-38,-55,-61,-64,-72,-67,-53,-25,-10,-4,-23,-55,-93,-102,-106,-10  
 107,-126,-124,-108,-84,-68,-61,-56,-63,-62,-33,1,28,45,37,48,62,80,66,23,-11,-39,-44,-42,  
 X16.V1.60,-105,-101,-96,-92,-89,-95,-102,-100,-87,-79,-72,-68,-74,-80,-83,-73,-68,-61,-5  
 64,-68,-67,-69,-63,-60,-63,-55,-43,-37,-27,-31,-35,-47,-58,-63,-74,-73,-67,-60,-56,-49,-46,  
 58,-53,-61,-69,-66,-74,-69,-61,-51,-45,-45,-49,-58,-64,-78,-80,-90,-87,-83,-78,-64,-38,-22,  
 X20.V1.54,-9,-65,-98,-102,-78,-48,-16,0,-21,-59,-90,-103,-84,-43,-9,3,-21,-60,-96,-103,-7  
 13,-16,-31,-52,-60,-40,-16,0,14,24,36,39,34,17,-7,-14,-1,16,27,28,18,-2,-8,9,27,23,21,10,1  
 2,4,18,27,27,14,15,11,10,4,2,-12,-32,-41,-65,-83,-89,-73,5  
 X14.V1.56,55,28,18,16,16,19,25,40,52,66,81,98,111,122,105,85,66,51,34,19,16,8,-5,-21,-  
 7,17,53,82,98,96,86,71,51,32,23,23,30,27,32,33,29,24,23,24,45,74,96,106,105,93,75,47,3  
 2,30,34,28,14,2,-1,-4,-17,-30,-45,-71,-81,-78,-69,-60,-45,-33,-25,-14,-2,3,-5,-18,-39,-61,-7  
 X3.V1.191,-55,-9,52,111,135,129,103,72,37,0,-38,-77,-113,-128,-121,-105,-71,-27,13,44,  
 7,1,6,-2,-13,-11,-13,3,25,49,65,72,79,75,75,75,72,61,43,22,-14,-35,-47,-44,-39,-32,-25,-12  
 20,1,23,50,74,99,125,141,129,95,41,-21,-77,-117,-135,-137,-125,-99,-79,-62,-41,-26,11,6'

X11.V1.273,1,-2,-8,-11,-12,-17,-15,-16,-18,-17,-19,-18,-16,-15,-14,-21,-19,-24,-24,-24,-17,  
103,-105,-103,-104,-97,-99,-99,-101,-96,-91,-78,-64,-48,-36,-23,-15,-14,-17,-18,-15,-14,-1  
61,-58,-59,-55,-53,-65,-78,-87,-97,-100,-106,-104,-107,-110,-110,-109,-104,-118,-111,-10  
X19.V1.874,-278,-246,-215,-191,-177,-167,-157,-139,-118,-92,-63,-39,-11,14,36,60,70,78  
98,-28,29,70,92,102,113,122,129,125,123,118,117,116,116,108,88,62,22,-27,-85,-90,-71,  
149,-120,-87,-45,-3,29,45,52,50,51,59,64,74,79,81,76,65,63,62,65,67,70,63,45,20,-11,-32  
X3.V1.491,8,15,13,3,-6,-8,-5,4,25,41,48,44,34,16,-2,-11,-24,11,33,43,48,42,33,14,-1,-7,-1  
4,7,16,20,12,-4,-12,-1,14,35,45,39,10,-19,-42,-62,-68,-62,-44,-20,-5,10,0,-16,-10,9,27,35,2  
5,-17,-19,-15,-15,-11,4  
X3.V1.6,-5,15,28,28,9,-29,-41,-19,14,30,22,-6,-30,-40,-42,-48,-50,-55,-58,-66,-49,-20,11,  
20,-6,-3,-24,-31,-20,1,18,15,4,-22,-42,-41,-34,-43,-43,-43,-42,-42,-24,-22,-30,-51,-77,-89,  
54,-21,-9,2,11,24,29,16,-8,-36,-51,-38,-4,25,16,-16,-74,-101,-89,-49,5  
X21.V1.724,-167,-230,-280,-315,-338,-369,-405,-392,-298,-140,27,146,211,223,214,187,  
6,106,233,312,423,550,695,816,839,769,661,525,383,292,267,339,451,537,564,534,444,3  
225,-242,-251,-255,-237,-202,-120,19,186,340,441,465,410,288,130,-16,-123,-194,-232,-  
32,140,277,366,408,416,415,423,434,416,374,319,268,215,165,103,1  
X7.V1.162,92,49,0,-32,-51,-65,-37,-19,-25,-29,-52,-62,-85,-107,-97,-69,-46,-37,-48,-59,-5  
95,-103,-94,-79,-62,-59,-59,-52,-58,-49,-70,-59,-53,-55,-54,-63,-43,-24,6,28,48,74,98,92,1  
66,-59,-75,-67,-77,-92,-73,-40,-19,-14,-8,2,39,40,31,20,22,32,25,5,-17,-3,5,24,22,13,3,-11  
X1.V1.211,15,12,0,-17,-28,-31,-39,-51,-44,-35,-20,1,16,24,22,26,27,22,16,14,26,34,37,9,  
8,55,114,136,138,114,74,31,-4,-27,-46,-50,-72,-89,-93,-65,-22,29,86,116,128,107,66,12,-3  
5,9,35,44,45,32,13,-3,-29,-44,-65,-76,-76,-59,-40,-22,0,27,60,100,125,129,121,112,100,83  
X1.V1.615,-24,-15,-5,-1,4,3,6,10,11,7,8,12,10,10,5,-1,-11,-13,-24,-39,-44,-52,-50,-49,-43,  
50,-33,-13,0,14,23,26,26,18,13,6,8,10,16,20,21,18,15,15,9,6,2,2,-5,-13,-25,-36,-33,-32,-31  
19,-20,-16,-7,-10,-13,-19,-13,-15,-13,-13,-4,3,15,19,21,25,29,33,32,35,36,34,32,26,23,18,  
X22.V1.242,-135,-133,-125,-118,-111,-105,-102,-93,-94,-90,-82,-75,-71,-69,-69,-69,-61,-  
8,1,7,22,34,44,53,62,68,66,62,52,46,43,41,43,41,37,34,37,42,47,48,51,57,58,65,73,77,79,  
63,-66,-74,-89,-99,-94,-79,-49,-18,10,38,58,74,80,77,76,61,40,23,7,-14,-37,-59,-71,-81,-8  
X1.V1.863,39,41,41,42,43,43,46,47,49,50,52,52,53,59,58,63,62,64,59,57,55,50,50,50,44,4  
1,5,11,13,22,26,28,28,25,28,30,36,43,47,49,54,62,61,60,59,59,55,52,45,44,44,48,49,44,42

7,3,12,23,34,45,60,66,75,79,78,76,77,85,86,86,83,77,69,63,57,54,50,48,49,47,48,47,42,42

X9.V1.302,9,4,-5,-10,-22,-30,-33,-43,-41,-40,-42,-46,-47,-52,-50,-51,-43,-34,-23,-6,4,10,1

32,-16,-4,2,14,26,41,46,57,62,69,67,58,46,27,9,-8,-29,-42,-55,-64,-73,-68,-63,-57,-48,-36,

8,2,10,18,28,27,28,28,34,27,22,18,15,13,9,9,3,3

X7.V1.541,-21,-5,1,7,19,20,13,2,-1,-3,-3,-14,-18,-21,-2,17,39,56,65,58,31,19,7,-1,-2,6,20,

9,2,23,41,42,30,27,18,2,-1,12,34,55,80,89,87,77,57,19,-30,-73,-103,-107,-91,-64,-36,-2,31

4,8,27,40,54,54,43,28,25,19,30,35,26,5,-13,4

X9.V1.915,4,24,51,76,92,102,104,101,90,80,53,32,9,5,17,42,72,94,103,106,107,106,93,8,

96,-97,-96,-92,-85,-65,-43,-16,0,5,9,14,13,19,11,20,19,22,24,23,20,15,11,11,16,22,31,37,4

30,-30,-31,-32,-44,-48,-59,-62,-62,-47,-29,-13,4,5,13,13,14,17,11,7,2,3,5,10,19,31,36,40,4

X23.V1.964,410,451,491,541,581,641,736,757,692,435,61,-387,-823,-1107,-1188,-1110,-

128,-58,16,86,140,189,229,264,285,306,315,331,342,372,419,475,524,574,637,707,695,5

1027,-1141,-1093,-935,-743,-548,-393,-282,-203,-125,-48,37,112,178,236,286,336,381,42

26,39,119,181,237,278,315,342,366,385,399,409,415,428,463,510,562,607,667,748,763,1

X1.V1.614,-24,-27,-23,-28,-34,-40,-47,-43,-38,-23,-1,7,18,7,11,-1,-18,-22,-21,-2,15,35,34

37,-37,-68,-75,-88,-100,-101,-101,-99,-78,-63,-38,-21,-23,-11,-14,-6,-1,-10,-28,-44,-44,-49

11,8,22,36,59,73,80,60,40,10,0,-7,-16,-19,-25,-22,-34,-44,-74,-86,-103,-108,-92,-81,-51,-3

X11.V1.134,-264,-189,-117,-45,20,70,111,143,161,179,194,200,193,164,128,92,67,57,38

18,-17,-15,-11,-12,-10,-15,-15,-15,-15,-28,-42,-64,-81,-91,-88,-83,-70,-66,-57,-55,-52,-41,

158,-121,-80,-94,-135,-179,-191,-170,-132,-91,-49,-19,7,26,41,48,50,51,42,44,43,46,52,5

X18.V1.544,-4,40,78,123,149,185,197,189,167,141,129,140,167,183,182,154,124,102,85

165,-229,-265,-280,-279,-259,-227,-186,-135,-78,-31,10,45,66,61,58,44,50,71,103,127,11

190,-263,-306,-322,-311,-291,-253,-210,-151,-87,-35,6,38,58,79,68,38,3,-8,14,54,61,45,7,

X19.V1.294,593,328,88,-106,-456,-732,-921,-782,-522,-248,-68,89,221,342,336,219,82,-

73,35,73,66,24,-19,-44,-48,-52,-48,-19,33,94,148,184,206,215,233,228,231,233,226,239,2

308,-272,-247,-251,-249,-239,-225,-222,-237,-269,-287,-259,-202,-51,258,610,993,1096,1

71,1

X21.V1.802,-16,-15,-19,-16,-14,-5,0,-1,-3,-5,-7,-6,-6,4,15,16,25,32,32,33,33,34,30,19,18,

5,7,12,18,18,20,24,30,36,39,39,39,39,34,39,45,49,52,53,53,48,53,54,54,50,51,51,43,49,42

6,62,54,53,53,50,57,54,3

X2.V1.72,-20,-38,-53,-58,-66,-66,-69,-77,-87,-84,-82,-72,-58,-47,-50,-65,-81,-98,-105,-108,-28,-40,-27,-12,-1,-4,-22,-38,-57,-57,-43,-31,-28,-37,-38,-54,-59,-58,-63,-68,-70,-63,-653,-46,-33,-19,-21,-24,-30,-38,-39,-39,-25,-25,-22,-24,-23,-27,-29,-33,-39,-46,-49,-48,-45,  
 X3.V1.744,-340,-381,-376,-336,-275,-204,-131,-70,-16,20,46,60,68,76,80,85,87,88,86,77,248,-189,-130,-77,-24,15,48,65,78,84,94,104,114,117,100,88,122,196,293,347,330,216,4911,44,92,127,145,149,143,135,131,128,122,139,184,251,299,302,230,48,-139,-336,-451,-  
 X12.V1.733,-30,15,61,80,72,41,-11,-31,-47,-63,-53,-48,-41,-49,-51,-48,-47,-52,-57,-60,-893,-93,-124,-130,-143,-144,-141,-151,-122,-73,-29,-12,-8,5,43,62,109,130,146,152,128,1024,1,43,65,80,92,111,90,57,15,-13,-16,-17,-7,-13,-21,-13,-10,4,14,38,32,22,21,9,-9,-21,-11  
 X8.V1.614,-1,18,35,36,29,17,10,1,-3,-2,8,22,33,24,15,9,3,-14,-17,-9,4,21,44,64,84,81,78,66,-55,-48,-54,-56,-65,-42,-35,-29,-38,-44,-58,-57,-61,-72,-69,-55,-55,-62,-75,-70,-66,-64,15,-6,-18,-13,-18,-22,-19,-18,-6,-4,2  
 X20.V1.374,-31,-10,5,9,9,2,-13,-42,-77,-97,-109,-101,-86,-59,-15,22,46,67,82,135,174,2128,130,221,279,266,250,202,162,112,75,45,22,16,14,3,5,0,2,1,-5,-23,-38,-54,-68,-81,-93,-55,-46,-35,-31,-20,-1,-2,1,8,17,22,35,42,54,66,75,82,88,100,111,139,185,252,288,276,214  
 X2.V1.514,-44,-46,-47,-47,-43,-43,-43,-46,-42,-41,-39,-30,-21,-21,-19,-14,-13,-13,-16,-2321,-31,-43,-50,-54,-52,-56,-49,-47,-47,-46,-40,-39,-37,-34,-36,-47,-54,-60,-65,-74,-78,-83,101,-93,-87,-79,-73,-63,-53,-40,-29,-23,-18,-9,-1,-1,-7,-8,-15,-21,-32,-41,-54,-67,-74,-77,-  
 X8.V1.451,-73,-67,-57,-48,-36,-35,-21,-9,0,5,17,30,37,35,20,-10,-54,-81,-90,-80,-57,-28,-10,8,22,29,35,46,63,81,107,121,112,87,54,22,-3,-8,-8,-4,10,25,33,31,40,44,50,49,48,37,2027,6,35,60,59,50,36,27,18,5,6,3,4,3,2,-4,-13,-23,4  
 X18.V1.40,-25,-29,-15,-9,2,8,-1,-16,-10,8,45,63,61,37,26,21,29,32,33,27,4,1,16,30,34,39,35,-22,-5,17,31,38,60,89,98,102,83,61,17,-13,-58,-54,-42,-16,-3,-18,-6,7,18,48,57,71,62,524,-21,-28,-25,-3,21,24,14,4,3,-17,-40,-64,-78,-84,-81,-74,-57,-52,-49,-67,-59,5  
 X5.V1.8,7,-2,-19,-34,-32,-21,-27,-24,-31,-38,-44,-40,-34,-29,-22,-34,-43,-48,-36,-26,-36,-23,4,14,28,24,14,9,14,15,14,13,9,9,24,34,33,25,19,16,12,21,21,27,27,21,7,6,11,18,21,35,413,-26,-38,-33,-17,8,15,21,5,1,5,19,35,40,45,50,55,45,47,47,60,75,77,70,61,54,46,32,29,2  
 X10.V1.492,90,60,56,50,-6,-30,-48,-48,-19,9,23,22,6,-40,-33,-87,-101,-115,-109,-71,-75,-69,-45,-67,-82,-144,-134,-106,-91,-71,-51,24,109,138,129,93,32,10,-30,-52,-75,-57,-85,-736,15,71,104,111,88,81,81,85,89,136,142,158,152,124,114,98,68,84,121,157,204,209,259

X5.V1.741,112,116,80,31,20,24,26,41,43,16,-13,-1,11,30,69,95,98,94,89,61,29,33,51,45,3  
13,-25,-12,9,11,15,39,44,42,56,50,22,10,21,2,-6,-13,-28,-41,-17,15,27,25,20,7,2,30,67,65,  
11,-23,-19,-23,-15,14,35,41,36,29,17,15,4

X5.V1.202,-139,-140,-134,-134,-130,-119,-108,-103,-96,-84,-79,-73,-61,-53,-43,-26,-9,3,9  
4,6,7,10,6,8,7,8,2,-10,-10,-26,-31,-33,-38,-47,-56,-53,-43,-29,-11,-2,8,19,22,25,22,28,38,4  
29,-29,-32,-26,-27,-21,-19,-16,-15,-9,-2,2,6,12,13,7,-1,-21,-39,3

X23.V1.74,-72,-68,-61,-53,-36,-22,-4,18,40,40,27,11,-1,-6,-8,-6,-10,2,18,20,9,-2,-6,-7,-8,-  
7,-25,-37,-44,-48,-30,-7,18,41,60,71,64,55,46,42,50,54,47,33,35,39,48,60,67,68,54,40,23,  
15,12,33,48,47,36,19,16,31,56,69,75,67,66,76,93,88,65,56,58,63,48,29,3,-17,-14,-21,-29,-

X23.V1.332,36,33,30,25,17,6,2,-1,-4,-5,0,0,-3,-15,-28,-40,-53,-52,-48,-47,-46,-51,-49,-44,  
1,14,22,32,35,38,45,51,61,63,68,64,60,58,66,76,77,79,75,71,68,70,69,65,63,61,73,81,88,8  
84,-74,-67,-54,-34,-12,10,23,29,27,22,18,9,-3,-10,-15,-23,-28,-36,-46,-48,-41,-34,-38,-39,-

X15.V1.80,-103,-101,-72,-36,16,63,78,57,17,-31,-69,-92,-96,-90,-79,-66,-55,-55,-55,-40,-  
8,3,20,27,19,15,16,15,5,-4,-16,-27,-21,-17,-8,1,15,33,39,56,54,54,42,38,29,16,23,26,28,32  
11,6,30,50,67,58,37,24,14,8,-1,-1,-5,0,10,18,22,21,18,9,15,40,69,101,5

X11.V1.123,56,50,44,40,29,17,7,4,1,2,4,-1,2,6,15,18,23,21,13,9,15,18,21,20,12,9,7,12,9,1  
26,-22,-21,-22,-24,-24,-25,-17,-12,-5,3,5,4,0,1,-3,2,1,-3,-10,-13,-10,-15,-14,-9,-4,3,4,13,17

X18.V1.916,512,351,-90,-534,-944,-1002,-795,-292,286,830,1096,814,208,-458,-850,-73  
2,324,340,197,-119,-450,-613,-512,-256,-8,192,324,357,291,214,147,110,82,57,70,118,15  
315,211,601,815,823,810,685,444,96,-274,-373,-347,-95,227,419,346,23,-286,-470,-382,-  
747,16,422,622,610,371,-99,-652,-1089,1

X2.V1.401,20,86,130,146,135,108,59,9,-43,-106,-176,-216,-204,-145,-52,42,118,139,135  
3,40,49,36,14,-10,-43,-74,-101,-115,-119,-105,-73,-33,3,-4,-10,-15,8,19,12,-14,-42,-50,-52  
5,0,2,3,7,12,18,41,63,70,61,39,9,-25,-51,-71,-80,-56,-24,13,44,65,82,74,67,44,26,0,-20,-52

X22.V1.572,-65,-71,-68,-67,-62,-53,-45,-38,-37,-24,-19,-14,-9,-6,-9,-14,-16,-24,-36,-43,-3  
49,-47,-52,-55,-53,-57,-54,-55,-54,-52,-55,-49,-49,-43,-42,-44,-52,-55,-51,-41,-36,-24,-20,  
14,-19,-22,-21,-19,-17,-18,-17,-23,-24,-20,-23,-25,-30,-31,-36,-36,-37,-34,-25,-19,-1,-3,-1

X23.V1.423,49,29,8,-21,-40,-69,-78,-82,-79,-77,-73,-74,-52,-24,14,51,79,87,80,78,81,77,7  
23,6,29,25,23,29,38,57,81,85,83,87,60,46,26,9,13,5,3,3,7,4,26,40,54,63,70,64,74,91,102,1  
11,7,37,80,115,152,172,166,144,114,100,68,46,2,-8,-26,-25,-5,-4,11,17,34,45,57,80,79,85

X23.V1.281,15,14,1,-14,-21,-20,-8,11,23,32,21,9,-15,-33,-34,-33,-30,-35,-33,-34,-21,-6,-4  
121,-137,-144,-138,-111,-56,-7,33,63,73,65,51,40,25,18,26,24,9,-6,-25,-35,-27,-14,4,25,5  
15,5,41,82,116,131,117,76,33,13,-5,-2,-7,-7,-12,5,29,49,53,56,49,32,27,4

X13.V1.623,-60,-62,-64,-57,-56,-55,-56,-55,-49,-41,-34,-28,-24,-15,-13,-13,-17,-13,-16,-2  
10,1,13,19,19,20,16,14,11,7,4,2,-10,-23,-22,-21,-14,-9,-3,-2,-3,3,5,15,14,15,14,21,26,26,2  
16,-21,-20,-19,-15,-13,-11,-10,-5,-7,-9,-17,-26,-31,-42,-43,-45,-44,-42,-30,-19,-15,-11,-8,2

X4.V1.87,18,19,39,40,28,3,-13,-17,-9,1,5,1,-5,-33,-33,-31,-30,-18,-17,-9,13,3,-11,-47,-58,  
31,8,47,82,76,68,44,21,6,-2,9,-5,-14,-36,-52,-57,-38,-7,32,52,44,15,9,15,26,18,8,18,21,41,  
127,-132,-107,-61,-31,-8,-9,-16,-24,-19,-29,-22,-10,3,-9,-30,5

X22.V1.462,29,50,35,1,-34,-65,-53,-28,4,51,86,126,136,144,120,93,60,34,14,5,10,33,47,8  
14,2,25,52,68,47,34,43,46,56,54,41,28,14,5,14,21,38,49,47,39,27,29,41,59,60,44,24,4,-3,-  
16,3,27,45,60,64,62,68,67,59,48,29,16,4,-17,-32,-50,-50,-34,-16,3,21,33,37,44,30,25,14,-1

X4.V1.14,1,7,8,-2,-3,-10,-9,-3,-5,-10,-18,-14,-2,4,6,15,10,-6,-20,-38,-39,-27,-3,15,24,11,-7  
21,4,32,60,78,71,57,39,39,36,29,21,10,0,-4,-1,-2,-1,6,-5,-11,-13,-1,4,15,18,9,-5,-24,-27,-3  
42,-35,-22,-6,-11,-12,-16,-18,-32,-49,-49,-50,-35,-9,12,18,17,6,-15,-30,-32,-20,-10,3,-1,-10

X10.V1.913,16,25,-25,-47,-81,-83,-67,-39,-29,-23,-33,-47,-38,-81,-99,-106,-106,-75,-73,-  
121,-109,-96,-98,-115,-156,-158,-124,-98,-81,-72,-22,44,67,57,27,-4,-13,-53,-85,-105,-95,  
7,33,65,76,74,64,59,54,54,85,86,107,102,83,64,33,5,20,53,83,131,131,170,183,185,193,1  
26,16,23,3

X8.V14,-605,-395,-117,125,259,318,372,427,462,485,508,540,555,555,542,526,519,509,  
263,180,387,516,552,519,438,311,32,-277,-576,-654,-504,-319,-174,-144,-136,-143,-151,  
307,111,339,393,320,226,160,89,51,49,92,179,284,396,495,558,585,583,569,553,549,558  
22,14,69,134,183,218,226,216,195,169,152,148,156,180,210,242,270,291,306,319,326,33

X17.V1.882,3,8,8,8,4,-5,-9,-20,-30,-36,-41,-38,-38,-29,-23,-19,-19,-13,-14,-12,-8,-6,-6,-13  
11,5,26,45,59,79,88,95,98,103,101,96,87,71,63,56,50,46,44,39,32,22,21,17,16,19,19,20,2  
64,-69,-74,-77,-77,-75,-76,-77,-78,-82,-85,-84,-81,-85,-82,-78,-80,-80,-80,-79,-86,-94,-101  
141,-139,-135,-128,-121,-111,-101,-89,-85,3

X6.V1.152,1,-1,-8,-14,-19,-26,-34,-33,-27,-19,-18,-6,-10,-7,-2,7,13,22,30,34,37,33,45,44,5  
1,7,14,16,18,20,25,25,26,29,34,33,34,40,42,50,57,56,54,50,44,38,31,34,32,29,29,41,45,48  
19,-11,-4,-3,4,11,13,21,20,32,30,32,33,36,45,61,81,101,113,125,103,69,3

X15.V1.17,51,81,102,97,63,21,1,-13,-5,-8,-20,-44,-54,-17,16,62,91,104,102,103,88,60,21  
11,25,32,41,50,66,78,90,98,95,63,49,45,68,72,72,57,63,87,104,102,87,86,78,77,81,77,62,  
57,62,50,35,17,1,0,20,45,58,62,38,19,27,62,97,103,95,71,43,17,8,-2,1,27,56,73,75,69,58,5  
X2.V1.842,-1,-7,-29,-36,-34,-28,-42,-75,-102,-103,-93,-98,-92,-90,-84,-73,-56,-39,-19,-7,  
87,-73,-41,-7,-7,-21,-38,-50,-75,-73,-84,-87,-67,-49,-28,-31,-43,-52,-56,-59,-46,-37,-15,-2,  
5,16,30,30,28,30,20,6,-5,-10,-26,-45,-56,-57,-58,-69,-73,-71,-37,19,41,38,5,-8,-17,3  
X11.V1.21,35,24,13,14,20,40,59,66,52,34,21,0,-13,-22,-30,-39,-40,-43,-39,-41,-33,-27,-2  
6,9,32,38,47,49,51,47,40,24,5,-5,-11,-10,-7,-6,-7,-13,-9,-9,-8,-7,-1,6,14,26,30,29,29,31,35  
14,0,4,5  
X21.V1.134,143,134,124,112,94,65,25,-12,-48,-73,-98,-103,-101,-87,-70,-39,-4,34,67,85,  
511,-541,-427,-298,-261,-313,-396,-442,-421,-392,-348,-291,-203,-123,-88,-111,-196,-23  
26,2,23,30,27,28,27,27,24,33,52,80,110,133,148,151,145,130,104,72,38,1,-31,-55,-64,-67  
X15.V1.892,36,37,30,18,6,-5,-18,-21,-14,-5,-11,-18,-28,-35,-31,-26,-22,-24,-25,-31,-36,-4  
3,10,22,37,45,52,50,44,32,18,-2,-8,-20,-39,-41,-38,-31,-25,-22,-20,-20,-30,-32,-35,-30,-23  
3,-11,-10,-6,-2,1,16,21,18,11,-10,-31,-45,-52,-61,-64,-61,-56,-46,-41,-31,-32,-34,3  
X10.V1.342,-88,-95,-98,-100,-104,-110,-114,-125,-121,-116,-105,-101,-91,-79,-71,-59,-52  
12,-18,-23,-25,-35,-43,-61,-79,-86,-99,-105,-108,-110,-113,-111,-101,-86,-74,-70,-70,-72,  
53,-56,-53,-55,-53,-53,-41,-36,-24,-15,-3,13,22,28,29,29,26,21,15,7,1,-10,-12,-11,-8,-6,-3,  
X17.V1.862,49,43,42,36,32,28,22,12,2,-5,-13,-9,1,15,25,33,39,40,40,37,30,17,2,-5,-8,-  
6,2,10,12,18,22,25,25,31,38,48,58,64,67,73,80,89,92,94,92,91,92,99,102,97,92,85,82,77,7  
9,2,1,-1,-1,-2,-1,-7,-11,-12,-18,-21,-24,-31,-35,-41,-40,-42,-41,-42,-47,-56,-63,-62,-60,-52,  
X10.V1.851,-36,-66,-80,-85,-93,-72,-49,-47,-8,25,39,19,-3,-36,-57,-56,-24,6,8,13,39,25,7,  
152,-113,-49,21,75,95,91,38,-12,-36,-74,-91,-102,-87,-68,-43,-7,25,32,32,10,-34,-60,-76,-  
91,-93,-114,-145,-137,-111,-93,-53,-53,-85,-120,-134,-152,-177,-186,-155,-132,-111,-82,-  
X3.V1.14,35,21,26,21,6,-3,-15,-14,0,16,25,27,30,22,16,12,15,28,33,31,22,7,6,6,16,18,15,  
12,6,29,31,30,21,28,22,29,38,39,38,30,30,8,0,-14,-27,-39,-51,-41,-42,-42,-45,-51,-57,-64,  
6,4,17,19,16,10,4,1,4,1,5  
X20.V1.37,-80,-92,-94,-89,-72,-70,-82,-104,-115,-105,-73,-46,-33,-42,-46,-64,-86,-98,-95  
45,-58,-79,-96,-107,-99,-107,-102,-111,-121,-120,-116,-104,-98,-86,-92,-98,-107,-96,-94,-  
80,-60,-45,-53,-76,-80,-77,-61,-66,-70,-93,-107,-95,-81,-56,-47,-40,-37,-51,-55,-56,-58,-50

X20.V1.874,-3,34,65,82,95,91,90,90,93,114,140,179,211,218,195,139,66,-31,-115,-193,-2  
2,38,68,90,101,106,104,85,61,33,19,18,20,21,0,-51,-118,-184,-236,-282,-313,-344,-355,-3  
91,1,94,162,211,238,251,256,245,216,171,127,80,25,-41,-118,-167,-198,-200,-178,-141,-  
X22.V1.901,22,-15,-53,-81,-84,-70,-48,-22,-6,10,17,15,5,-3,5,6,3,-8,-29,-49,-45,-25,1,16,  
15,21,63,83,79,59,38,15,16,9,1,-31,-49,-56,-40,-5,38,72,86,75,39,7,0,17,35,44,52,45,37,3  
17,7,35,58,65,58,50,39,45,41,24,-4,-38,-56,-55,-31,-16,-16,-23,-19,4  
X7.V1.603,-4,-17,-30,-35,-34,-30,-21,-15,-8,-7,-9,-8,-4,3,15,19,23,20,18,22,28,34,31,34,2  
23,-20,-12,-3,-1,14,17,19,20,24,23,24,27,19,15,8,16,8,14,18,36,45,47,22,-10,-33,-32,-22,-  
252,-259,-269,-277,-281,-282,-276,-270,-265,-261,-253,-245,-232,-218,-202,-187,-174,-1  
X10.V1.524,-225,-248,-260,-261,-256,-245,-232,-227,-232,-249,-270,-293,-305,-304,-300  
108,-101,-101,-93,-91,-90,-90,-87,-81,-73,-61,-49,-85,-93,121,462,738,835,727,508,377,2  
223,-206,-151,-86,-35,13,43,67,85,99,106,107,103,96,88,78,76,67,59,47,37,22,6,-13,-42,-  
X6.V1.882,-274,-280,-282,-279,-266,-256,-242,-238,-235,-229,-225,-219,-211,-198,-176,  
1,23,39,57,73,90,99,107,109,104,98,95,87,78,73,69,68,70,76,75,78,82,85,87,89,92,94,97,  
19,-27,-26,-27,-25,-25,-22,-23,-20,-25,-35,-49,-54,-66,-76,-82,-85,-84,-83,-80,-80,-81,-79,  
X11.V1.181,-37,-47,-79,-138,-209,-252,-254,-223,-173,-112,-60,-33,-23,-24,-14,0,20,20,2  
10,9,29,47,75,113,149,155,106,21,-71,-135,-165,-160,-141,-122,-109,-102,-96,-87,-62,-27  
54,-79,-93,-96,-87,-78,-70,-62,-61,-68,-93,-106,-117,-114,-97,-71,-41,-22,1,1,-17,-45,-61,  
X13.V1.762,-113,-97,-102,-81,-86,-93,-108,-135,-135,-154,-173,-161,-155,-120,-101,-84,  
25,-3,-15,-32,-59,-101,-83,-75,-40,-27,-49,-52,-86,-76,-53,-41,-32,-72,-93,-106,-93,-87,-77  
125,-105,-104,-84,-80,-113,-144,-171,-188,-146,-125,-78,-70,-60,-71,-77,-60,-59,-28,-3,20  
X20.V1.811,70,95,83,72,46,-2,-29,-9,-13,-5,24,41,15,8,16,4,2,30,43,24,3,-4,-41,-64,-37,-1  
12,-54,-46,8,50,82,108,88,34,-9,-21,-34,-8,49,91,89,86,79,31,-19,-44,-75,-101,-60,0,19,29  
95,-62,-27,-8,29,61,40,17,2,-18,-32,-6,22,14,18,28,30,15,21,32,34,46,60,4  
X11.V1.210,-70,-53,-30,-19,-29,-53,-66,-79,-73,-65,-62,-66,-65,-52,-37,-29,-22,-17,-12,-7  
9,13,45,62,50,38,53,78,113,130,116,76,33,-5,-48,-48,-22,24,41,41,39,43,54,67,87,95,94,5  
49,-81,-108,-112,-80,-19,23,36,29,16,-5,-30,-53,-56,-60,-69,-101,-152,-190,-227,-244,-25  
X2.V1.813,31,21,23,23,35,35,8,-5,-13,-6,-5,-5,-2,9,13,24,36,42,56,61,57,46,35,24,8,3,3,1,  
1,5,12,23,36,43,48,56,54,55,47,55,47,33,15,7,5,11,14,22,23,27,26,27,21,14,11,13,21,33,3  
16,0,1,1,14,28,48,46,47,51,70,85,86,78,71,67,53,37,32,31,32,27,22,11,17,26,43,53,67,65,



X3.V1.652,31,32,29,29,21,11,-2,-10,-22,-33,-40,-53,-67,-81,-97,-107,-116,-118,-123,-122  
1,10,22,36,49,53,53,38,29,18,12,15,17,23,22,20,18,15,21,29,31,36,42,48,64,79,91,92,95,9  
76,-68,-65,-58,-57,-51,-43,-30,-19,-3,9,14,11,8,9,3,-1,-9,-17,-30,-46,-57,-67,-77,-73,-72,3  
X20.V1.101,-206,-149,-83,-14,67,135,186,203,178,112,18,-86,-159,-216,-238,-221,-172,  
216,-203,-162,-100,-37,14,48,77,118,165,186,167,135,93,53,10,-30,-61,-58,-26,29,94,146  
60,14,90,146,167,145,87,8,-68,-139,-168,-158,-128,-90,-39,29,100,164,184,165,100,26,-3  
X21.V1.681,-69,-23,32,59,91,107,65,-1,-46,-74,-102,-84,-29,40,96,139,140,100,35,-23,-8  
51,-63,-56,-38,-1,65,105,108,103,89,55,18,18,16,8,11,10,-2,9,52,53,18,-6,-3,3,-1,16,31,29  
1,38,58,77,101,77,22,-19,-28,-32,-1,64,120,142,4  
X12.V1.951,-17,22,61,115,171,205,184,100,-12,-107,-168,-187,-172,-142,-108,-61,-7,42,  
58,-74,-97,-120,-133,-117,-78,-45,-36,-41,-51,-58,-58,-49,-44,-57,-59,-62,-62,-57,-50,-51,  
141,-93,-45,-2,5,-2,-13,-2,0,-20,-59,-113,-142,-142,-120,-94,-74,-46,-16,4,7,-14,-54,-90,-9  
X15.V1.281,-12,0,-12,-21,-22,-25,-29,-37,-47,-53,-34,-6,17,37,45,40,21,4,-22,-45,-47,-35,  
5,1,-4,-14,-18,-16,-13,-21,-30,-35,-39,-39,-45,-53,-56,-51,-56,-52,-30,-7,16,32,56,64,67,64  
45,-37,-20,9,19,22,25,21,12,7,18,30,56,72,4  
X3.V1.751,-38,-93,-128,-135,-115,-106,-85,-37,-7,32,41,32,1,-21,-44,-66,-94,-121,-124,-1  
81,-134,-152,-143,-121,-85,-66,-20,-9,4,-6,-43,-72,-74,-80,-60,-53,-22,-13,-21,-19,-28,-37  
146,-153,-120,-100,-73,-71,-95,-109,-104,-73,-52,-42,-35,-47,-53,-17,27,48,62,83,72,16,-5  
X19.V1.744,-354,-331,-293,-257,-229,-209,-194,-180,-161,-143,-116,-85,-48,-13,30,77,1  
261,-223,-162,-91,-27,20,49,66,78,87,94,95,92,90,90,89,88,84,78,58,19,-55,-129,-140,-97  
142,-125,-98,-72,-45,-21,-12,-4,-2,5,13,25,37,42,42,36,31,31,35,44,50,50,49,30,0,-23,-22,  
X1.V1.104,142,262,382,451,452,435,544,562,462,182,-132,-290,-329,-290,-246,-226,-22  
220,-168,-119,-73,-31,21,60,124,287,789,1168,1325,909,203,-314,-577,-624,-597,-586,-5  
112,-114,-99,-78,-59,-19,41,105,132,130,110,86,83,109,156,199,287,531,1036,1328,1375  
406,-340,-241,-145,1  
X16.V1.515,-13,-21,-26,-29,-43,-51,-52,-52,-51,-49,-43,-40,-39,-33,-25,-19,-16,-7,-1,3,4,7  
18,-12,-9,-12,-12,-15,-15,-11,-14,-13,-17,-22,-28,-35,-45,-53,-57,-55,-54,-46,-47,-44,-47,-5  
27,-24,-21,-21,-14,-11,-11,-13,-19,-16,-15,-15,-10,-16,-20,-23,-25,-29,-34,-33,-36,-34,-30,  
X11.V1.203,-3,-29,-50,-64,-87,-99,-119,-131,-140,-130,-123,-139,-169,-207,-229,-224,-2  
74,-69,-72,-99,-103,-102,-71,-27,14,49,69,96,114,128,143,145,146,140,140,129,-93,-254,

3,325,550,573,377,153,64,74,102,129,168,202,229,250,264,287,313,338,347,361,367,358  
0,19,18,24,32,46,74,91,119,144,157,149,123,91,48,2  
X2.V1.84,-20,-42,-59,-35,-3,53,75,72,46,28,30,29,15,22,24,25,16,29,33,56,75,77,66,48,50  
2,32,58,91,115,117,131,127,140,158,165,165,150,139,135,109,97,62,32,9,6,-27,-16,0,26,5  
70,-94,-123,-130,-125,-91,-70,-44,-36,-34,-22,-18,-9,-30,-49,-51,-48,-29,11,46,59,53,48,4  
X23.V1.217,-1,-7,-11,-16,-14,-7,-4,-3,-3,0,-2,5,16,23,23,22,19,8,3,-6,-13,-24,-33,-45,-59,-  
54,3,53,84,93,103,105,101,94,87,91,95,105,110,108,100,94,89,80,75,69,65,54,47,41,36,3  
40,30,86,109,120,123,114,110,101,92,83,86,85,78,69,64,60,55,55,52,49,50,51,53,52,58,5  
X3.V1.710,35,51,60,83,89,97,99,95,77,67,55,45,49,67,91,104,109,111,100,84,65,53,40,4  
,59,51,46,54,55,45,35,28,33,38,60,67,60,39,22,13,11,19,17,8,2,7,18,28,42,37,28,22,44,70  
6,-12,0,19,41,54,55,56,60,75,80,80,88,82,4  
X19.V1.752,-116,-111,-110,-113,-98,-94,-91,-90,-85,-86,-85,-74,-54,-27,-23,-25,-28,-26,-  
21,-14,-15,-18,-9,-10,-14,-20,-26,-24,-25,-26,-38,-53,-57,-57,-67,-74,-79,-84,-75,-80,-82,-  
133,-115,-104,-87,-77,-78,-72,-72,-56,-39,-17,-2,6,3,0,-2,4,1,-10,-14,-5,2,11,18,23,16,17,1  
X18.V1.521,-127,-129,-131,-118,-93,-71,-48,-21,3,27,48,56,37,1,-40,-78,-101,-102,-81,-6  
142,-145,-145,-148,-134,-104,-65,-24,10,39,51,57,54,28,-20,-77,-123,-157,-169,-165,-152  
91,-105,-120,-126,-128,-125,-118,-103,-80,-60,-31,-17,-3,-7,-14,-39,-70,-86,-85,-73,-71,-7  
X11.V1.553,-10,-6,-8,-2,10,17,20,14,7,-5,-12,-20,-27,-38,-39,-35,-27,-17,-5,9,17,22,18,11  
38,-32,-32,-36,-32,-24,-10,-6,3,9,7,9,10,7,4,7,6,6,2,3,-1,-1,3,0,-3,-11,-8,-8,-6,2,2,2,3,2,1,-1  
32,-24,-21,-8,2  
X8.V1.231,-108,-109,-103,-93,-72,-54,-30,-11,-10,-11,-10,-8,-14,-16,-24,-37,-45,-53,-62,-  
19,38,71,88,91,70,32,-22,-79,-139,-174,-185,-174,-150,-110,-59,-1,63,124,160,148,105,34  
20,-5,16,35,38,11,-46,-112,-168,-201,-210,-187,-143,-93,-37,3,21,16,19,34,61,85,94,68,14  
X15.V1.772,-89,-108,-120,-123,-127,-127,-121,-102,-88,-80,-66,-63,-55,-39,-27,-11,-8,0,-  
38,-65,-89,-112,-97,-106,-99,-102,-114,-124,-150,-120,-133,-108,-133,-152,-202,-220,-21  
22,0,11,26,50,74,93,125,124,117,117,101,135,158,198,207,209,187,157,137,115,98,99,78  
X12.V1.78,-66,-54,-23,-8,4,20,19,16,-4,-20,-42,-52,-59,-64,-78,-96,-105,-98,-63,-16,8,4,-  
7,0,13,26,6,-19,-46,-52,-35,0,11,12,1,4,3,7,-1,-9,-19,-13,-17,-41,-55,-56,-31,-1,14,25,-3,-1  
5,43,65,71,63,45,32,27,26,19,-8,-43,-43,-35,0,36,50,53,46,27,7,5  
X18.V1.803,43,58,59,52,45,38,37,31,32,29,29,32,40,47,51,58,57,62,67,66,58,50,50,52,57

8,3,12,30,43,52,53,47,44,33,34,38,49,49,45,39,29,22,17,13,5,-2,-10,-14,-15,-17,-22,-28,-29,  
2,1,5,4,12,18,25,31,26,28,26,25,24,26,20,15,15,17,19,14,7,0,2,8,14,24,22,20,16,2  
X20.V1.212,-40,-42,-45,-44,-39,-38,-44,-62,-89,-124,-147,-154,-144,-125,-102,-72,-46,-19,  
9,0,-1,-3,-18,-17,-27,-26,-27,-30,-25,-37,-40,-35,-22,-16,-15,-6,1,7,5,6,2,3,-3,-4,-11,-2,-6,6  
6,5,15,19,27,31,32,26,24,25,27,26,31,43,48,3  
X17.V1.791,-10,-66,-85,-72,-24,32,116,189,207,195,151,78,19,-37,-101,-141,-169,-153,-190,  
190,-207,-205,-180,-113,-13,72,120,117,57,-3,-54,-126,-217,-226,-205,-170,-120,-67,-21,  
102,-86,-96,-112,-133,-157,-182,-196,-215,-210,-169,-150,-175,-187,-188,-153,-125,-95,-  
X6.V1.422,-19,-21,-12,-21,-35,-63,-85,-99,-101,-95,-82,-61,-36,-32,-31,-66,-73,-78,-67,-7  
17,6,24,52,61,69,62,51,49,42,44,53,54,42,25,6,-22,-46,-46,-26,-11,16,35,63,75,81,55,27,7  
11,-43,-65,-82,-71,-54,-48,-44,-43,-41,-33,-17,0,18,30,48,49,42,27,20,-10,-54,-75,-84,-60,  
X8.V1.94,54,43,30,32,34,41,26,6,-1,1,11,19,30,37,49,58,55,38,27,19,12,12,14,19,17,16,1  
10,7,46,77,98,90,75,71,71,64,46,28,11,3,-9,-8,-12,1,26,53,79,92,85,67,53,42,26,15,-2,-22,  
29,-39,-64,-81,-85,-60,-27,12,38,51,52,48,49,43,19,5  
X23.V1.410,46,54,33,6,-22,-38,-39,-27,-31,-36,-39,-46,-48,-36,1,51,84,108,105,82,59,40,  
108,-104,-88,-63,-44,-14,23,59,93,119,130,96,53,1,-45,-92,-130,-143,-140,-111,-71,-30,-8  
96,-58,-25,-18,-24,-26,-24,-10,6,-2,-34,-53,-61,-53,-44,-28,-28,-32,-26,-21,-17,-23,-36,4  
X5.V1.794,705,581,397,169,-154,-512,-791,-926,-889,-766,-635,-512,-403,-295,-174,-57,  
683,-842,-838,-742,-608,-472,-344,-229,-114,-6,105,179,235,273,296,296,313,396,558,72  
10,101,193,271,319,362,382,391,395,414,498,679,831,928,840,681,450,181,-170,-527,-8  
81,25,123,192,248,294,314,330,326,1  
X1.V1.461,31,8,-9,-29,-34,-28,-12,8,29,48,54,61,49,29,-1,-5,12,33,49,66,79,82,76,69,54,5  
4,6,6,16,30,37,46,41,37,28,28,43,56,59,55,50,43,38,36,19,7,2,3,10,13,19,30,31,23,15,4,3,  
7,94,93,80,59,52,48,51,55,67,76,61,37,7,-9,12,48,89,109,125,124,125,113,94,61,4  
X19.V1.671,-31,19,49,56,55,40,15,23,35,15,-18,-36,-37,-14,36,85,113,106,74,51,38,41,5  
25,4,47,87,112,125,118,87,82,75,60,44,52,53,25,8,4,10,21,42,44,43,41,53,47,2,-37,-79,-1  
152,-152,-128,-78,-25,9,35,29,-7,-30,-22,4,7,18,25,28,27,20,10,-10,-18,-20,-16,13,32,12,1  
X15.V1.283,45,41,30,17,10,-1,-2,-5,-2,-3,-5,-5,-9,-11,-12,-20,-26,-35,-44,-52,-53,-48,-39,  
3,13,104,230,394,519,562,573,546,485,411,343,292,252,214,195,181,176,172,160,145,13  
217,-227,-235,-242,-250,-259,-266,-266,-268,-269,-267,-271,-274,-277,-273,-272,-267,-2

120,-115,-113,-111,-115,-117,2

X10.V1.44,19,15,11,-2,-15,-24,-25,-8,11,14,3,-12,-21,-25,-4,5,17,6,-7,-9,-10,-6,12,-2,-12,62,-54,-43,-30,-1,17,36,19,6,-2,9,5,4,-14,-18,-34,-21,-14,-4,13,19,11,-1,5,13,13,4,-12,-7,14,7,32,43,37,31,41,49,56,58,57,50,50,48,44,43,52,76,86,95,69,40,16,22,44,53,55,37,43,41

X22.V1.884,-125,-130,-129,-134,-139,-149,-150,-156,-158,-162,-165,-168,-172,-173,-179,8,143,172,133,88,57,54,82,200,331,446,457,372,277,210,181,218,285,366,444,586,713,729,13,40,60,68,85,97,118,137,141,124,107,98,100,102,105,102,94,91,78,64,47,33,14,-1,-253,-255,-257,-258,-259,-266,-274,-282,-292,-292,-291,-279,-271,-261,-249,-234,-222,-1

X15.V1.822,-80,-77,-68,-69,-70,-67,-69,-66,-67,-66,-69,-67,-61,-62,-65,-64,-62,-56,-59,-565,-63,-66,-62,-57,-56,-53,-54,-62,-66,-67,-71,-70,-78,-86,-85,-89,-84,-81,-75,-63,-56,-51,32,-37,-33,-44,-45,-57,-53,-53,-47,-42,-42,-42,-51,-50,-51,-49,-51,-57,-65,-62,-62,-61,-55,

X16.V1.441,-27,-25,-25,-27,-37,-50,-61,-72,-79,-81,-71,-58,-45,-27,-13,0,4,11,1,-13,-32,-81,-96,-107,-94,-75,-41,-5,19,22,4,-20,-47,-77,-101,-107,-107,-98,-86,-78,-74,-65,-51,-48,57,-28,-1,28,51,69,73,67,52,24,-15,-57,-89,-110,-111,-94,-72,-50,-20,15,48,87,114,120,10

X11.V1.942,-57,-63,-55,-57,-43,-24,-5,13,21,24,40,57,71,81,90,82,75,64,68,67,68,58,44,314,10,35,66,89,105,114,123,128,125,117,117,120,130,135,129,132,132,142,144,143,143,26,12,-2,4,20,33,40,31,24,16,17,22,16,-1,-8,-11,-4,11,14,2,-20,-23,-28,-28,-25,-29,-34,-57

X18.V1.122,68,75,86,91,93,94,90,91,84,80,74,68,61,53,51,44,34,25,11,-1,-18,-29,-43,-48,3,-4,-7,-9,-9,-8,-10,-15,-18,-17,-10,-1,3,7,14,12,13,13,9,1,-5,-13,-20,-23,-24,-26,-27,-23,-17,4,11,17,22,30,33,35,36,35,38,41,51,58,63,67,66,62,55,52,47,49,54,59,63,64,69,68,69,72

X14.V1.413,-37,-21,-11,-13,0,2,2,11,8,-4,-5,-9,-6,-2,9,42,63,96,114,122,118,118,116,114,72,-67,-74,-62,-75,-75,-78,-76,-72,-58,-38,-6,-7,2,18,19,41,59,74,85,94,102,104,93,76,59,7,17,32,30,7,18,31,61,73,67,42,37,46,63,78,96,101,94,55,15,-22,-19,2,5,-1,4,3

X20.V1.691,-63,-63,-85,-102,-104,-104,-117,-112,-98,-90,-86,-57,-17,-9,-7,-10,-56,-109,-67,-65,-79,-72,-31,-11,-2,-8,-19,-44,-75,-87,-96,-86,-50,-33,-56,-75,-89,-122,-148,-134,-1193,-102,-82,-60,-48,-66,-107,-151,-139,-87,-45,-16,4,5,-19,-52,-72,-95,-109,-93,-83,-99,-1

X15.V1.983,-49,-49,-46,-39,-37,-31,-23,-17,-14,-11,-4,-3,1,7,12,15,11,7,0,-7,-6,-6,-9,-11,-1,-6,-16,-24,-23,-20,-17,-12,-22,-36,-40,-45,-53,-59,-61,-68,-62,-59,-51,-53,-45,-35,-29,-26,-21,-14,1,12,19,23,29,27,2

X4.V1.316,-39,-21,3,59,139,213,246,233,209,186,164,122,83,74,51,12,-71,-172,-237,-26

16,51,153,242,286,269,224,181,145,114,87,94,73,20,-82,-184,-242,-256,-227,-185,-131,-247,-297,-296,-259,-211,-165,-127,-87,-57,-47,-48,-49,-19,54,150,228,246,231,197,163,1  
X17.V1.861,112,124,122,82,66,51,45,54,38,102,94,40,-12,-70,-150,-195,-181,-154,-117,-20,19,37,54,60,61,87,72,59,44,34,15,23,-1,-14,-20,31,55,84,95,81,63,57,46,8,-45,-35,-24,3,20,56,30,13,18,10,40,68,104,73,34,-12,-26,-38,-36,-67,-88,-25,31,18,-4,6,-29,-68,-98,-6  
X6.V1.983,-1,6,14,13,12,5,-2,-7,-11,-15,-11,-7,-3,-1,0,4,11,17,30,37,41,39,34,26,22,24,23,9,-13,-12,-6,-4,-9,-19,-23,-30,-35,-38,-43,-50,-51,-46,-43,-36,-27,-18,-17,-9,-13,-11,-4,-1,3,51,-55,-57,-49,-34,-16,-6,11,17,26,28,2  
X15.V1.515,-14,-9,-10,-11,-14,-14,-19,-22,-27,-29,-33,-43,-53,-69,-82,-90,-87,-76,-52,-29,2,0,12,29,45,60,76,90,101,114,126,132,136,134,132,126,115,104,89,81,70,63,56,56,53,48,40,-29,-28,-30,-31,-29,-26,-9,-1,2,2,-1,-1,-2,4,5,6,2,-1,-4,-5,-1,6,14,22,25,29,32,36,38,38,3  
X15.V1.363,-11,-4,-7,-31,-30,-22,-15,-15,-16,-18,-29,-15,-6,18,29,37,42,42,54,52,60,61,61,18,-33,-31,-25,-3,-2,12,7,-1,-8,-12,-19,-9,0,-17,-16,-22,-15,2,1,-2,-12,-20,-29,-42,-38,-16,-14,13,39,45,34,20,3,11,24,30,25,27,32,30,45,57,60,70,2  
X17.V1.983,2,1,-4,-13,-20,-17,-26,-38,-46,-51,-51,-45,-36,-25,-15,-1,3,7,11,4,-3,-11,-14,-6,-16,-27,-33,-37,-37,-41,-44,-49,-48,-48,-47,-45,-41,-37,-28,-20,-12,-3,1,6,6,7,10,14,17,1,50,-55,-56,-54,-50,-47,-48,-44,-44,-36,-29,-22,-20,-11,-12,-9,-2,2  
X4.V1.515,15,13,11,0,-6,-7,-5,-6,-12,-19,-25,-21,-7,6,19,24,27,28,32,35,36,40,45,48,51,50,79,-79,-89,-96,-107,-115,-122,-121,-117,-103,-92,-80,-67,-59,-51,-44,-46,-45,-32,-35,-32,33,-36,-46,-50,-57,-51,-36,-29,-20,-12,-3,2,12,2  
X5.V1.182,-19,-29,-27,-27,-16,-9,2,18,34,37,38,41,44,54,70,83,95,106,112,113,110,89,82,5,16,19,27,30,28,17,11,8,14,25,35,56,78,89,89,81,76,62,54,40,22,14,3,-2,0,-6,-1,2,-1,-1,-8,4,17,44,61,82,95,110,129,152,163,164,164,157,158,151,144,114,97,75,61,53,53,59,65,61  
X15.V1.802,19,18,30,35,36,33,26,17,12,11,5,10,17,16,6,-4,-14,-18,-14,-17,-22,-28,-27,-1,6,4,15,21,25,24,15,8,1,8,10,12,6,5,9,14,20,20,25,32,36,40,40,44,52,61,61,56,56,51,53,54,2,4,9,10,14,8,12,15,14,9,3,5,7,10,9,7,1,-1,-9,-20,-15,-13,7,14,23,31,34,39,42,45,46,48,56,4  
X2.V1.531,37,32,25,23,27,33,35,42,50,58,64,68,69,67,62,44,22,3,11,9,21,35,50,48,38,35,45,-54,-56,-47,-28,-21,-16,-14,-20,-33,-44,-42,-35,-12,25,56,73,69,53,30,25,39,59,64,58,497,-94,-86,-71,-43,-11,23,46,58,50,39,19,-9,-41,-82,-127,-158,-159,4  
X19.V1.316,-226,-202,-169,-133,-98,-64,-28,12,49,70,85,85,87,85,79,83,78,101,142,205,

211,-180,-141,-99,-61,-12,34,63,80,85,87,94,100,99,100,95,102,112,141,198,259,328,374  
 233,-192,-139,-91,-58,-39,-38,-42,-51,-57,-49,-12,43,95,142,179,213,230,215,173,126,52,  
 X8.V1.114,183,141,113,102,110,130,156,178,192,204,206,208,214,225,231,233,240,250,  
 36,-26,-26,-28,-36,-43,-48,-49,-52,-66,-76,-91,-106,-115,-117,-114,-106,-98,-92,-89,-84,-7  
 110,-105,-96,-75,-54,-38,-20,-8,5,21,33,41,31,26,11,8,0,-4,-21,-40,-59,-74,-79,-70,-54,-39  
 X19.V1.833,73,84,89,91,95,92,92,91,88,83,74,70,51,34,23,16,13,15,14,9,4,-2,-2,-4,8,27,3  
 5,8,24,38,50,58,60,58,64,75,65,33,-21,-81,-97,-72,-21,22,32,28,24,10,0,-3,-1,-9,-15,-31,-3  
 9,2,12,27,35,36,35,31,24,9,7,4,4,7,13,17,15,19,20,33,53,80,107,120,134,2  
 X10.V1.23,12,9,34,16,-6,-32,-64,-61,-44,-35,-32,-43,-39,-12,-24,-32,-41,-35,-25,-11,-16,-  
 8,4,10,12,15,0,20,13,23,60,50,35,-29,-50,-19,13,43,39,18,7,8,16,40,47,63,36,13,-7,10,-6,7  
 8,23,12,3,-42,-35,0,13,19,15,25,29,50,16,5,-18,-12,-17,5  
 X17.V1.98,37,23,-10,-48,-79,-106,-103,-84,-58,-35,-13,9,-1,-11,-8,3,20,34,28,7,-16,-38,-5  
 33,32,100,130,115,81,65,62,81,89,77,50,34,31,35,36,25,0,-35,-45,-50,-55,-69,-80,-77,-60,  
 48,-18,22,40,30,20,15,17,32,47,46,28,16,11,15,23,35,31,8,-17,-43,-67,-79,-75,-66,-52,-36  
 X5.V1.923,70,75,82,83,71,78,74,73,80,75,75,73,76,76,79,77,77,73,63,60,48,45,43,55,57,5  
 27,-31,-26,-28,-30,-27,-26,-22,-23,-18,-16,-17,-18,-17,-14,-8,-8,-14,-24,-33,-39,-53,-48,-5  
 8,-13,-13,-16,-13,-26,-38,-38,-40,-34,-14,-14,-12,2  
 X1.V1.942,38,56,75,85,83,94,97,98,100,96,89,86,86,88,92,95,97,105,110,116,114,111,10  
 112,-111,-113,-97,-97,-105,-117,-123,-123,-116,-119,-123,-129,-129,-118,-108,-104,-104,  
 4,11,15,18,16,20,25,32,41,42,45,45,48,41,46,41,41,37,33,29,24,11,-5,-15,-29,-34,-38,-26,  
 X11.V1.383,-91,-73,-65,-68,-80,-91,-84,-75,-65,-60,-47,-38,-28,-18,-15,-11,-20,-29,-45,-6  
 102,-113,-115,-111,-103,-90,-86,-76,-65,-48,-31,-19,-18,-20,-31,-47,-59,-82,-98,-105,-102  
 21,1,22,42,69,98,127,152,167,175,177,175,169,155,140,131,129,125,117,112,104,104,10  
 X14.V1.844,18,27,53,77,117,171,215,239,244,217,158,-82,-681,-1261,-1527,-1213,-554,  
 272,10,176,307,364,368,354,349,335,306,272,257,252,268,293,318,350,379,388,385,362  
 281,60,239,342,376,352,307,259,220,202,207,235,273,315,343,371,379,381,384,377,382  
 74,-133,-150,-125,-45,30,107,142,149,113,-42,-509,-1129,-1420,-1289,-698,-53,427,680,  
 X16.V1.632,49,33,17,1,-7,-18,-24,-31,-41,-49,-49,-45,-42,-37,-31,-28,-26,-22,-21,-27,-34,  
 23,-30,-41,-42,-44,-36,-34,-37,-43,-43,-47,-50,-54,-63,-70,-76,-82,-85,-87,-74,-60,-42,-35,  
 69,-64,-53,-41,-31,-24,-23,-25,-26,-22,-24,-17,-10,-1,4,11,9,5,4,5,0,-8,-13,-24,-26,-30,-27,

X12.V1.81,-68,-48,-13,3,-23,-61,-70,-40,2,44,65,43,5,-21,-18,4,24,35,20,-4,-36,-38,-25,-9  
59,12,75,105,75,33,10,20,60,77,86,39,7,-8,9,41,37,11,-27,-42,-33,11,42,54,58,58,50,53,28  
2,2,21,48,88,112,126,111,91,44,12,-35,-26,-17,19,55,72,71,88,77,56,20,-19,-53,-68,-66,-3  
X9.V1.812,75,70,71,67,74,89,102,110,111,113,113,108,103,87,84,87,86,83,80,80,76,70,5  
16,-24,-32,-37,-47,-53,-56,-50,-37,-23,-23,-33,-39,-36,-31,-27,-21,-13,0,-3,-4,-14,-14,-31,  
5,13,21,25,23,24,27,21,7,-6,-13,-18,-14,-5,16,34,37,29,11,1,7,26,45,58,60,49,3  
X6.V1.334,-121,-115,-91,-77,-77,-77,-84,-94,-103,-100,-73,-18,51,118,159,175,167,162,1  
21,18,73,112,157,196,225,241,228,200,172,152,147,168,203,198,52,-333,-624,-529,126,8  
14,345,523,489,314,175,86,4,-109,-99,-12,244,429,458,342,193,47,-5,14,39,48,-35,-203,-  
298,1  
X4.V1.753,-82,-98,-115,-122,-117,-103,-89,-77,-86,-133,-163,-157,-78,146,489,769,976,1  
155,-170,-183,-196,-204,-206,-208,-202,-201,-200,-194,-190,-191,-197,-193,-192,-191,-1  
213,-214,-213,-219,-224,-230,-232,-227,-226,-221,-217,-215,-212,-209,-200,-190,-176,-1  
115,-47,100,383,666,867,919,864,819,773,2  
X2.V1.432,-10,-27,-41,-52,-49,-47,-32,-24,-14,-9,9,26,30,19,13,-3,-15,-23,-25,-14,-5,4,12  
9,-12,-8,-4,-6,-15,-20,-33,-44,-47,-46,-46,-52,-46,-43,-42,-55,-65,-69,-73,-79,-83,-100,-10  
42,-52,-45,-37,-24,-18,-9,-5,6,15,26,38,52,3  
X22.V1.822,-79,-75,-72,-76,-77,-77,-70,-64,-57,-59,-64,-69,-71,-73,-80,-84,-83,-83,-78,-7  
74,-67,-70,-76,-81,-84,-86,-92,-93,-93,-92,-91,-91,-88,-88,-83,-83,-79,-79,-78,-80,-73,-71,  
76,-74,-77,-79,-85,-90,-89,-83,-78,-75,-74,-74,-78,-79,-83,-79,-80,-77,-73,-75,-78,-77,-79,  
X13.V1.262,14,8,-5,-17,-24,-27,-29,-29,-23,-19,-15,-14,-11,-4,-4,3,5,5,8,13,10,5,-6,-17,-3  
5,3,11,14,15,11,15,13,14,14,14,7,-3,-3,-4,-1,-1,1,-5,-6,-8,-13,-12,-10,-8,-8,-6,-2,-6,-9,-17,-  
13,-24,-24,-26,-26,-27,-25,-23,-22,-24,-24,-23,-26,-27,-23,-21,-18,-14,-7,2,3  
X4.V12,-31,-21,-23,-16,-9,-4,7,25,38,46,51,57,62,65,66,64,53,41,28,20,10,6,-7,-21,-31,-4  
34,-30,-22,-25,-21,-24,-31,-41,-41,-42,-40,-50,-56,-64,-71,-75,-75,-59,-46,-25,-1,18,32,44,  
9,-1,9,11,10,10,3,-7,-21,-32,-51,-71,-86,-90,-88,-80,-73,-74,-78,-72,-63,-52,-35,3  
X18.V1.774,-253,-327,-376,-365,-319,-250,-135,-15,58,54,-1,-54,-67,-74,-79,-72,-55,-42,  
69,-152,-197,-187,-137,-89,-57,-44,-37,-16,19,47,55,33,11,10,15,17,16,13,12,14,20,31,36  
54,-35,-20,-10,6,23,19,16,7,6,11,9,8,4,-6,-11,-11,-10,-14,-4,-5,-5,-9,-6,-9,-18,-18,-20,-23,-  
X21.V1.60,-67,-74,-84,-96,-104,-107,-109,-111,-123,-130,-126,-116,-108,-95,-81,-73,-64,

97,-103,-90,-79,-68,-58,-60,-76,-86,-86,-85,-77,-74,-79,-84,-89,-85,-80,-77,-79,-85,-90,-86,  
104,-95,-82,-70,-71,-82,-77,-81,-72,-69,-70,-80,-90,-87,-89,-85,-68,-52,-42,-35,-40,-57,-60,  
X15.V1.392,49,38,31,25,18,15,15,12,12,19,21,22,17,16,17,17,15,9,13,18,25,24,25,25,26,27,  
13,5,11,16,21,19,18,11,9,8,13,23,33,31,25,17,-1,-9,-13,-10,-14,-22,-31,-38,-47,-51,-53,-64,  
49,-56,-71,-90,-108,-110,-113,-109,-104,-103,-90,-84,-76,-76,-75,-76,-84,-92,-90,-82,3  
X18.V1.116,-311,162,506,699,620,443,217,21,-169,-208,-163,-76,31,160,336,568,738,777,  
408,-281,-133,49,226,361,406,383,332,307,294,277,259,225,145,-5,-186,-299,-284,-91,15  
279,-291,-352,-368,-454,-446,-366,-224,-67,66,173,243,280,317,349,384,408,440,474,517,  
658,-346,-64,1  
X13.V1.402,-6,3,12,10,11,9,4,-3,-1,10,11,5,7,6,11,10,17,18,16,22,16,9,6,-4,-5,-4,3,5,3,3,-  
5,2,11,9,6,2,-1,-1,-2,9,11,22,20,28,29,24,23,17,19,11,7,1,-1,0,13,9,21,27,24,24,21,19,21,2  
X12.V1.182,7,6,4,-9,-23,-25,-25,-17,-14,-9,-8,-3,4,7,6,9,2,-13,-26,-31,-23,-15,-1,6,10,14,8  
45,-33,-16,-4,7,1,2,-3,-4,2,0,-1,-6,-12,-20,-18,-11,3,18,13,10,6,0,-  
4,1,6,30,50,55,49,47,46,59,60,58,49,46,61,72,76,67,64,68,74,79,88,98,97,92,75,67,71,76,  
X5.V1.802,22,26,23,30,34,34,28,37,36,47,52,53,49,43,43,41,41,43,51,52,49,49,40,27,16,  
14,17,9,1,3,11,18,32,38,46,47,51,43,38,37,38,36,28,30,27,36,39,45,42,42,47,41,46,54,61,  
X11.V1.943,-61,-45,-19,-10,-13,-10,11,26,28,12,-3,-20,-36,-36,-35,-28,-30,-23,-35,-38,-44,  
68,-58,-43,-37,-45,-51,-48,-60,-60,-58,-39,-12,7,6,-5,-12,3,12,33,43,60,72,72,71,63,58,67,  
24,0,21,31,22,17,18,33,46,58,66,72,80,81,100,115,114,120,108,103,107,116,131,142,147  
X17.V1.164,505,660,574,419,221,-53,-168,-392,-451,-394,-180,162,198,401,410,716,325,  
18,54,252,388,457,495,523,535,535,528,513,494,482,471,465,466,478,499,503,450,340,2  
555,-659,-832,-959,-1025,-895,-570,-512,-123,127,654,683,223,-672,-1276,-1525,-1288,-  
619,-861,-823,-590,-488,-265,91,430,480,291,-231,-787,-1026,-1021,-620,-109,522,846,1  
X22.V1.41,-71,-91,-104,-93,-91,-98,-111,-111,-95,-83,-72,-69,-72,-84,-95,-97,-106,-105,-  
49,-40,-45,-48,-50,-53,-54,-47,-47,-38,-33,-28,-37,-58,-65,-78,-98,-98,-87,-60,-35,-28,-26,  
92,-138,-157,-143,-108,-72,-46,-50,-58,-66,-77,-87,-89,-82,-85,-88,-93,-81,-63,-53,-49,-49  
X4.V1.192,-115,-104,-99,-95,-94,-89,-84,-79,-80,-78,-88,-87,-85,-83,-88,-89,-92,-83,-75,-  
2,5,14,18,27,28,30,38,38,45,43,29,17,2,-5,-18,-27,-35,-51,-59,-60,-60,-66,-69,-74,-67,-54,  
57,-58,-54,-60,-62,-67,-68,-65,-58,-52,-45,-43,-46,-44,-35,-24,-12,-13,-10,-16,-16,-15,-9,-  
X15.V1.19,-19,-17,-20,-22,-31,-34,-35,-25,-26,-27,-34,-35,-12,7,20,12,-3,-20,-36,-40,-51,-



43,-16,3,12,11,-3,-26,-37,-47,-49,-53,-41,-45,-40,-22,-3,-15,-31,-40,-27,-12,1,-5,-6,-13,0,1  
6,7,10,3,-4,-1,12,31,36,45,30,24,20,29,29,29,28,19,5  
X5.V1.902,-71,-40,-37,-48,-68,-64,-51,-28,7,21,25,11,-5,-6,-18,-21,-3,44,84,104,115,89,1  
7,-55,-83,-85,-107,-75,-74,-43,-51,-65,-87,-105,-110,-106,-103,-72,-35,11,63,110,104,81,4  
74,-96,-100,-74,-62,-63,-103,-89,-97,-64,-21,45,96,90,28,-1,-8,15,14,10,15,29,34,38,51,28  
X15.V1.615,-38,-37,-32,-36,-36,-37,-41,-42,-35,-30,-29,-35,-41,-40,-43,-41,-43,-43,-36,-2  
61,-56,-47,-40,-18,-15,-12,-18,-19,-24,-23,-15,-16,-17,-20,-20,-24,-18,-24,-32,-43,-54,-56,  
1,-6,0,13,29,41,51,46,43,30,19,13,15,25,36,54,65,74,83,95,102,105,106,104,96,80,65,51,4  
X8.V1.483,-9,-17,-31,-40,-46,-46,-42,-37,-33,-30,-21,-20,-20,-19,-23,-24,-22,-25,-25,-23,-  
39,-43,-43,-41,-35,-34,-33,-40,-37,-35,-36,-39,-45,-51,-55,-56,-60,-67,-64,-60,-57,-58,-62,  
10,7,24,33,43,45,59,69,72,69,71,67,62,61,53,58,60,51,39,17,4,-8,-16,-21,-31,-41,-36,-29,-  
X14.V1.574,-46,-133,-209,-241,-235,-193,-171,-179,-210,-225,-202,-154,-100,-55,-44,-46  
95,83,236,348,386,350,266,174,163,229,301,336,311,232,124,63,110,260,400,462,421,30  
230,-221,-210,-198,-179,-164,-145,-130,-115,-91,-69,-67,-70,-96,-112,-119,-96,-61,-22,-9  
128,-140,-166,-184,-181,-167,-159,-184,-199,-177,-132,-64,-24,2,-8,-30,-62,-46,1  
X15.V1.561,-38,-48,-50,-30,-11,10,27,32,23,2,-8,-26,-39,-51,-53,-55,-46,-33,-27,-31,-40,-  
2,13,35,58,62,51,45,39,34,35,37,38,36,32,16,2,-5,3,8,18,22,21,12,3,-2,-15,-16,-6,2,-1,-7,-9  
45,-41,-29,-24,-21,-19,-13,-3,-2,4,11,14,11,14,22,21,22,27,4  
X16.V1.321,-13,12,25,14,-7,-21,-3,30,54,52,24,-23,-68,-85,-69,-41,-22,-20,-21,-16,21,49,  
7,12,40,62,66,58,54,68,82,103,111,112,99,92,80,62,43,27,21,25,42,51,54,58,62,58,40,29,  
10,15,29,24,17,22,44,67,70,64,28,-9,-45,-65,-76,-67,-30,7,33,51,79,105,122,132,115,83,4  
X16.V1.774,95,15,-90,-201,-275,-277,-238,-183,-135,-96,-61,-39,-17,-7,0,16,49,73,86,96,  
65,29,121,134,122,97,82,73,61,47,39,44,59,71,53,-6,-87,-154,-178,-172,-149,-127,-102,-6  
33,21,57,78,91,90,86,78,85,85,91,97,94,94,96,95,93,91,86,82,69,61,54,49,45,46,45,38,38,  
X14.V1.524,126,88,30,-3,-12,-10,-3,6,27,55,77,139,230,358,391,351,254,204,175,160,13  
261,-204,-151,-86,33,91,87,29,-37,-73,-83,-77,-59,-28,2,28,46,64,76,85,96,99,100,97,92,8  
35,26,84,131,170,205,221,239,247,250,245,238,231,218,204,187,169,146,122,93,50,-1,-5  
X16.V1.8,22,24,20,25,26,41,55,67,70,61,49,44,32,29,33,28,18,7,2,0,3,10,13,19,24,38,34,  
2,2,6,-1,6,8,15,18,20,14,13,22,18,15,10,9,4,1,3,-13,-20,-23,-11,-2,4,19,14,19,21,20,16,10,  
X19.V1.210,-10,4,9,5,13,5,-2,-11,-25,-49,-73,-91,-106,-98,-77,-56,-47,-39,-25,-21,-15,-5,7

156,-182,-180,-163,-146,-126,-100,-67,-42,-21,-10,-14,-44,-62,-71,-72,-81,-101,-118,-133  
11,3,11,10,16,32,54,73,69,59,50,42,34,29,30,25,18,20,22,13,6,9,17,41,63,82,88,92,86,72,  
X12.V1.361,-90,-4,54,89,98,62,2,-66,-108,-130,-111,-92,-76,-70,-69,-52,-41,-14,14,15,-11  
32,-39,-41,-28,0,28,53,68,57,40,19,8,2,-1,-11,-32,-25,5,53,83,93,97,108,138,168,173,141,  
135,-142,-124,-74,-14,33,82,103,106,92,56,14,-12,-38,-73,-115,-137,-130,-78,-18,33,85,1  
X15.V1.454,4,-19,-4,17,48,49,26,8,-8,-14,-42,-70,-94,-106,-122,-119,-138,-168,-208,-294  
336,-560,-677,-609,-324,-1,284,474,589,624,579,479,357,227,120,44,6,-10,-13,-17,-23,-3  
77,-83,-88,-98,-112,-143,-177,-182,-191,-253,-328,-391,-404,-355,-352,-245,-68,135,331,  
X20.V1.154,354,350,352,365,375,379,383,375,353,294,241,185,160,151,152,157,157,16  
51,-64,-74,-83,-88,-88,-89,-89,-94,-96,-104,-109,-115,-125,-136,-145,-143,-143,-136,-129  
65,-39,-10,13,29,40,40,34,18,12,7,8,-2,-10,-14,-22,-24,-23,-21,-27,-37,-45,-48,-46,-43,-34  
X16.V1.42,-53,-34,1,24,41,35,34,35,26,16,5,8,-10,-15,-33,-44,-32,-12,2,7,22,37,34,30,2,-  
11,5,12,17,36,53,80,97,101,79,77,39,3,-24,-29,-11,-4,3,5,8,14,16,10,-8,-27,-40,-43,-37,-20  
4,1,14,25,26,13,13,5,3,3,10,2,-10,-24,-35,-42,-44,-32,5  
X9.V1.701,-63,-57,-11,35,57,76,91,69,4,-40,-73,-98,-102,-74,-65,-58,-11,38,76,110,111,5  
68,-38,-41,-47,-56,-70,-77,-68,-49,-51,-65,-68,-37,14,51,52,10,-39,-59,-60,-68,-65,-51,-31  
1,11,18,18,10,11,10,32,58,51,60,53,26,-11,-17,-16,-12,13,53,84,77,57,24,-20,-39,-45,-40,  
X4.V1.28,32,23,-15,-45,-11,-22,-24,-47,-36,4,29,56,66,77,54,25,-5,-48,-58,-60,-63,-40,-30  
12,7,19,55,61,53,11,-25,-28,-36,-40,-48,-48,-28,-26,-2,0,-1,-7,-12,-7,1,1,-18,-5,23,37,42,4  
11,-8,-32,-1,5,35,4,5,-15,-13,-11,11,0,28,-4,-35,-58,5  
X3.V1.494,-252,-181,-91,99,269,458,543,555,510,411,287,176,83,-3,-86,-169,-230,-269,-  
327,-289,-222,-149,46,233,448,535,541,488,399,291,201,126,53,-29,-119,-207,-275,-321,  
82,104,303,455,493,430,330,217,123,49,-22,-96,-158,-211,-244,-270,-304,-324,-318,-276  
125,-133,-127,-111,-80,-43,-35,1  
X9.V1.991,88,91,48,-3,-55,-87,-104,-114,-106,-62,-13,35,67,99,136,146,115,42,-46,-113,  
84,-76,-75,-62,-45,-9,23,51,67,53,8,-45,-87,-118,-121,-116,-116,-108,-101,-89,-72,-20,45,  
53,38,134,210,237,216,155,65,-14,-89,-155,-203,-205,-167,-109,-48,13,65,98,121,131,114  
X6.V1.954,-73,-45,-32,-35,-33,-23,-2,31,54,73,68,64,59,45,28,11,24,47,61,15,-46,-96,-12  
23,-33,-45,-56,-69,-79,-95,-111,-131,-135,-99,-29,8,10,-30,-80,-102,-133,-158,-175,-183,-  
69,8,102,169,182,146,82,3,-68,-138,-178,-186,-162,-120,-75,-55,-56,-77,-101,-121,-130,-

X15.V1.21,-20,-25,-27,-26,-28,-26,-12,2,7,11,9,9,6,2,-7,-25,-29,-30,-34,-40,-41,-43,-61,-7  
 16,-11,-7,-5,-10,-10,-15,-23,-28,-29,-20,-13,4,13,3,-3,-2,3,14,30,38,41,31,13,-9,-33,-38,-3  
 2,1,7,25,41,48,44,33,20,17,24,25,18,14,5,6,16,34,34,28,15,-3,-13,-21,-10,-14,-9,-4,6,5  
 X1.V1.25,67,86,89,65,19,6,13,42,72,79,90,106,131,137,125,105,96,59,46,30,38,88,138,1  
 4,58,74,87,58,90,77,78,51,20,18,81,106,128,115,109,107,71,60,82,122,112,67,6,24,71,11  
 22,-28,-19,9,11,27,21,30,35,9,-13,-19,12,73,83,51,-1,-40,-30,5  
 X7.V1.654,-352,-501,-587,-600,-553,-507,-473,-451,-434,-388,-327,-231,-115,-11,110,23  
 64,39,131,205,265,303,319,305,275,236,189,145,113,108,123,150,173,194,214,235,257,2  
 376,-376,-329,-243,-162,-78,7,82,138,179,203,197,172,131,87,55,26,8,7,32,75,125,163,19  
 297,-201,-105,-8,85,148,185,192,202,181,140,95,71,73,93,1  
 X6.V1.74,-28,-42,-40,-16,-2,-2,-2,3,25,39,49,43,37,42,50,47,37,30,24,16,9,-2,-15,-28,-28,  
 19,14,38,46,49,29,14,15,34,38,22,-6,-34,-45,-33,0,15,19,13,-1,-15,-25,-32,-48,-73,-93,-96  
 7,4,39,74,86,75,53,37,44,62,71,63,44,31,27,35,45,37,8,-10,-25,-28,-27,-12,5  
 X10.V1.834,-165,-146,-140,-102,-54,2,36,47,34,27,15,16,11,16,12,15,15,18,13,16,16,18,3  
 32,-60,-21,90,289,388,368,246,116,59,45,21,-30,-71,-117,-158,-193,-211,-218,-209,-207,  
 1,2,6,7,3,8,16,19,23,22,28,31,37,37,38,41,52,59,66,71,71,76,68,70,62,75,79,84,85,82,90,9  
 X10.V1.463,-58,-70,-64,-43,-18,-3,-5,-25,-37,-36,-38,-28,-17,-18,-11,0,23,43,64,93,96,100  
 11,11,18,38,50,68,94,102,99,98,107,121,123,118,125,115,122,103,92,55,29,9,2,17,35,52,  
 70,-61,-58,-64,-61,-64,-61,-47,-12,18,44,55,73,86,89,100,115,142,170,199,209,215,206,18  
 X23.V1.404,-406,-540,-627,-652,-617,-540,-436,-328,-229,-139,-63,0,53,100,139,171,197  
 180,-373,-520,-583,-601,-551,-440,-310,-220,-211,-296,-431,-550,-616,-610,-547,-439,-3  
 38,505,941,901,360,-409,-730,-625,-307,28,276,374,265,34,-202,-393,-518,-565,-565,-50  
 34,29,84,130,167,195,216,234,249,260,270,282,291,296,301,302,304,308,314,317,314,31  
 X23.V1.644,181,345,393,338,248,187,142,79,11,-42,-80,-121,-174,-231,-283,-305,-328,-3  
 57,206,440,552,539,454,372,284,184,100,44,21,8,14,42,56,71,83,117,150,142,82,-5,-75,-  
 238,-233,-229,-222,-214,-208,-204,-202,-201,-204,-203,-206,-212,-214,-214,-211,-212,-2  
 145,-136,-130,-127,-128,-128,-128,-129,-130,-131,-132,-132,-130,-124,-117,-111,-104,-10  
 X17.V1.192,33,26,23,23,22,20,22,11,6,1,0,-5,-5,0,9,12,24,32,32,23,19,14,4,-1,-7,-14,-17,  
 121,-112,-111,-110,-103,-90,-82,-81,-80,-88,-93,-96,-95,-91,-91,-81,-76,-72,-77,-85,-90,-9  
 3,5,14,28,36,38,40,41,36,28,21,19,11,11,17,12,4,-8,-28,-45,-53,-51,-42,3

X4.V1.901,30,6,-33,-48,-40,9,55,78,62,38,37,54,90,104,87,47,16,-9,-28,-58,-88,-111,-121  
38,-53,-51,-47,-50,-56,-74,-99,-110,-94,-70,-49,-32,-27,-25,-27,-29,-40,-56,-50,-40,-30,-33  
18,-33,-48,-64,-69,-70,-65,-52,-46,-45,-38,-28,-23,-25,-23,-25,-32,-36,-35,-42,-54,-58,-62,  
X13.V1.59,-68,-74,-69,-56,-40,-37,-48,-66,-78,-88,-93,-90,-94,-103,-107,-94,-78,-72,-72,  
76,-71,-66,-67,-60,-75,-97,-117,-125,-124,-108,-80,-61,-52,-62,-68,-82,-84,-77,-73,-79,-90  
14,-20,-26,-31,-31,-44,-54,-61,-66,-70,-73,-74,-86,-86,-81,-66,-65,-67,-68,-81,-85,-96,-103  
X9.V1.804,615,628,642,627,587,531,457,409,336,274,246,247,274,283,276,240,227,240,  
20,77,181,280,370,450,523,580,610,626,639,630,614,595,592,613,643,670,644,572,456,3  
147,-51,54,175,281,392,477,548,591,594,607,592,566,507,447,389,346,319,293,306,332,  
X23.V1.97,-29,-45,-46,-46,-37,-34,-35,-39,-45,-36,-12,19,16,-6,-26,-48,-58,-74,-61,-62,-5  
61,-32,-13,-12,-17,-17,-27,-24,-20,-16,-38,-44,-47,-55,-52,-57,-68,-71,-78,-65,-55,-34,-3,1  
56,-37,-7,5,15,11,-7,-18,-36,-32,-34,-54,-67,-90,-91,-83,-61,-35,-8,21,42,45,56,46,23,-7,-1  
X18.V1.415,0,3,10,18,17,20,24,27,25,25,27,29,38,47,51,52,53,54,54,55,56,60,53,55,54,5  
1,3,6,7,4,9,11,21,31,32,32,31,36,38,34,32,31,24,21,17,15,12,12,11,4,10,17,16,17,11,8,5,1  
9,1,5,6,7,14,14,14,17,19,21,29,34,43,49,53,50,2  
X14.V1.37,-55,-56,-75,-98,-101,-85,-71,-66,-86,-106,-110,-104,-85,-61,-63,-67,-80,-92,-1  
107,-108,-115,-102,-83,-72,-48,-36,-42,-50,-61,-68,-74,-70,-72,-76,-86,-75,-64,-56,-50,-53  
61,-74,-91,-89,-84,-76,-78,-79,-71,-78,-77,-82,-87,-87,-94,-104,-113,-103,-86,-73,-64,-65,  
X19.V1.583,-43,-53,-55,-63,-64,-66,-67,-66,-64,-61,-57,-60,-67,-72,-72,-69,-68,-69,-66,-6  
50,-46,-41,-29,-17,-3,10,17,22,25,25,28,27,19,11,0,-7,-8,-10,-4,5,13,23,25,24,18,5,-6,-16,  
6,0,2,10,14,25,41,62,78,96,107,113,120,127,134,137,140,138,135,133,132,131,126,126,1  
X3.V1.102,-22,-21,-20,-10,-14,-3,-5,3,11,9,7,9,14,13,20,24,30,32,33,32,31,36,38,34,27,19  
1,0,6,16,18,27,34,38,42,41,37,31,38,43,53,60,63,65,61,60,51,43,35,19,17,14,26,29,31,25,  
89,-91,-92,-92,-84,-83,-86,-85,-83,-88,-85,-89,-81,-77,-70,-67,-65,-58,-49,-38,-36,-33,-26,  
X17.V1.541,-2,34,54,67,58,43,23,-8,-25,-31,-37,-57,-81,-81,-73,-49,-22,-1,18,49,54,41,21  
39,-32,-30,-22,-1,31,48,46,27,11,-4,-4,3,0,-23,-52,-66,-70,-68,-55,-40,-26,-12,10,26,41,55  
10,3,20,25,16,2,2,16,26,22,19,28,42,53,64,52,4  
X21.V1.694,-126,-90,-105,-135,-174,-208,-217,-191,-143,-76,-16,24,39,42,51,67,75,85,80  
215,-233,-271,-299,-271,-199,-79,55,156,212,231,234,217,190,158,124,77,35,-8,-66,-128  
186,-190,-177,-155,-155,-173,-180,-172,-137,-86,-31,22,77,125,160,185,212,214,193,151

X4.V1.50,-23,-12,1,14,31,27,23,20,39,45,42,29,20,19,49,66,81,74,69,77,95,114,123,102,8,  
16,-13,-16,-5,23,49,59,46,37,42,64,79,75,58,31,21,20,25,53,44,30,5,2,-11,-8,-15,-18,-23,-  
30,-18,-8,-16,-26,-35,-40,-17,-6,4,1,-19,-33,-33,5

X14.V1.641,9,15,-16,13,-1,-17,-15,-46,-80,-86,-98,-86,-37,-12,9,31,56,26,66,14,-47,-102,  
20,27,48,46,17,-52,-60,-51,-38,-5,1,22,76,102,82,24,-40,-23,-84,-27,-21,-31,-27,-20,64,73,  
85,-95,-46,9,55,100,183,188,125,41,-42,-91,-82,-47,-41,23,70,96,77,61,98,83,91,92,75,44

X8.V1.55,68,62,58,68,89,101,102,95,87,77,69,82,96,98,88,75,69,59,61,54,46,37,58,93,11  
28,-33,-45,-58,-51,-47,-21,-2,8,21,22,28,21,25,16,-9,-35,-67,-83,-83,-70,-54,-39,-17,0,-3,-  
1,1,-19,-40,-46,-42,-8,20,41,43,34,30,9,-4,-18,3,25,5

X4.V1.92,-18,-43,-41,-32,-30,-43,-58,-71,-85,-86,-70,-44,-20,-10,-28,-52,-63,-42,-28,-33,-  
19,10,39,52,50,40,32,42,40,21,1,-17,-22,-11,4,1,-8,-18,-42,-63,-94,-94,-73,-26,18,35,21,-8  
38,-25,5,6,-5,-28,-38,-32,-12,21,29,21,-1,-26,-52,-62,-51,5

X1.V1.753,-183,-183,-182,-180,-183,-176,-168,-166,-171,-181,-188,-202,-209,-217,-219,  
105,-108,-111,-109,-116,-110,-105,-101,-102,-103,-99,-99,-95,-91,-95,-100,-110,-114,-12  
122,-130,-131,-129,-127,-125,-121,-112,-113,-102,-92,-84,-78,-71,-60,-64,-75,-82,-80,-40  
68,-73,-79,-80,-87,2

X8.V1.252,-25,-29,-31,-32,-34,-33,-29,-26,-27,-24,-25,-22,-19,-14,-17,-19,-14,-12,-15,-10  
3,4,9,14,12,17,19,18,19,17,12,8,7,6,6,12,17,18,16,22,20,24,27,31,33,34,34,28,25,23,25,26  
100,-97,-95,-87,-79,-67,-57,-51,-42,-35,-28,-21,-18,-16,-22,-25,-30,-32,-35,-36,-37,-33,-32

X16.V1.982,8,7,2,5,0,-1,0,1,0,2,-1,3,6,18,33,40,48,53,53,59,55,47,34,10,-5,-18,-22,-15,-8  
79,-74,-70,-60,-51,-36,-28,-21,-15,-17,-15,-17,-23,-23,-25,-18,-13,-6,-1,2,7,13,14,2,-8,-21,  
3,0,11,21,23,25,22,29,35,49,56,56,55,49,43,40,44,50,51,56,62,65,71,73,71,73,74,76,3

X17.V1.471,44,37,34,34,31,20,14,27,35,43,49,45,35,21,13,-1,-10,-16,-29,-47,-59,-61,-69,  
43,-7,14,33,45,37,20,4,-6,-8,-13,-23,-45,-84,-109,-119,-129,-124,-117,-95,-78,-55,-26,-7,1  
32,-18,4,36,77,108,121,118,105,74,38,-1,-37,-66,-77,-67,-47,-23,7,14,20,15,15,14,16,17,4

X21.V1.312,65,58,42,27,12,24,37,45,53,57,54,49,52,56,66,71,71,64,64,54,49,54,59,64,64  
44,-38,-39,-27,-28,-23,-8,10,24,34,42,40,32,28,21,23,24,22,17,26,45,53,55,47,36,26,32,34  
23,-20,-31,-39,-45,-46,-30,-21,-9,-13,3

X14.V1.124,19,-77,-262,-546,-852,-1134,-1037,-846,-341,100,475,749,865,877,806,670,4  
125,-155,-193,-214,-217,-223,-194,-177,-264,-486,-858,-1151,-1092,-769,-157,377,783,10

40,-66,-100,-134,-175,-215,-222,-237,-209,-191,-147,-111,-88,-114,-318,-679,-1094,-1174  
540,39,544,893,1039,1041,941,787,582,391,214,1  
X9.V1.953,28,9,-15,-10,-14,-28,-38,-45,-33,-31,-32,-64,-80,-85,-75,-69,-53,-23,2,10,-14,-  
5,10,12,22,25,22,23,41,51,55,72,83,99,76,47,40,26,24,24,24,23,24,11,-2,8,19,28,26,9,1,10  
173,-172,-177,-161,-160,-163,-161,-160,-173,-177,-182,-196,-192,-181,-167,-142,-116,-70  
X10.V1.651,25,42,32,38,57,72,69,82,73,21,9,-7,17,13,19,29,22,50,76,78,110,181,153,110  
24,0,3,31,53,28,-15,-69,-108,-125,-114,-57,-31,-15,41,20,9,-5,-55,-35,-25,-41,-32,26,78,9  
18,17,24,41,43,37,39,32,10,24,49,29,22,7,-26,-41,-29,3,-21,-37,-29,-37,-6,14,-37,-64,-82,  
X15.V1.494,-426,-240,-60,152,306,431,455,423,362,284,194,108,31,-32,-80,-113,-141,-1  
170,-224,-316,-416,-492,-483,-358,-156,99,295,409,447,405,301,185,77,-11,-66,-95,-106,  
140,-143,-152,-159,-166,-192,-262,-360,-384,-293,-38,235,473,587,578,497,383,273,202,  
302,-299,-293,1  
X15.V1.161,57,39,14,-14,-27,-26,-33,-54,-75,-93,-92,-76,-64,-38,5,54,104,121,124,82,52,  
28,-50,-74,-100,-120,-119,-109,-71,-40,-11,11,37,57,63,50,18,-16,-51,-75,-95,-100,-72,-28  
202,-146,-77,-41,-1,14,42,42,33,4,-35,-66,-102,-135,-140,-105,-44,23,78,99,85,47,16,-19,  
X2.V1.703,2,7,7,13,4,-2,-9,-20,-21,-26,-23,-27,-25,-26,-27,-30,-25,-23,-17,-7,-2,0,3,7,11,9  
21,-20,-16,-18,-23,-29,-39,-47,-51,-49,-52,-55,-58,-63,-69,-75,-81,-86,-87,-87,-90,-95,-97,  
52,-61,-64,-63,-63,-73,-78,-85,-87,-91,-87,-72,-63,2  
X20.V1.58,-10,-16,-17,-19,-10,1,6,11,6,13,13,20,21,15,-5,-20,-29,-45,-47,-43,-34,-36,-40,  
33,-33,-30,-23,-12,-12,-19,-34,-63,-92,-117,-134,-139,-124,-103,-77,-44,-10,13,14,17,5,-3  
23,-18,-15,-11,6,23,29,11,4,-7,-3,7,25,47,55,63,54,40,5  
X14.V1.13,-9,-4,9,18,23,20,17,9,7,20,29,34,32,13,-11,-31,-35,-27,-29,-18,-14,-  
2,7,12,18,15,25,25,24,16,21,29,38,50,48,46,43,49,48,45,51,56,59,64,79,90,110,123,117,1  
4,0,14,29,37,48,55,52,45,32,15,-1,-13,-20,-29,-28,-16,0,9,0,-9,-22,-33,-42,-41,-36,-21,-11,  
X19.V1.344,0,-161,-265,-261,-105,-33,428,673,764,656,274,-146,-491,-602,-872,-1060,-  
21,212,511,769,883,843,697,619,487,372,324,297,334,339,290,241,143,179,299,389,421  
97,113,336,688,905,1038,987,687,95,-416,-802,-916,-689,-192,505,1002,1228,1100,832,  
843,-780,-421,59,328,595,797,689,242,-407,-972,-1189,-1099,-655,-93,450,876,909,739,  
X13.V1.23,-77,-75,-60,-2,7,10,24,-14,-35,-44,-49,-11,10,-8,-58,-109,-101,-74,-49,-40,-38,  
11,7,20,1,-25,-43,-25,-6,-4,12,7,49,62,64,28,-2,0,36,24,19,13,8,33,68,49,23,-9,-22,-1,-1,39

33,4,25,43,39,42,31,5,36,64,73,59,15,4,-7,44,29,41,-5,2,51,69,103,73,5

X4.V1.444,9,39,67,111,149,177,208,237,272,287,283,247,221,212,241,282,309,306,291,7

190,-331,-378,-350,-127,95,242,217,65,-157,-326,-389,-341,-263,-218,-186,-152,-112,-52

170,-235,-360,-393,-407,-209,53,287,392,301,89,-151,-272,-265,-165,-51,28,64,73,63,69,

X13.V1.813,50,48,49,42,37,34,30,29,24,8,-6,-12,-19,-33,-34,-24,-13,-16,-12,-11,-1,-1,-3,-

6,7,40,61,69,66,57,65,71,86,81,65,50,32,5,-6,-15,-15,-

4,5,21,42,53,74,73,74,71,72,77,74,71,64,68,72,85,77,76,76,75,81,93,87,83,72,70,71,72,72

-1,1,4,16,3

X16.V1.403,-37,-38,-46,-60,-71,-79,-80,-74,-65,-58,-51,-44,-41,-40,-41,-39,-39,-47,-51,-6

3,7,17,24,26,28,26,24,21,20,22,21,26,30,31,35,34,37,34,39,46,47,47,46,46,46,47,45,40,33

9,-9,-6,-3,-1,3,1,5,2

X7.V1.151,57,57,76,81,61,28,3,-4,-4,22,38,47,44,46,47,54,65,64,57,44,34,29,17,3,4,12,50

2,21,54,86,95,73,40,31,58,92,122,141,137,120,91,85,76,82,80,72,52,43,43,30,26,27,45,60

108,116,116,109,80,55,24,13,10,17,47,68,89,91,88,82,100,116,126,117,115,107,102,112,9

X4.V1.521,-7,-2,-1,-12,-33,-58,-82,-107,-111,-98,-64,-29,1,17,15,13,11,3,-14,-24,-39,-51,

16,33,47,22,-12,-38,-53,-60,-70,-82,-106,-125,-132,-120,-97,-63,-24,-8,-6,-17,-35,-43,-47,

136,-141,-126,-112,-82,-42,1,19,21,1,-26,-46,-63,-79,-105,-115,-117,-107,-88,-60,-33,-25,

X6.V1.2,64,72,55,20,-14,-22,-15,-5,-4,-15,-37,-29,-18,-1,5,2,-10,-29,-35,-34,-26,-10,9,23,

25,-4,2,11,7,6,1,5,22,35,47,38,33,15,13,21,25,20,19,29,42,59,73,84,84,68,58,49,56,57,51,

34,-22,-1,0,-12,-21,-28,-19,5

X13.V1.573,-21,-37,-43,-40,-44,-41,-36,-31,-26,-14,-5,0,1,6,9,5,0,-10,-22,-25,-30,-40,-54,

2,13,24,34,36,36,37,40,41,43,40,37,35,33,27,21,26,22,19,13,10,2,4,8,9,1,3,-2,-9,-14,-19,-1

40,-29,-17,-4,11,20,29,37,39,37,34,30,27,17,10,2,-9,-13,-19,-18,-22,-19,-18,-18,-22,-15,-1

X6.V1.262,34,30,28,16,14,0,-7,-14,-10,-10,-9,-5,-3,7,13,24,34,49,65,70,73,68,69,63,57,54

11,-10,-2,1,3,1,0,-16,-25,-33,-39,-45,-48,-40,-39,-30,-26,-21,-21,-26,-31,-34,-32,-28,-28,-3

19,-30,-34,-40,-45,-47,-40,-31,-19,-10,-10,-5,-3,3

X21.V1.301,-21,-39,-56,-56,-48,-35,-17,10,22,28,36,36,37,33,35,22,22,21,16,-9,-32,-46,-6

40,-46,-36,-25,-39,-58,-77,-90,-93,-87,-75,-69,-55,-24,2,19,33,35,20,1,-23,-41,-51,-42,-31

23,-17,-19,-18,-6,7,9,11,-1,4

X9.V1.494,-195,-6,192,373,462,490,427,349,265,185,125,67,21,-26,-58,-93,-124,-145,-15

6,187,413,582,627,546,408,245,104,-2,-80,-126,-157,-179,-191,-210,-215,-234,-259,-289,  
230,-299,-394,-488,-567,-583,-516,-388,-235,-77,73,259,437,545,570,495,388,270,169,84,  
530,-420,-218,68,347,1  
X2.V1.501,-67,-63,-62,-43,-32,-37,-49,-64,-76,-91,-94,-96,-98,-96,-94,-83,-80,-70,-57,-62,  
66,-51,-45,-48,-65,-79,-83,-87,-78,-67,-55,-67,-76,-81,-87,-86,-78,-68,-60,-51,-48,-48,-49,  
107,-104,-100,-108,-105,-104,-105,-105,-100,-97,-105,-103,-93,-78,-55,-40,-35,-41,-44,-5  
X6.V1.254,-229,-101,45,179,245,287,314,312,301,283,257,220,169,102,21,-51,-110,-152,  
155,-219,-286,-293,-221,-72,88,220,317,365,380,363,313,260,203,163,123,88,64,36,7,-28,  
64,122,269,356,394,404,379,342,285,222,135,66,6,-39,-83,-97,-109,-126,-146,-188,-229,  
X18.V1.354,23,35,79,153,243,332,400,443,454,416,345,240,111,-44,-190,-301,-363,-383,  
25,-23,-13,8,50,96,125,137,128,113,77,20,-47,-109,-164,-200,-220,-218,-200,-169,-136,-1  
6,8,20,35,50,65,71,74,76,72,71,69,70,71,78,87,96,103,103,99,88,84,81,85,81,59,17,-27,-4  
X21.V1.974,-508,-483,-407,-301,-194,-109,-35,60,170,266,348,376,367,327,248,177,125,  
69,16,92,158,183,179,179,176,120,-51,-290,-483,-576,-548,-441,-321,-196,-106,-19,90,21  
80,-76,-20,72,159,220,231,213,202,184,109,-83,-333,-542,-619,-592,-494,-373,-256,-149,  
X19.V1.822,-78,-74,-75,-75,-78,-81,-84,-86,-84,-83,-79,-74,-69,-63,-58,-53,-53,-65,-62,-6  
77,-82,-85,-80,-77,-72,-69,-75,-77,-86,-90,-94,-91,-90,-86,-86,-85,-84,-86,-87,-88,-83,-84,  
68,-62,-54,-57,-56,-59,-57,-56,-51,-52,-53,-54,-54,-55,-53,-53,-44,-39,-40,-38,-36,-32,-34,  
X11.V1.53,-71,-53,-43,-22,0,8,2,-10,-19,-15,-25,-36,-51,-56,-58,-53,-47,-35,-34,-44,-59,-5  
75,-43,-18,-4,15,42,54,58,63,54,27,8,-29,-37,-49,-54,-43,-21,19,46,52,38,11,-14,-39,-56,-8  
27,-24,-35,-24,-10,-1,-8,-15,-5,7,34,58,63,78,77,68,60,53,53,64,78,91,91,69,57,26,4,-8,5  
X14.V1.552,-68,-70,-57,-80,-76,-94,-89,-72,-58,-21,-27,-15,-23,-7,30,66,87,85,87,57,84,9  
14,17,29,59,60,75,80,75,70,51,19,-6,-8,-13,-5,-13,22,24,55,61,93,101,85,75,51,47,56,46,3  
17,14,40,66,69,83,101,99,98,75,59,51,34,7,-28,-55,-89,-65,-59,-11,19,36,41,46,40,24,15,1  
X17.V1.374,11,7,14,19,35,46,62,70,70,111,184,242,259,197,66,-98,-220,-194,-77,66,167  
120,-132,-138,-150,-152,-163,-170,-174,-178,-182,-186,-175,-159,-116,-81,-75,-110,-160,  
186,-167,-142,-112,-93,-75,-64,-50,-34,-23,-11,-2,12,22,28,42,54,58,63,73,77,84,91,98,98  
X9.V1.813,-32,-16,-4,9,15,35,33,27,21,19,18,21,25,33,33,44,39,36,23,27,27,22,24,26,24,  
20,-27,-25,-23,-24,-32,-29,-25,-10,6,26,56,75,89,90,90,98,106,103,115,125,136,140,154,1  
3,6,17,34,37,46,51,49,46,44,33,17,1,-13,-23,-16,-4,-1,5,3



X12.V1.4,26,18,33,51,46,33,-7,-53,-98,-128,-158,-155,-127,-93,-73,-63,-50,-36,-21,-2,4,1  
11,-1,-7,-9,-29,-48,-59,-57,-38,-40,-43,-50,-58,-56,-71,-96,-127,-119,-111,-99,-91,-78,-74,  
26,-14,-20,-10,-20,-23,-34,-40,-29,-7,19,26,23,20,27,14,-6,-14,-17,-11,-12,-16,-24,-25,-19  
X6.V1.116,-392,-846,-1210,-1224,-960,-648,-391,-389,-542,-750,-773,-690,-470,-251,-24  
21,81,214,275,296,334,375,418,446,482,517,568,612,656,707,752,770,682,534,383,368,6  
975,-1217,-1120,-925,-725,-604,-490,-363,-288,-188,-78,48,135,179,171,149,133,144,208  
15,37,62,119,232,323,407,334,195,18,-100,-233,-358,1  
X16.V1.963,105,122,118,88,36,-1,-19,-17,-4,-17,-24,-58,-69,-63,-56,-32,-29,4,12,35,39,9  
18,30,59,79,71,88,107,135,147,143,138,127,130,153,179,186,162,122,77,62,75,90,99,96,  
1,-17,-10,-6,-7,-11,-16,1,35,67,80,85,79,73,77,95,94,104,119,109,96,82,72,64,62,59,55,2  
X22.V1.511,-14,-3,8,8,-5,-22,-36,-60,-85,-105,-122,-125,-108,-81,-59,-41,-32,-30,-30,-19  
23,16,39,29,-3,-41,-72,-101,-115,-111,-101,-88,-68,-49,-40,-39,-41,-37,-31,-21,-4,3,2,-18,  
6,13,22,18,4,-15,-47,-84,-114,-125,-130,-114,-93,-67,-47,-28,-9,-3,3,6,-4,-30,-56,-68,-77,-