

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет комп'ютерних наук та кібернетики
Кафедра теоретичної кібернетики

**Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки**

на тему:

Методи статистичної обробки електрокардіограм

Виконала: студентка 4-го курсу
Віталіна МОРОЗ

(підпис)

Науковий керівник:
професор, доктор фіз.-мат. Наук
Анатолій ПАШКО

(підпис)

Засвідчую, що в цій роботі
немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студентка

(підпис)

Роботу розглянуто й допущено до захисту
на засіданні кафедри теоретичної кібернетики
« ____ » _____ 2022 р.,

протокол № ____

Завідувач кафедри доктор фіз.-мат. наук, професор
Юрій КРАК

(підпис)

КИЇВ-2022

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи 50 сторінок, 45 ілюстрації, 8 джерело посилань.

ЕКГ, СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЕКГ , PYTHON, ФІЛЬТРАЦІЯ ЕЛЕКТРОКАРДІОГРАМИ

Об'єктом роботи є дані запису одно-канальної електрокардіограми людини протягом 24 годин.

Метою роботи є визначення основних статистичних характеристик, попередня обробка, фільтрація запису кардіограми статистичними методами для визначення аномалій в електрокардіограмі.

Інструментами реалізації є мова програмування Python та бібліотек numpy, pandas, Scipy

Результат роботи: досліджено записи електрокардіограми на аномалії. Було проведено порівняльний аналіз різних методів усунення шумів з запису електрокардіограм та їхніх результатів ,знайдено основні статистичні характеристики.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	2
1 ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ.....	11
1.1 Основи одноканальної кардіограми.....	11
1.2 Огляд електричної активності серця.....	12
1.3 Зображення на одноканальних кардіограмах.....	13
2 ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ОДНО-КАНАЛЬНИХ КАРДІОГРАМ	16
2.1 Методи попередньої обробки кардіограм.....	16
2.2 Фільтрація сигналу.....	18
3 Статистичні методи для одноканального аналізу.....	21
3.1 Основні статистичні характеристики.....	21
3.2 Огляд методів аналізу Фур'є та спектральної оцінки для аналізу.....	22
4 ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ.....	24
4.1 Мова Python.....	24
4.2 Scipy.....	25
4.3 Інші інструменти реалізації.....	25
5 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	26
5.1 Опис отриманих даних.....	26
5.2 Виведення гістограм для кожного файлу та нормалізація . Основні статистичні характеристики.....	26
5.3 Застосування різних методів фільтрування для усунення шумів.....	38
5.4 Перетворення Фур'є.....	45
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53

ВСТУП

Аналіз електрокардіограми (ЕКГ) відіграє важливу роль у контролі за здоров'ям серця та має значення в галузі кардіології. ЕКГ, також відомий як ЕКГ, є діагностичним інструментом, що вимірює електричну активність серця. Цей аналіз надає цінну інформацію про роботу серця, виявляє різноманітні порушення серця, допомагає в діагностиці серцево-судинних захворювань та контролює ефективність лікування.

За допомогою аналізу ЕКГ можна виявити аномалії, такі як порушення серцевого ритму (аритмії), порушення проведення електричних сигналів, зменшення кровотоку до серцевого м'яза (ішемія міокарда) та інфаркт міокарда (серцевий напад), на ранній стадії. Швидке виявлення цих аномалій дозволяє вчасно розпочати відповідні втручання та лікування, що сприяє поліпшенню результатів для пацієнтів.

Аналіз ЕКГ дозволяє медичним фахівцям відстежувати ефективність та прогрес втручань та лікування. Наприклад, він може оцінити вплив антиаритмічних препаратів на відновлення нормального серцевого ритму або оцінити успіх процедур, таких як катетеризація серця або шунтування коронарних артерій. Шляхом відстеження змін в ЕКГ з плином часу можна коригувати плани лікування для досягнення оптимальних результатів і забезпечення благополуччя пацієнтів.

Крім того, аналіз ЕКГ сприяє тривалому моніторингу здоров'я серця у людей з хронічними захворюваннями або високим ризиком серцево-судинних захворювань. За допомогою портативних пристроїв ЕКГ та систем дистанційного моніторингу можна отримувати безперервні або періодичні записи ЕКГ, що дозволяє виявляти зміни в роботі серця та своєчасно здійснювати втручання.

Незважаючи на широке використання традиційних підходів до аналізу ЕКГ та отримання цінної інформації від них, вони мають свої обмеження, що підкреслюють необхідність передових статистичних методів. Традиційні підходи можуть не повністю враховувати складність та змінливість сигналів ЕКГ. Ось кілька обмежень традиційних підходів та причини, чому передові статистичні методи є невід'ємними.

Суб'єктивність у візуальній інтерпретації: Традиційні підходи часто покладаються на візуальну інтерпретацію ЕКГ-сигналів підготовленими експертами. Однак цей процес суб'єктивний і схильний до мінливості між спостерігачами. Різні клініцисти можуть по-різному інтерпретувати ту саму ЕКГ, що призводить до непослідовних діагнозів і рішень щодо лікування. Сучасні статистичні методи забезпечують об'єктивні та кількісні вимірювання, зменшуючи суб'єктивність і підвищуючи надійність аналізу ЕКГ.

Обмежена кількісна інформація. Традиційний аналіз ЕКГ зазвичай зосереджується на конкретних характеристиках форми сигналу (наприклад, зубець Р, комплекс QRS, зубець Т), надаючи обмежену кількісну інформацію. Незважаючи на те, що ці функції є корисними, вони можуть не відобразити повний обсяг аномалій або незначних змін у функції серця. Удосконалені статистичні методи дозволяють отримувати широкий спектр кількісних характеристик із сигналів ЕКГ, уможливаючи більш комплексну оцінку здоров'я серця.

Нездатність працювати з шумовими сигналами: на сигнали ЕКГ часто впливають шуми з різних джерел, включаючи м'язові артефакти, рух електродів та електричні перешкоди. Традиційні підходи можуть важко впоратися з таким шумом і можуть призвести до неточних інтерпретацій або упущених аномалій. Розширені статистичні методи, такі як методи обробки сигналів і алгоритми зменшення шуму, можуть ефективно обробляти зашумлені сигнали та підвищувати точність аналізу ЕКГ.

Обмежений аналіз динамічних змін: традиційні підходи зазвичай зосереджуються на аналізі окремих записів ЕКГ, зроблених у певні моменти часу. Однак серцеві захворювання та аномалії можуть динамічно змінюватися з часом. Аналіз сигналів ЕКГ з одного моменту часу може не охопити повної картини стану серця пацієнта. Удосконалені статистичні методи, включаючи частотно-часовий аналіз і безперервний моніторинг, дозволяють досліджувати динамічні зміни в сигналах ЕКГ, надаючи цінну інформацію про розвиток серцевих захворювань.

Інтеграція багатовимірних даних: Сигнали ЕКГ є лише одним з аспектів здоров'я серця. Сучасні статистичні методи дозволяють інтегрувати багатовимірні дані, такі як демографічна інформація, клінічні параметри та інші результати діагностичних тестів. Поєднуючи дані ЕКГ з додатковою інформацією про пацієнта, можна досягти більш цілісного розуміння здоров'я серця, що веде до більш персоналізованих та ефективних стратегій лікування.

Прогностичне моделювання та стратифікація ризику. Традиційні підходи можуть недостатньо врахувати прогностичний потенціал даних ЕКГ для оцінки ризику несприятливих серцевих подій. Передові статистичні методи, включаючи алгоритми машинного навчання та методи прогнозного моделювання, можуть використовувати багату інформацію в сигналах ЕКГ для розробки точних моделей стратифікації ризику. Ці моделі дозволяють раннє виявлення осіб із високим ризиком і сприяють проактивному втручанню.

Мотивація для цієї дисертації впливає зі зростаючої потреби в точному та ефективному аналізі одноканальних кардіограм у сфері моніторингу здоров'я серця. Незважаючи на прогрес у медичних технологіях, все ще існують проблеми щодо ефективної обробки та вилучення значущої інформації з цих сигналів ЕКГ. Традиційні підходи часто не враховують складність і мінливість кардіологічних даних, обмежуючи точність діагнозів і ефективність стратегій лікування.

Тому основною мотивацією цієї дисертації є дослідження застосування передових статистичних методів для обробки одноканальних кардіограм. Використовуючи статистичні методи, ми прагнемо подолати обмеження традиційних підходів і покращити аналіз сигналів ЕКГ, що призведе до покращення моніторингу здоров'я серця та результатів пацієнтів.

Завданнями дослідження даної дипломної роботи є наступні:

Оглянути та проаналізувати наявну літературу щодо статистичних методів обробки одноканальних кардіограм. Це передбачає розуміння різних статистичних методів, які використовуються, їх сильних сторін, обмежень і потенційних застосувань.

Для розробки нових статистичних алгоритмів і методологій, розроблених спеціально для обробки та аналізу одноканальних кардіограм. Це включає вивчення передових методів обробки сигналів, методів виділення ознак і підходів статистичного моделювання.

Щоб оцінити продуктивність та ефективність запропонованих статистичних методів, використовуючи набори даних реальних одноканальних кардіограм. Це передбачає проведення комплексних експериментів, порівняння результатів з існуючими підходами та оцінку точності, надійності та обчислювальної ефективності розроблених методів.

Дослідити потенційні можливості застосування розроблених статистичних методів у моніторингу здоров'я серця. Це включає дослідження їх ефективності у виявленні серцевих аномалій, стратифікації ризику, прогностичного моделювання та тривалого моніторингу серцевих захворювань.

Надати практичні рекомендації та рекомендації щодо інтеграції передових статистичних методів у клінічну практику. Це передбачає розгляд проблем із запровадженням, міркувань щодо збору даних і потенційних переваг від застосування цих методів у реальних умовах охорони здоров'я.

Досягнувши цих цілей дослідження, ця дисертація має на меті зробити внесок у сферу моніторингу здоров'я серця, продемонструвавши цінність статистичних методів в обробці одноканальних кардіограм. Кінцевою метою є підвищення точності, ефективності та клінічної користі аналізу ЕКГ, що призведе до покращення кардіологічної допомоги, кращих результатів для пацієнтів та більш ефективного лікування серцевих захворювань.

1 ПРЕДМЕТНА ОБЛАСТЬ

1.1 Основи одноканальної кардіограми

Одноканальна кардіограма, також відома як одноканальна електрокардіограма (ЕКГ), — це запис електричної активності серця за допомогою одного електрода. Він надає цінну інформацію про серцевий ритм і може допомогти визначити різні серцеві захворювання.

Ось деякі основи одноканальної кардіограми:

Електроди: на одноканальних кардіограмах зазвичай використовуються три електроди: один позитивний електрод (розміщується на лівій руці), один негативний електрод (розміщується на правій руці) і один заземлюючий електрод (розміщується на лівій або правій нозі). Ці електроди вловлюють електричні сигнали, що генеруються серцем.

Розташування електродів: розташування електродів визначає конфігурацію електродів і специфічний вигляд електричної активності серця. Найбільш часто використовуваним одноканальним відведенням є відведення II, яке передбачає розміщення позитивного електрода на лівій руці та негативного електрода на правій нозі.

Електрична активність серця. Електрична активність серця генерується спеціалізованими клітинами провідної системи серця. Деполяризація та реполяризація цих клітин виробляють електричні сигнали, які можуть бути виявлені електродами. Отриманий сигнал називається кардіограмою або ЕКГ.

Компоненти форми хвилі: кардіограма складається з різних компонентів форми хвилі, включаючи зубці P, комплекси QRS і зубці T. Ці компоненти відповідають різним фазам серцевого циклу. Зубець P означає деполяризацію

передсердь, комплекс QRS — деполяризацію шлуночків, а зубець T — реполяризацію шлуночків.

Параметри вимірювання: одноканальні кардіограми забезпечують кілька важливих параметрів вимірювання. Параметри, які найчастіше вимірюють, включають частоту серцевих скорочень (кількість серцевих скорочень за хвилину), інтервал PR (проміжок часу між початком зубця P і початком комплексу QRS), тривалість QRS (ширина комплексу QRS) та інтервал QT (проміжок часу між початком комплексу QRS і кінцем зубця T).

Інтерпретація: кардіологи та медичні працівники інтерпретують одноканальні кардіограми для оцінки здоров'я серця та діагностики серцевих захворювань. Вони перевіряють морфологію форми сигналу, інтервали форми сигналу та наявність будь-яких аномалій, таких як аритмії, порушення провідності або ішемічні зміни.

Одноканальні кардіограми служать цінним діагностичним інструментом для оцінки стану серця та виявлення аномалій. Вони дають важливу інформацію про електричну активність серця, допомагають у діагностиці, лікуванні та моніторингу різних захворювань серця.

1.2 Огляд електричної активності серця

Електрична активність серця є фундаментальним аспектом фізіології серця і відіграє вирішальну роль у підтримці ритмічних скорочень серця. Розуміння електричної активності серця має важливе значення для діагностики та лікування різних захворювань серця. Ось огляд електричної активності серця:

Серцева система провідності: Серце має спеціалізовану систему провідності, яка координує електричні сигнали, відповідальні за ініціювання та регулювання серцебиття. До основних компонентів провідної системи серця належать синоатріальний (SA) вузол, атріовентрикулярний (AV) вузол, пучок

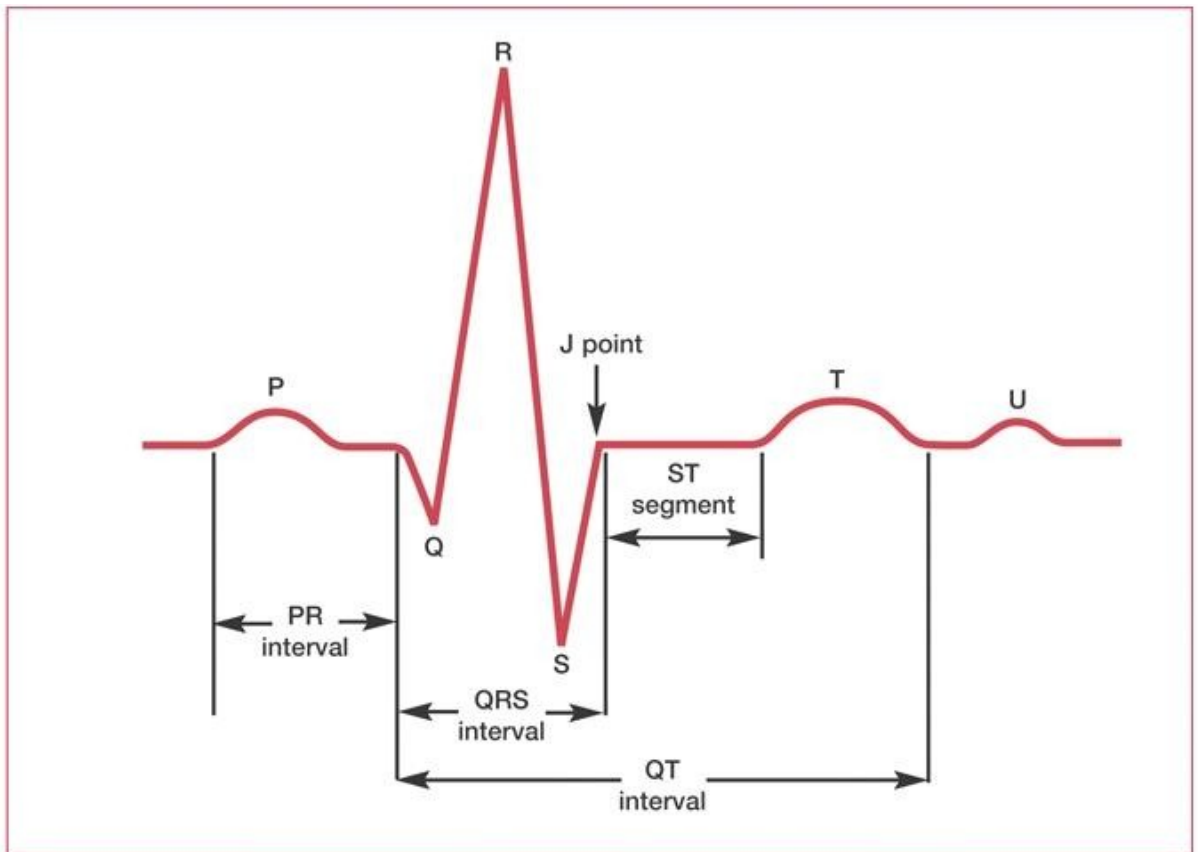
Гіса, гілки пучка Гіса та волокна Пуркіньє. Ці структури працюють разом, щоб забезпечити синхронізацію та ефективність електричних імпульсів у всьому серці.

Потенціал дії: Електрична активність серця генерується потенціалом дії, який є швидкою зміною електричного потенціалу на клітинній мембрані клітин серцевого м'яза. Потенціал дії ініціюється вузлом SA. Від вузла SA електричний сигнал поширюється по передсердях, викликаючи скорочення передсердь.

Деполаризація та реполаризація: під час потенціалу дії існують чіткі фази деполаризації та реполаризації. Деполаризація відбувається, коли електричний потенціал клітин серця стає більш позитивним, що призводить до скорочення серцевого м'яза. Реполаризація — це повернення електричного потенціалу до стану спокою, що готує серце до наступного скорочення.

1.3 Зображення на одноканальних кардіограмах

Найпоширенішим представленням одноканальної кардіограми є графік або траса, яка відображає електричну активність серця з часом. Зазвичай він складається з горизонтальної базової лінії з серією піків, западин і хвиль. ЕКГ складається з різних компонентів, зокрема зубця Р, комплексу QRS і зубця Т, які представляють певні електричні події в серцевому циклі.



Зображення 1 The basic pattern of electrical activity across the heart.

Зубець P: Зубець P виглядає як невеликий округлий сигнал на початку ЕКГ. Він являє собою деполяризацію (скорочення) передсердь, коли електричний сигнал поширюється від синоатріального (SA) вузла через м'язи передсердь.

Комплекс QRS: комплекс QRS – це більша, більш помітна форма хвилі, яка слідує за зубцем P. Він являє собою деполяризацію шлуночків, коли електричний сигнал поширюється через пучок Гіса, гілки пучка Гіса та волокна Пуркіньє. Комплекс QRS відображає початок скорочення шлуночків.

Зубець T: Зубець T виглядає як хвиля меншої форми після комплексу QRS. Він являє собою реполяризацію (розслаблення) шлуночків, коли вони готуються до наступного скорочення.

Інтервали та сегменти: у межах ЕКГ є різні інтервали та сегменти, які надають додаткову інформацію про час і тривалість певних електричних подій. Наприклад, інтервал PR вимірює час між появою зубця Р і початком комплексу QRS, що представляє час проведення від передсердь до шлуночків.

2 ПОПЕРЕДНЯ ОБРОБКА ОДНО-КАНАЛЬНИХ КАРДІОГРАМ

2.1 Методи попередньої обробки кардіограм

Методи попередньої обробки кардіограм включають низку кроків для підвищення якості записаного сигналу та полегшення точного аналізу. Ось кілька поширених методів, які використовуються для попередньої обробки кардіограм:

Фільтрація сигналу: методи фільтрації використовуються для видалення шуму та небажаних артефактів із сигналу кардіограми. Це включає фільтрацію високих частот для усунення блукання базової лінії та низькочастотного шуму, а також фільтрацію низьких частот для усунення високочастотного шуму та перешкод. Загальні типи фільтрів, які використовуються для обробки кардіограм, включають фільтри Баттерворта, Чебишева та вейвлет-фільтри.

Корекція базової лінії: на базову лінію сигналу кардіограми можуть впливати різні фактори, наприклад дрейф електрода та рух пацієнта. Методи корекції базової лінії використовуються для усунення блукання базової лінії та забезпечення центрування сигналу навколо нуля. Для оцінки та усунення дрейфу базової лінії можна застосувати такі методи, як поліноміальна підгонка або вейвлет-методи.

Усунення шуму: на додаток до фільтрації можна використовувати додаткові методи видалення шуму для подальшого зменшення шумових перешкод у сигналі кардіограми. Ці методи включають адаптивну фільтрацію, вейвлет-приглушення та медіанну фільтрацію. Мета полягає в тому, щоб зберегти важливі характеристики сигналу, мінімізуючи вплив шуму.

Покращення сигналу: Певні методи можуть бути застосовані для посилення певних характеристик або компонентів сигналу кардіограми. Наприклад, комплекс QRS, який представляє деполяризацію шлуночків, можна

посилити за допомогою таких методів, як вейвлет-перетворення або морфологічна фільтрація. Це допомагає покращити виявлення та аналіз важливих компонентів форми сигналу.

Видалення артефактів: на кардіограми можуть впливати різні артефакти, такі як м'язовий шум, рух електродів або електромагнітні перешкоди. Методи видалення артефактів включають ідентифікацію та видалення цих артефактів для отримання чистого сигналу. Це можна зробити за допомогою перевірки та редагування вручну або за допомогою автоматизованих алгоритмів, таких як адаптивна фільтрація або аналіз незалежних компонентів .

Оцінка якості: Після застосування методів попередньої обробки важливо оцінити якість обробленого сигналу. Для оцінки якості сигналу можна використовувати різні заходи оцінки якості, включаючи співвідношення сигнал/шум (SNR), співвідношення сигнал/артефакт (SAR) або візуальний огляд морфології сигналу. В даній роботі ми поговоримо більш детально про деякі з перелічених методів.

2.2 Фільтрація сигналу

Фільтрація сигналу є важливим кроком у попередній обробці кардіограм для видалення шуму та небажаних артефактів, які можуть спотворювати основний серцевий сигнал. Методи фільтрації допомагають підвищити якість сигналу та підвищити точність подальшого аналізу.

Фільтр низьких частот: фільтри низьких частот пропускають низькочастотні компоненти, одночасно послаблюючи високочастотні компоненти. Під час обробки кардіограми зазвичай застосовується фільтр низьких частот для видалення високочастотних шумів і перешкод, таких як м'язовий шум або електромагнітні перешкоди. Це допомагає зберегти важливі

низькочастотні компоненти сигналу, такі як зубці Р і Т, одночасно зменшуючи високочастотний шум.

Фільтрація високих частот: фільтри високих частот пропускають високочастотні компоненти, одночасно послаблюючи низькочастотні компоненти. Фільтрація високих частот використовується для усунення блукання базової лінії, яке є низькочастотним коливанням базової лінії сигналу, викликаним диханням або рухом пацієнта. Усуваючи блукання базової лінії, фільтрація високих частот допомагає центрувати сигнал навколо нуля та полегшує точний аналіз компонентів форми сигналу, таких як комплекс QRS.

Смугова фільтрація: смугові фільтри дозволяють пропускати певний діапазон частот, одночасно послаблюючи частоти за межами цього діапазону. Під час обробки кардіограми смуговий фільтр корисний для виділення цікавого діапазону частот, наприклад типового діапазону частот сигналу ЕКГ. Це допомагає усунути як низькочастотні шуми, так і високочастотні перешкоди, зосереджуючись на частотному діапазоні, що відповідає серцевій діяльності.

Адаптивна фільтрація: методи адаптивної фільтрації використовуються для адаптивної оцінки та видалення шуму на основі характеристик самого сигналу. Ці методи використовують адаптивні алгоритми, які регулюють коефіцієнти фільтра в реальному часі, щоб мінімізувати різницю між відфільтрованим сигналом і вихідним сигналом. Адаптивна фільтрація особливо корисна, коли характеристики шуму або артефактів змінюються з часом.

Вейвлет-фільтрація: вейвлет-перетворення є універсальними інструментами для обробки та аналізу сигналів. Вейвлет-фільтрація передбачає розкладання сигналу на різні частотні піддіапазони за допомогою вейвлет-перетворень і вибірково фільтрацію піддіапазонів для видалення шуму. Це дозволяє як часову, так і частотну локалізацію, що робить його придатним для придушення шуму та видалення артефактів у сигналах кардіограми.

Медіанний фільтр . Однією з особливостей цих фільтрів є їх виражена вибірковість щодо елементів масиву, що формує немонотонну складову послідовності чисел в межах вікна фільтра. Це дозволяє медіанному фільтру виділятися на тлі сусідніх відліків і виконувати значну попередню обробку сигналу.

Однак, медіанний фільтр не впливає на монотонну складову послідовності, залишаючи її без змін. Ця особливість дає можливість зберігати різкі межі об'єктів без спотворень та ефективно пригнічувати некорельовані або слабко корельовані перешкоди та малорозмірні деталі за умови відповідного вибору апертури фільтра.

Медіанний фільтр також знаходить застосування для усунення аномальних значень у масивах даних, зменшення викидів та імпульсних перешкод.

Таким чином, медіанний фільтр є потужним інструментом для покращення якості сигналів і виявлення суттєвих компонентів у цифрових даних. В дослідженні, яке присвячене статистичній обробці одноканальних кардіограм, застосування медіанного фільтра може бути важливим етапом для поліпшення сигналу та подальшого аналізу серцевої активності.

Вибір методу фільтрації залежить від конкретних характеристик шуму або артефактів, присутніх у сигналі кардіограми, і бажаного діапазону частот для аналізу. Для ефективного видалення різних типів шуму та підвищення якості сигналу кардіограми для подальшої обробки та аналізу часто корисно застосовувати комбінацію методів фільтрації.

3 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ДЛЯ ОДНОКАНАЛЬНОГО АНАЛІЗУ

3.1 Основні статистичні характеристики

При аналізі одноканальних кардіограм зазвичай використовуються кілька основних статистичних характеристик для опису та оцінки властивостей серцевого сигналу. Ці статистичні вимірювання дають цінну інформацію про основну серцеву діяльність і служать основними інструментами для кількісного аналізу. Ось деякі з основних статистичних характеристик, які використовуються в одноканальному аналізі:

Середнє значення: середнє значення являє собою середнє значення серцевого сигналу за певний проміжок часу. Він надає інформацію про центральну тенденцію сигналу та може вказувати на загальний рівень амплітуди серцевої діяльності.

Стандартне відхилення: стандартне відхилення вимірює дисперсію або варіабельність значень серцевого сигналу навколо середнього. Він дає уявлення про коливання амплітуди сигналу та може вказувати на рівень нерегулярності або варіабельності серцевої діяльності.

Дисперсія: дисперсія є квадратом стандартного відхилення та кількісно визначає середню квадратичну різницю між кожною точкою даних і середнім значенням. Він забезпечує міру поширення або розкиду значень сигналу та зазвичай використовується в статистичному аналізі.

Асиметрія: Асиметрія вимірює асиметрію розподілу серцевого сигналу. Він вказує, чи є розподіл перекошеним вліво чи вправо. Позитивна асиметрія вказує на довший хвіст з правого боку, тоді як негативна асиметрія вказує на довший хвіст з лівого боку.

Ексцес: ексцес описує форму розподілу та вимірює наявність важких хвостів або викидів. Він кількісно визначає ступінь відхилення сигналу від нормального розподілу. Високий ексцес вказує на розподіл із більшими хвостами, що вказує на наявність екстремальних значень або викидів.

Діапазон: діапазон - це різниця між максимальним і мінімальним значеннями серцевого сигналу. Він забезпечує просте вимірювання динамічного діапазону сигналу та може дати уявлення про мінливість амплітуди сигналу.

Процентиль: Процентилі використовуються для поділу розподілу сигналу на рівні інтервали. Наприклад, 50-й центиль відповідає медіані, яка представляє значення, нижче якого опускаються 50% точок даних сигналу. Процентилі надають інформацію про розподіл значень і можуть бути корисними для визначення екстремальних або ненормальних значень.

Ці базові статистичні характеристики дають кількісний опис одноканальної кардіограми і служать основою для подальшого аналізу. Вони допомагають зрозуміти загальну поведінку серцевого сигналу, виявляти аномалії та порівнювати різні сигнали чи популяції. Аналізуючи ці статистичні показники, можна отримати цінну інформацію щодо здоров'я серця та функціонування людини.

3.2 Огляд методів аналізу Фур'є та спектральної оцінки для аналізу

Значну роль в аналізі одноканальних електрокардіограм (ЕКГ) відіграють методи аналізу Фур'є та спектрального оцінювання. Ці методи дозволяють дослідити частотний вміст ЕКГ-сигналу та отримати цінну інформацію про основну серцеву діяльність

Перетворення Фур'є: перетворення Фур'є є основним інструментом для аналізу сигналів у частотній області. Він розкладає сигнал на його складові частотні компоненти. У контексті аналізу ЕКГ перетворення Фур'є можна

застосувати для отримання частотної інформації, пов'язаної з різними серцевими явищами, такими як частота серцевих скорочень, аритмії та спектральний розподіл потужності. Отриманий частотний спектр дає змогу зрозуміти домінуючі частотні компоненти, присутні в сигналі ЕКГ.

Спектральна щільність потужності (PSD): PSD є мірою розподілу потужності сигналу між різними частотними компонентами. Він надає інформацію про енергію або потужність сигналу на різних частотах. Під час аналізу ЕКГ оцінка PSD може виявити важливі діапазони частот, пов'язані з різною серцевою діяльністю. Наприклад, смуга високих частот відповідає варіаціям, пов'язаним з диханням, тоді як смуга низьких частот пов'язана із симпатичними та парасимпатичними впливами на серце.

Короткочасне перетворення Фур'є (STFT): STFT розширює перетворення Фур'є для аналізу сигналів зі змінною в часі частотою. Він розбиває сигнал на короткі сегменти та застосовує до кожного сегмента перетворення Фур'є. Це дозволяє нам спостерігати зміни частоти ЕКГ-сигналу з часом. STFT корисний для виявлення тимчасових подій, змінних у часі ритмів і аналізу нестационарних сигналів ЕКГ.

Ці методи аналізу Фур'є та спектральної оцінки дають цінну інформацію про частотні характеристики одноканальних сигналів ЕКГ. Вони дозволяють ідентифікувати специфічні частотні компоненти, пов'язані з різними серцевими явищами, і допомагають у діагностиці та моніторингу серцевих захворювань. Застосовуючи ці методи, дослідники та медичні працівники можуть отримати глибше розуміння основної серцевої динаміки та розробити більш ефективні стратегії для оцінки та моніторингу здоров'я серця.

4 ВИБІР ЗАСОБІВ РЕАЛІЗАЦІЇ

4.1 Мова Python

Python має багату екосистему бібліотек і фреймворків, спеціально розроблених для наукових обчислень, аналізу даних і обробки сигналів. Такі бібліотеки, як SciPy, pandas, NumPy і scikit-learn, надають широкий спектр функцій і інструментів для ефективного обробки та аналізу даних ЕКГ.

Простота використання: Python відомий своєю простотою та читабельністю, що полегшує написання та розуміння коду. Синтаксис і структура Python роблять його доступним як для початківців, так і для досвідчених програмістів, дозволяючи швидше розробляти та створювати прототипи алгоритмів обробки ЕКГ і робочих процесів.

Python пропонує величезну колекцію спеціалізованих бібліотек і пакетів для різних завдань обробки ЕКГ. Ці бібліотеки надають функції для фільтрації сигналів, виділення ознак, виявлення аномалій, класифікації, візуалізації тощо. Дослідники та розробники можуть використовувати ці бібліотеки, щоб прискорити свою роботу та зосередитися на конкретних проблемах аналізу ЕКГ.

Можливості візуалізації: Python пропонує ряд бібліотек візуалізації, включаючи Matplotlib, Seaborn і Plotly, які дозволяють створювати інформативні та візуально привабливі графіки ЕКГ, графіки та діаграми. Візуалізація сигналів ЕКГ і результатів аналізу може допомогти зрозуміти закономірності, тенденції та аномалії в даних.

Інтеграція та сумісність: Python легко інтегрується з іншими технологіями та системами. Це забезпечує повну інтеграцію з рішеннями для зберігання даних, базами даних, веб-службами та іншими інструментами, які використовуються в робочих процесах обробки ЕКГ. Інтероперабельність Python

забезпечує гнучкість і сумісність із існуючими системами, забезпечуючи плавний обмін даними та співпрацю.

4.2 Scipy

Сигнали ЕКГ вимагають різних методів обробки сигналу, щоб покращити його якість та отримати значущу інформацію. SciPy надає функції та алгоритми для фільтрації, перетворення Фур'є, спектрального аналізу та інших операцій обробки сигналів. Ці можливості забезпечують зменшення шуму, видалення артефактів, аналіз частоти та виділення ознак із сигналів ЕКГ.

4.3 Інші інструменти реалізації

Дані ЕКГ часто передбачають обробку та маніпулювання структурованими даними, такими як дані часових рядів або багатоканальні записи. Pandas пропонує зручний та ефективний спосіб керування та попередньої обробки даних ЕКГ. Це дозволяє очищати, трансформувати, індексувати та змінювати форму даних, полегшуючи роботу зі складними наборами даних ЕКГ.

Аналіз ЕКГ часто потребує числових операцій і обчислень, таких як статистичні показники, математичні перетворення та матричні операції. NumPy надає потужний об'єкт-масив, який дозволяє ефективно зберігати числові дані та маніпулювати ними. Він пропонує широкий спектр математичних і статистичних функцій, необхідних для аналізу даних ЕКГ.

SciPy, pandas і NumPy реалізовані у високооптимізованому коді С і Fortran, що робить їх обчислювально ефективними для обробки великих наборів даних. Базові операції на основі масивів у NumPy значно покращують продуктивність порівняно з традиційними списками Python, дозволяючи швидше обробляти сигнали ЕКГ.

5 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

5.1 Опис отриманих даних

На вході було отримано 22 файли в кожному з яких знаходилось по одному мільйону точок . це запис електрокардіограми людини впродовж 24 годин.

На одну секунду припадає 250 точок .

Виконавши розрахунки $22 \cdot 1000000 \cdot 250 \cdot 3600 \sim 24.4$ год.

5.2 Виведення гістограм для кожного файлу та нормалізація . Основні статистичні характеристики

Знизу наведені результати основних статистичних характеристик для кожного файлу.

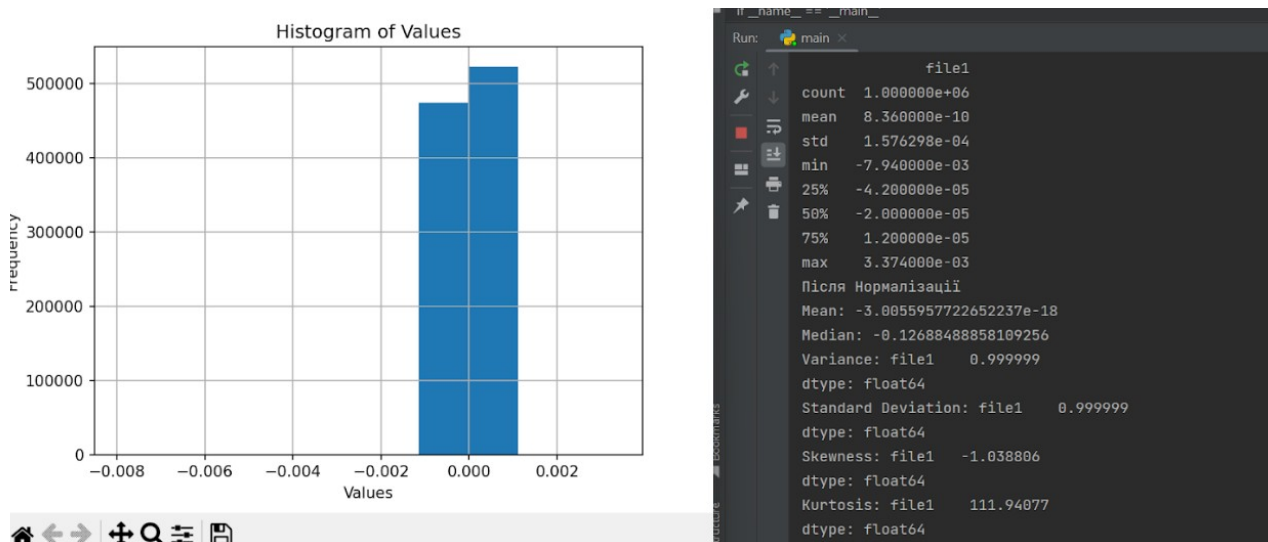


Рисунок. 2 Гістограма та статистичні характеристики для 1 файлу

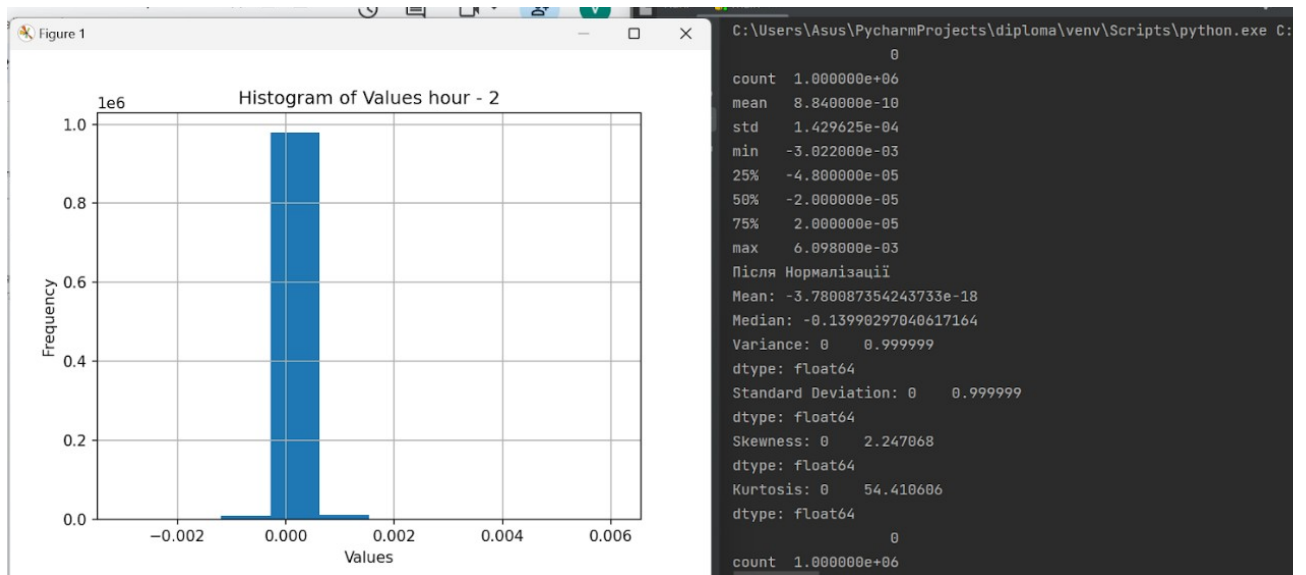


Рисунок. 3 Гістограма та статистичні характеристики для 2 файлу

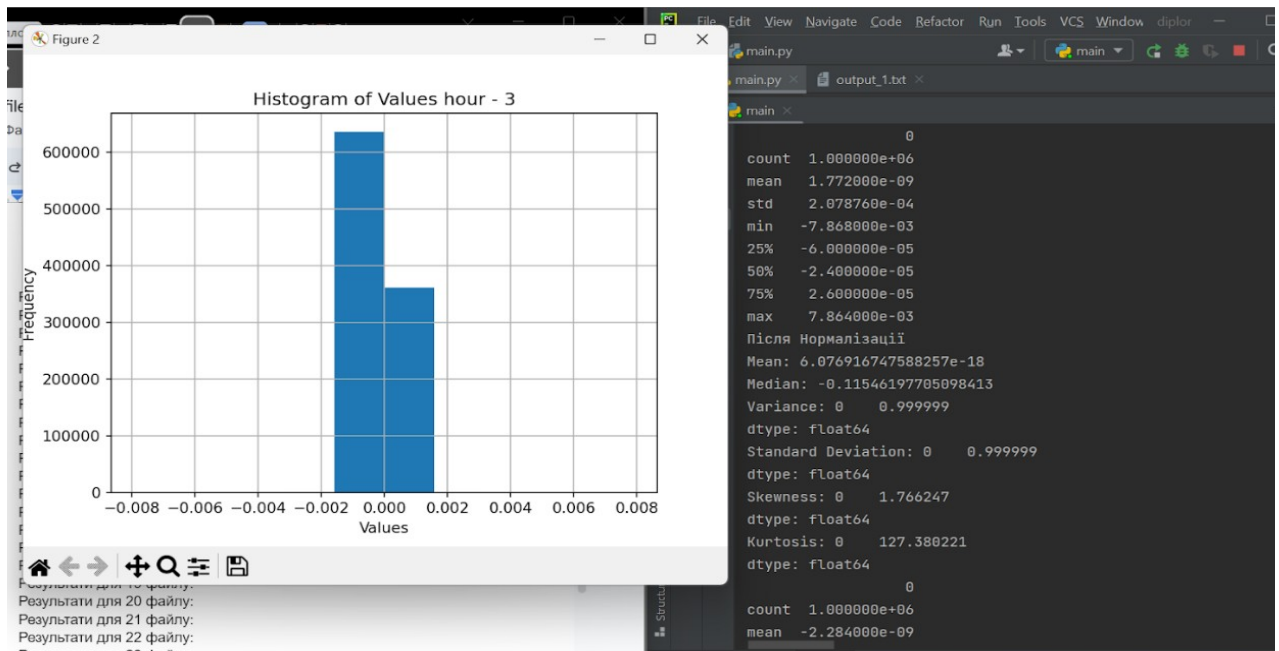


Рисунок. 4 Гістограма та статистичні характеристики для 3 файлу

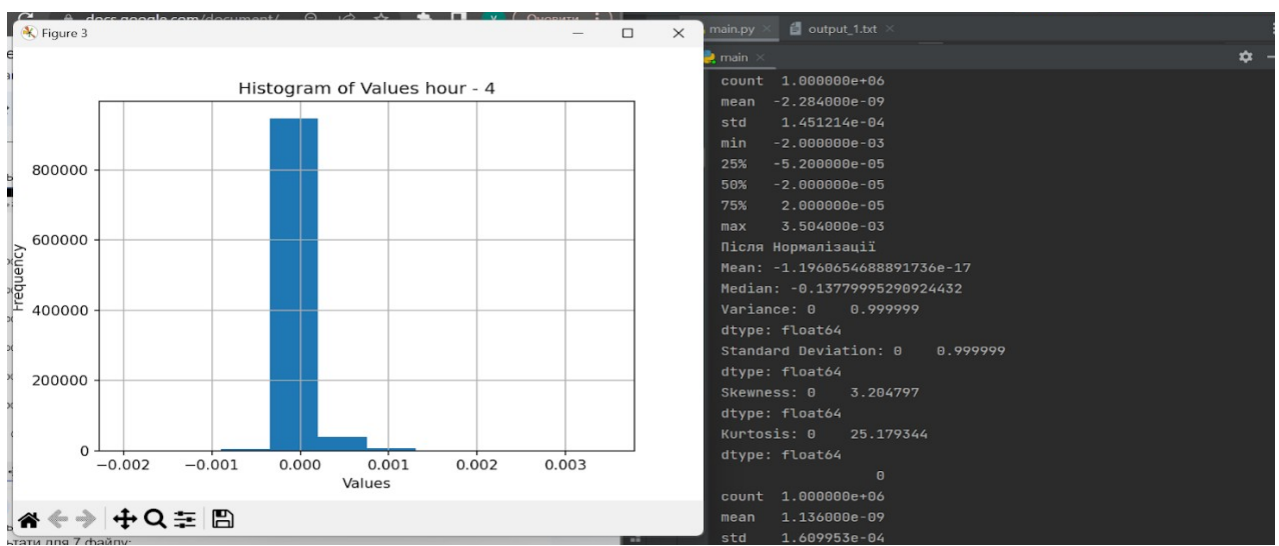


Рисунок. 5 Гістограма та статистичні характеристики для 4 файлу

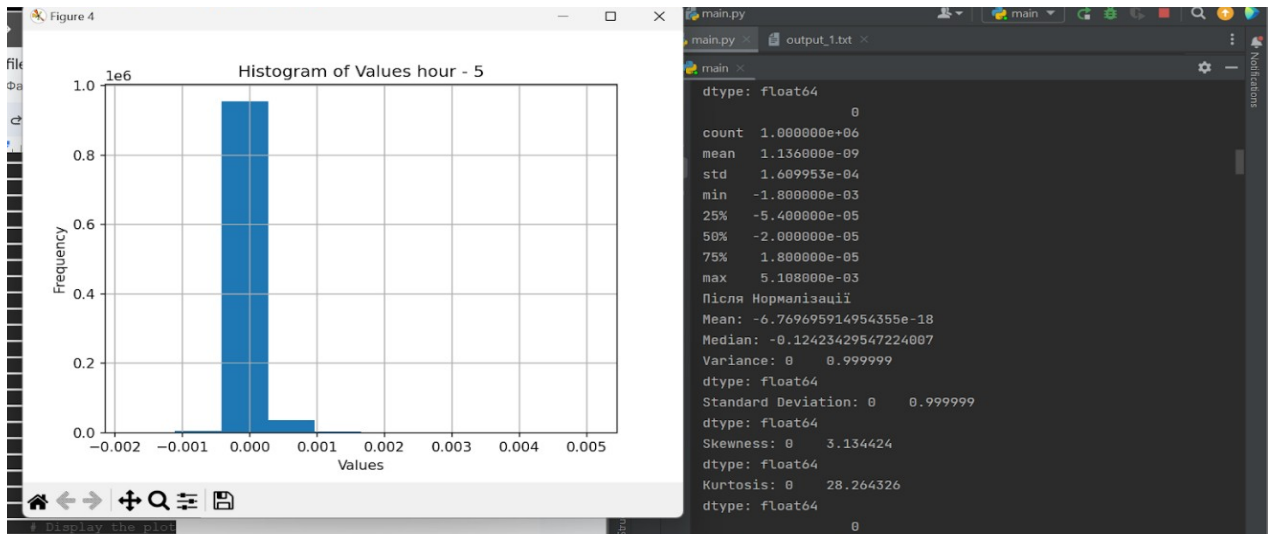


Рисунок. 6 Гістограма та статистичні характеристики для 5 файлу

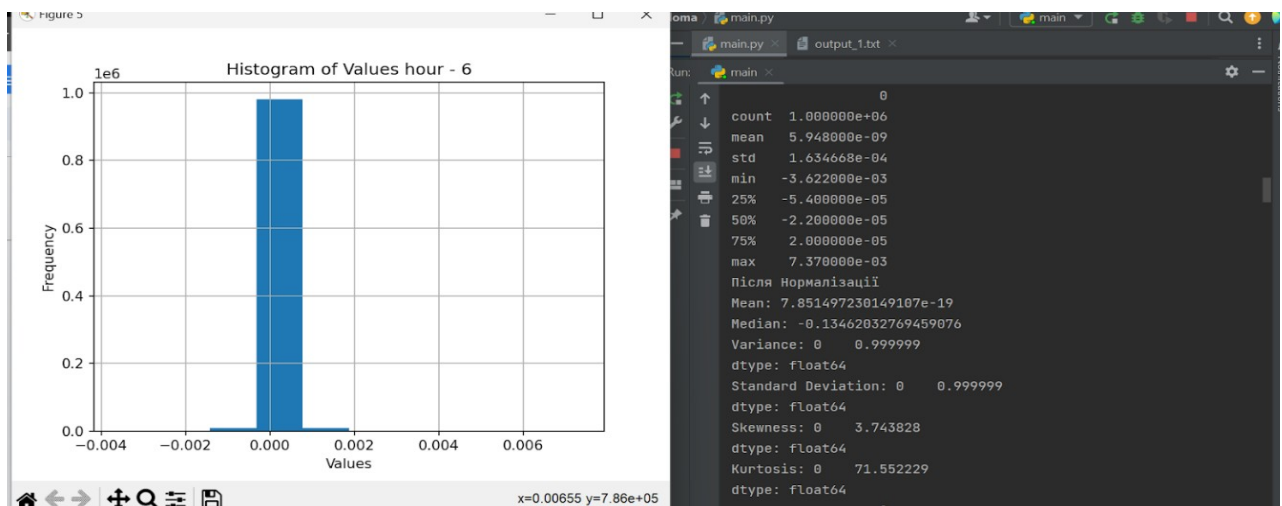


Рисунок. 7 Гістограма та статистичні характеристики для 6 файлу

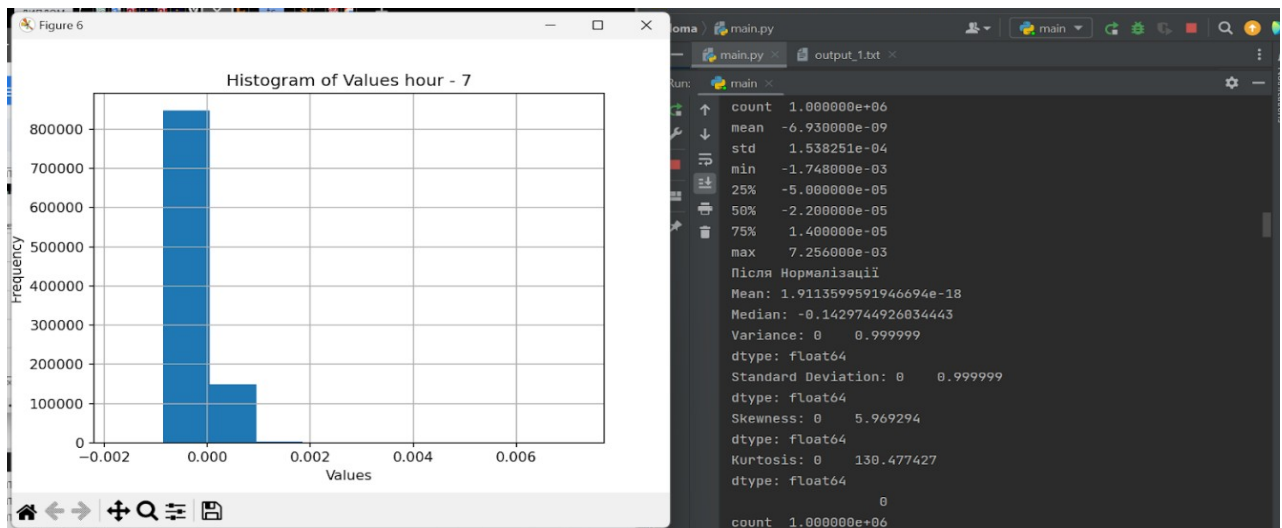


Рисунок. 8 Гістограма та статистичні характеристики для 7 файлу

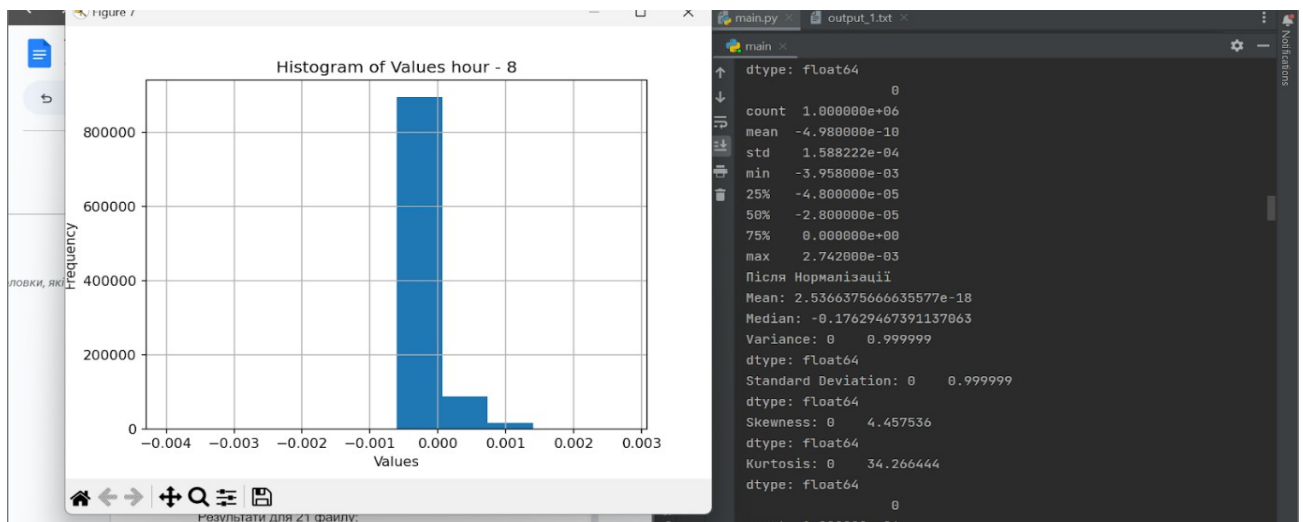


Рисунок. 8 Гістограма та статистичні характеристики для 8 файлу

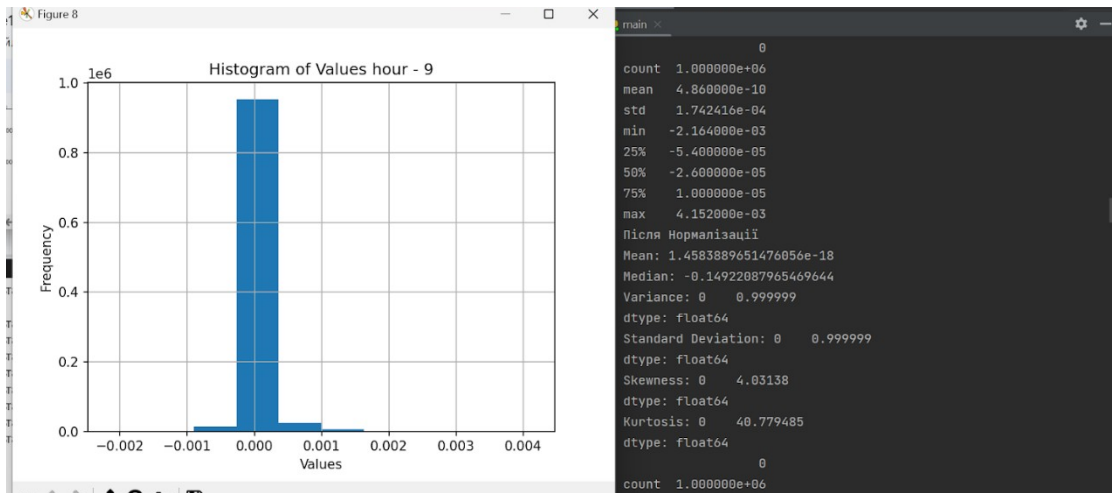


Рисунок. 10 Гістограма та статистичні характеристики для 9 файлу

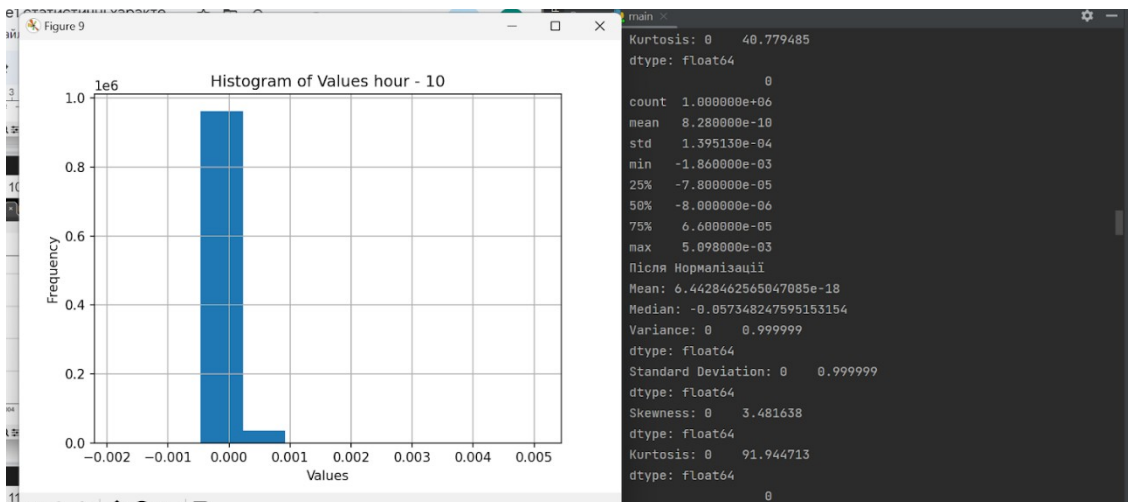


Рисунок. 11 Гістограма та статистичні характеристики для 10 файлу

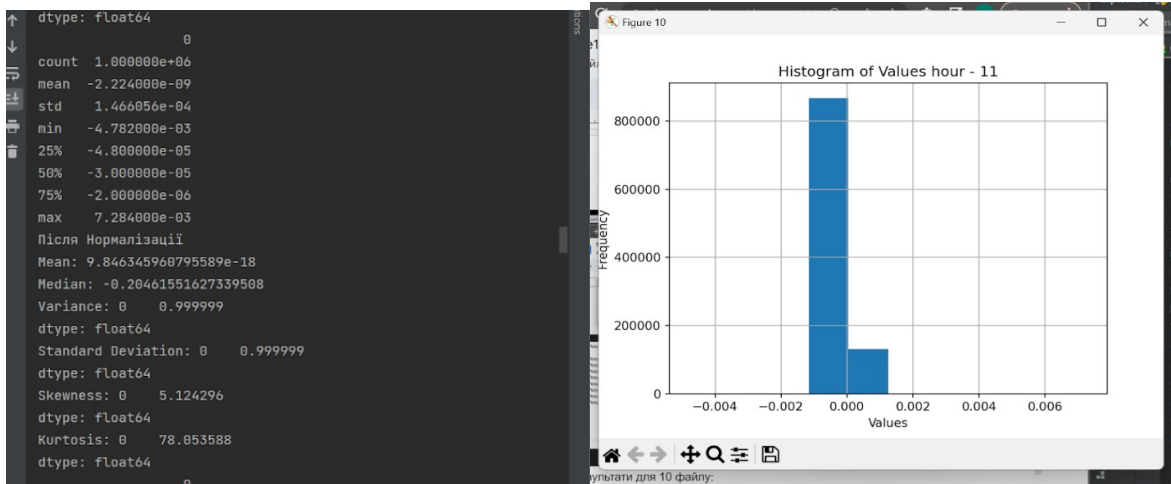


Рисунок. 12 Гістограма та статистичні характеристики для 11 файлу

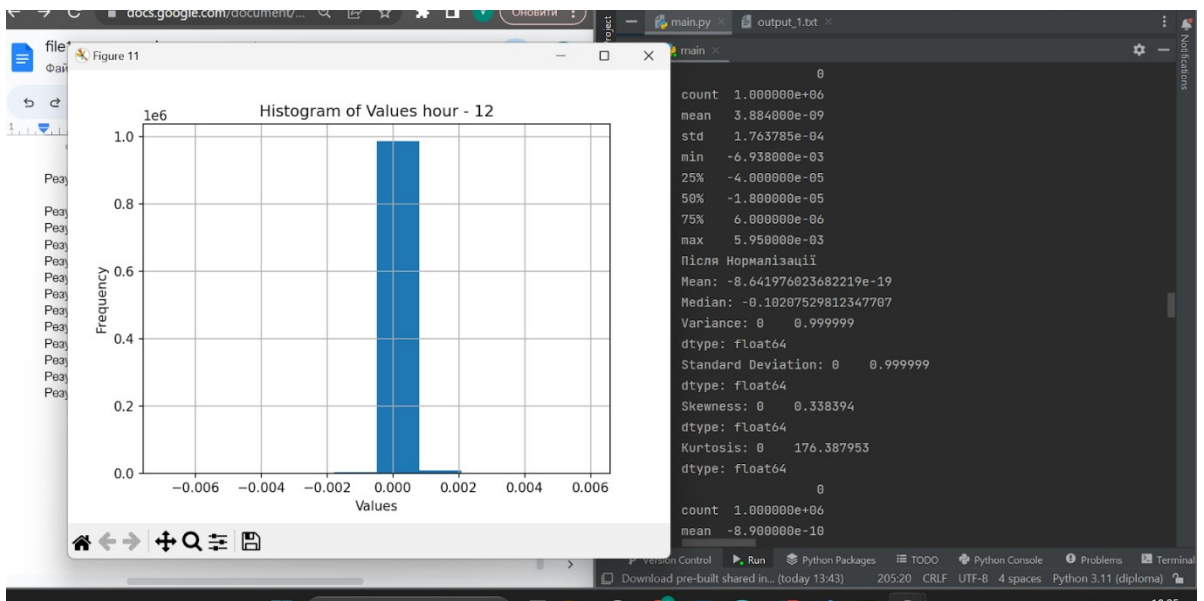


Рисунок. 13 Гістограма та статистичні характеристики для 12 файлу

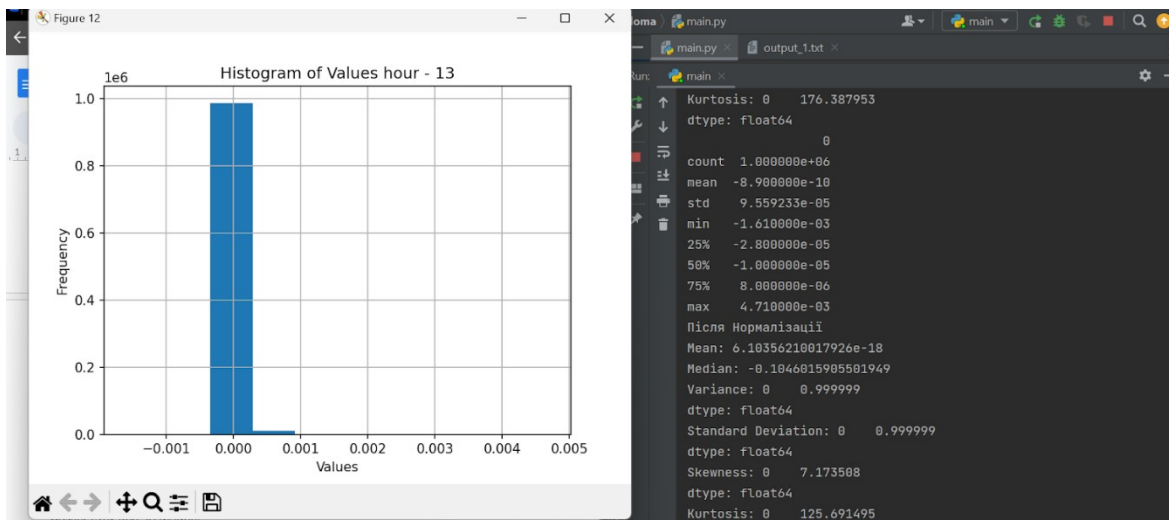


Рисунок. 14 Гістограма та статистичні характеристики для 13 файлу

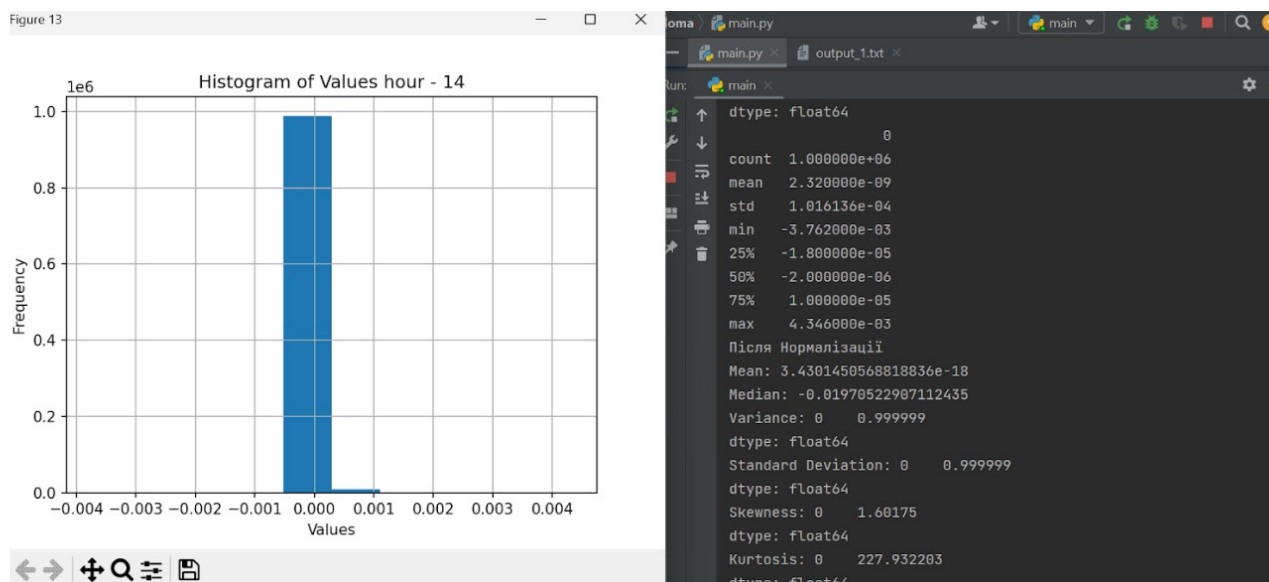


Рисунок. 15 Гістограма та статистичні характеристики для 14 файлу

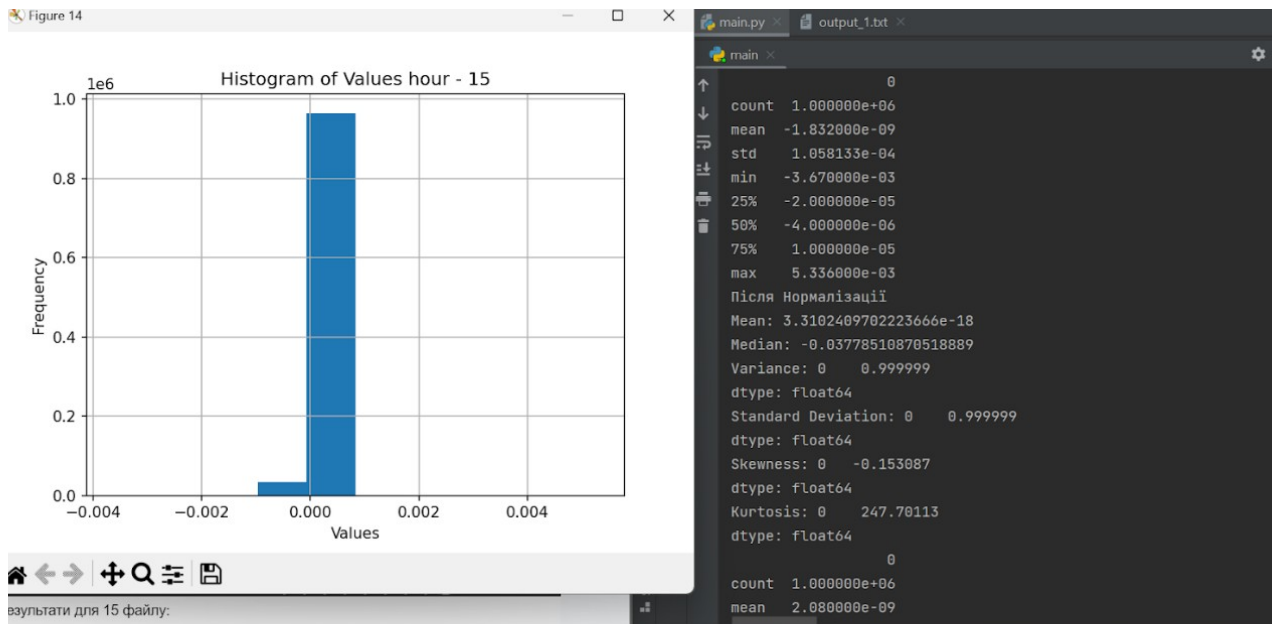


Рисунок. 16 Гістограма та статистичні характеристики для 15 файлу

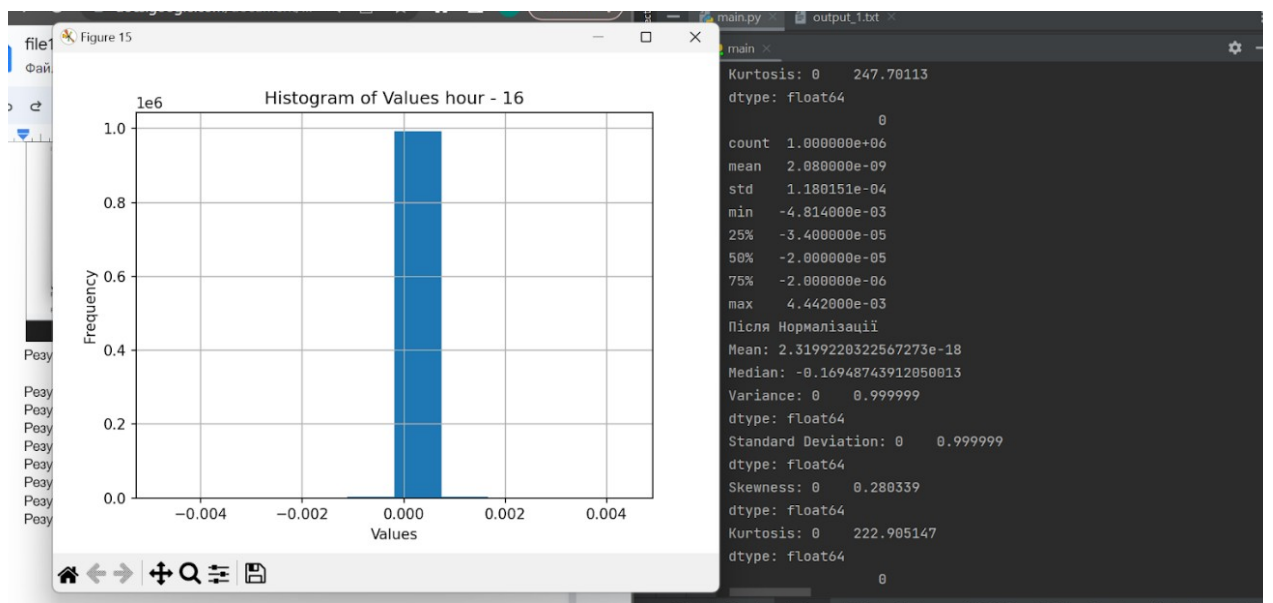


Рисунок. 17 Гістограма та статистичні характеристики для 16 файлу

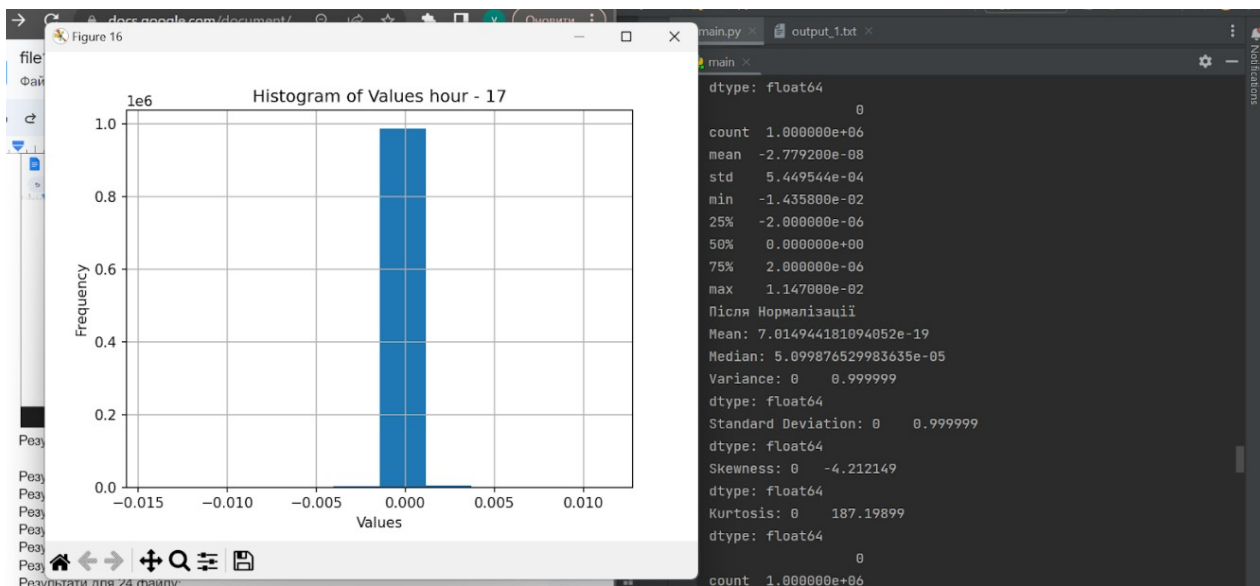


Рисунок. 18 Гістограма та статистичні характеристики для 17 файлу

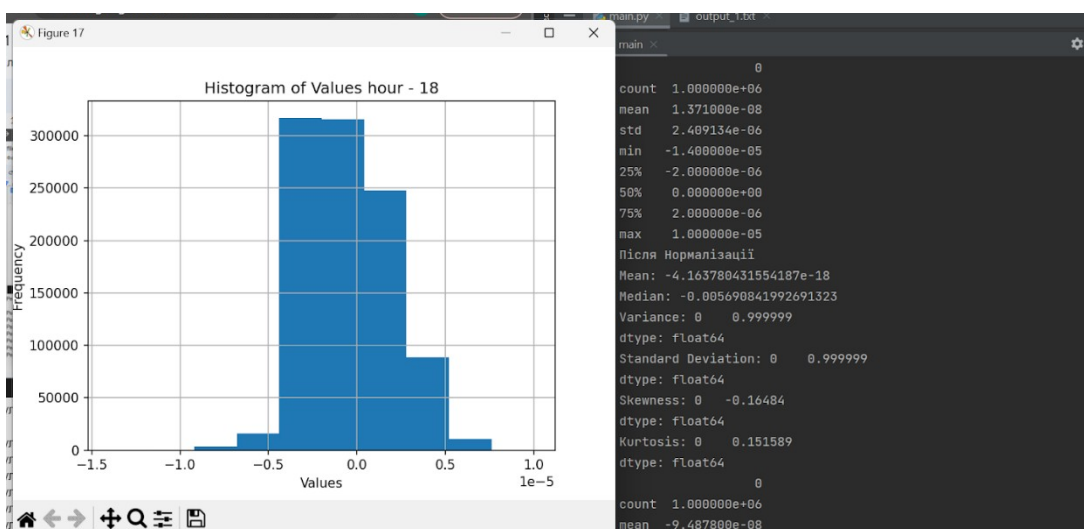


Рисунок. 19 Гістограма та статистичні характеристики для 18 файлу

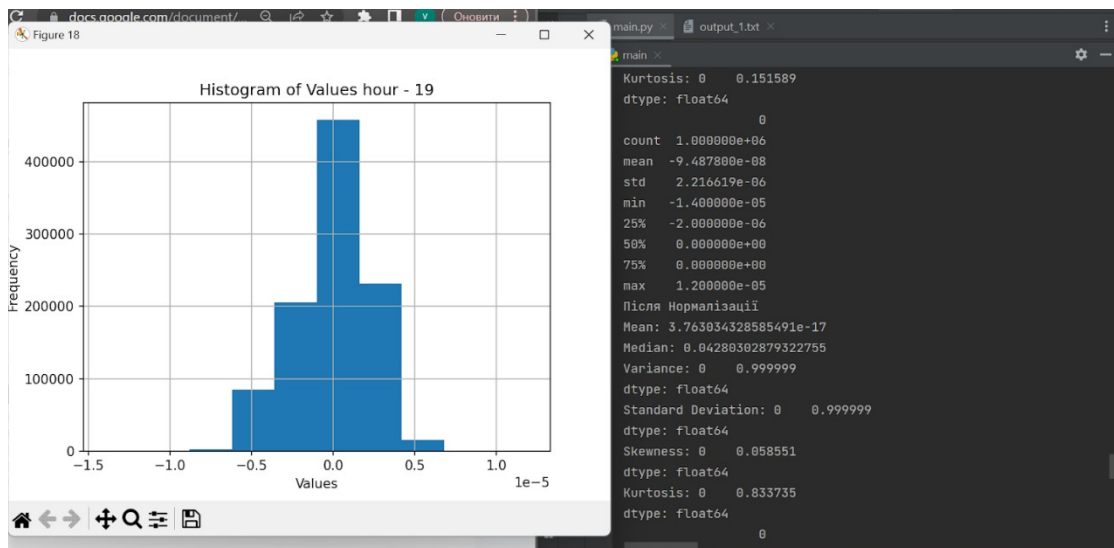


Рисунок. 20 Гістограма та статистичні характеристики для 19 файлу

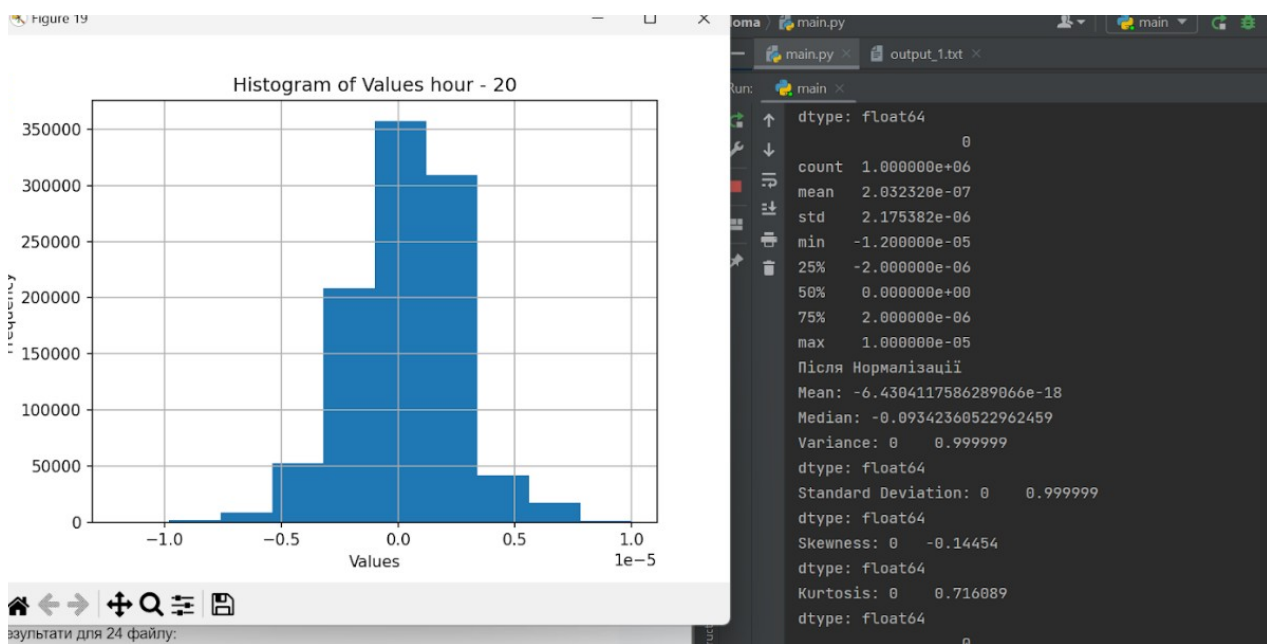


Рисунок. 21 Гістограма та статистичні характеристики для 20 файлу

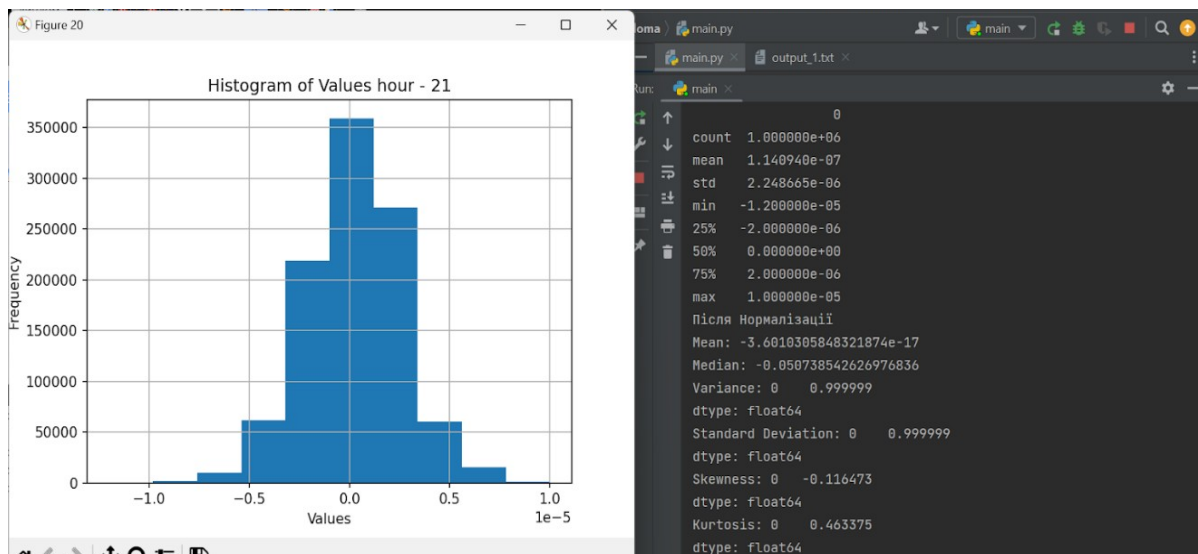


Рисунок. 22 Гістограма та статистичні характеристики для 21 файлу

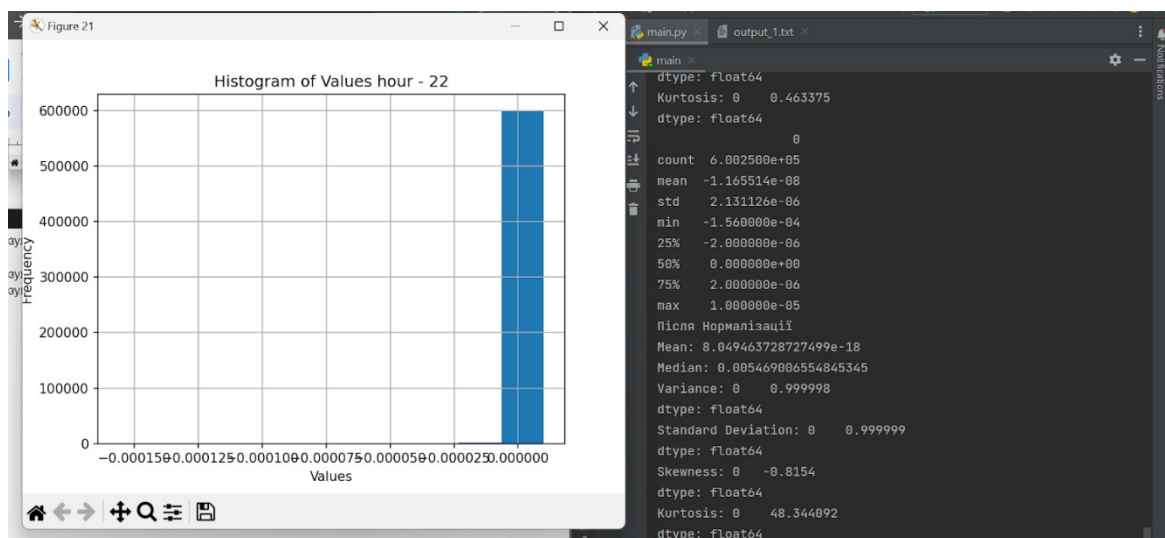


Рисунок. 23 Гістограма та статистичні характеристики для 22 файлу

Проглянувши дані гістограми можемо помітити що найбільше відрізняються гістограми побудовані на основі даних 18-21 файлів з ними і будемо проводити подальші дослідження.

5.3 Застосування різних методів фільтрування для усунення шумів

Щоб усунути шуми на кардіограмах 18-21 біло використано два методи :

Медіанне фільтрування

```
def median_filter(data, window_size):
    filtered_data = np.zeros(len(data))
    for i in range(len(data)):
        start = max(0, i - window_size//2)
        end = min(len(data), i + window_size//2 + 1)
        window = data[start:end]
        filtered_data[i] = np.median(window)
    return filtered_data
```

Рисунок. 23 Код на мові python для реалізації медіанного фільтрування

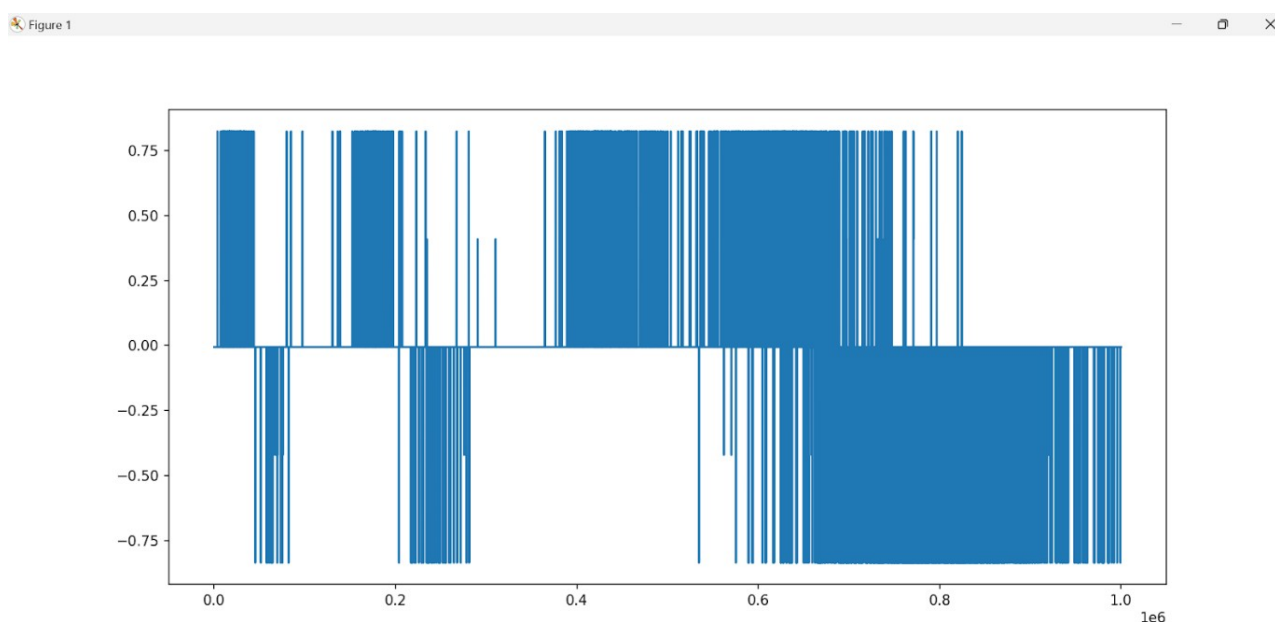


Рисунок. 24 Медіанне фільтрування для 18 файлу

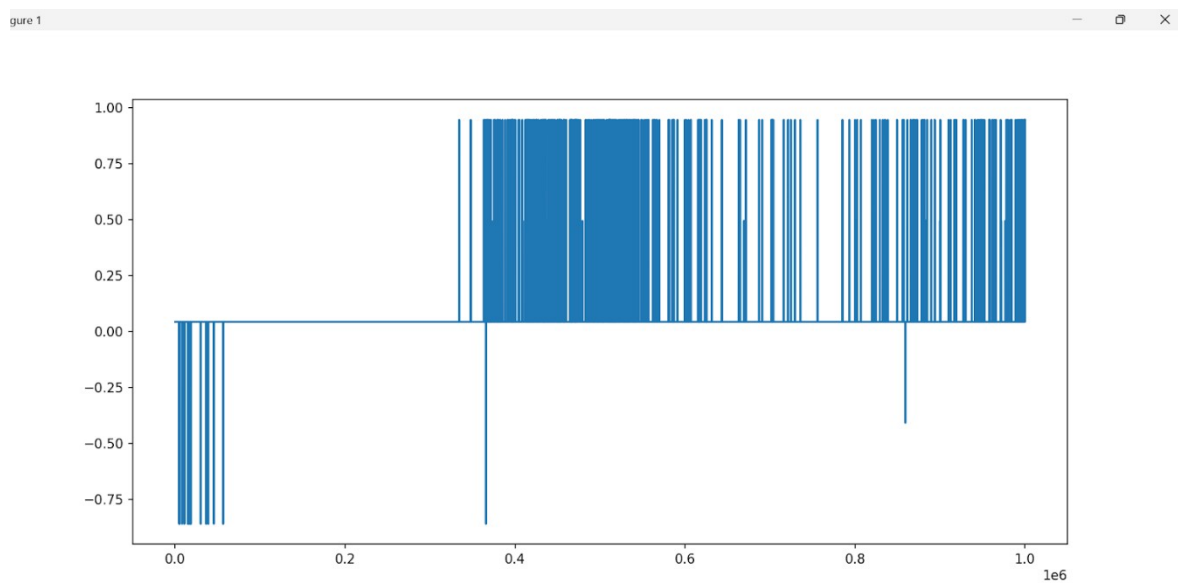


Рисунок. 25 Медіанне фільтрування для 19 файлу

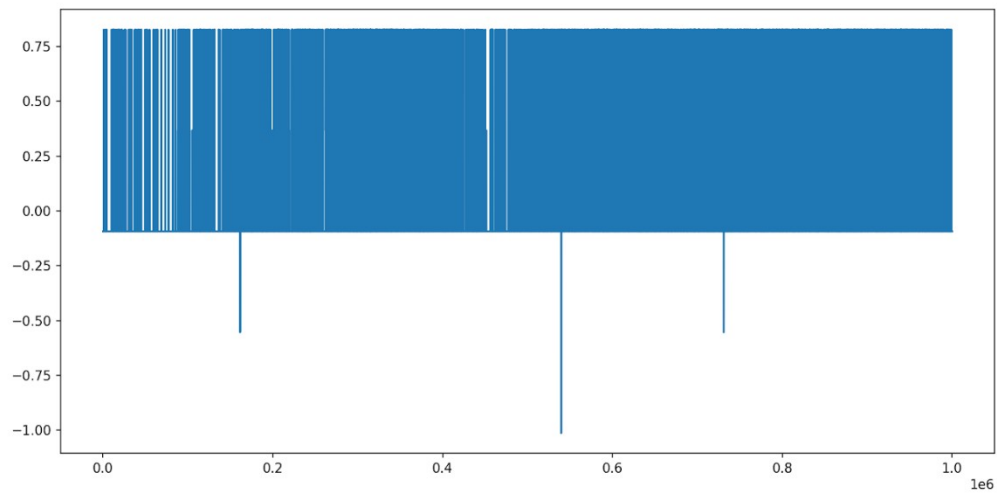


Рисунок. 26 Медіанне фільтрування для 20 файлу

Figure 1

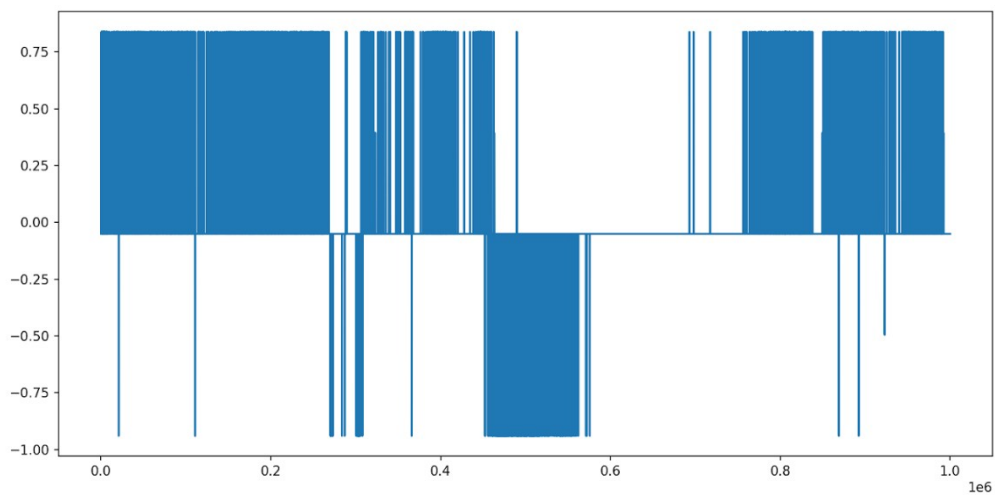


Рисунок. 27 Медіанне фільтрування для 21 файлу

Та метод фільтрування за допомогою згортки.

У цьому методі ми створюємо вікно (як правило, криву у формі дзвона) і згортаємо вікно з сигналом. Чим ширше вікно, тим плавнішим буде вихідний сигнал. Крім того, вікно має бути нормалізовано таким чином, щоб його сума дорівнювала 1, щоб зберегти амплітуду вхідного сигналу.

```
# create a normalized Hanning window
windowSize = 5000
window = np.hanning(windowSize)
window = window / window.sum()

# filter the data using convolution
filtered_signal = np.convolve(window, data, mode='valid')
print(filtered_signal)
```

Рисунок. 28 Код на мові python для реалізації методу згортки

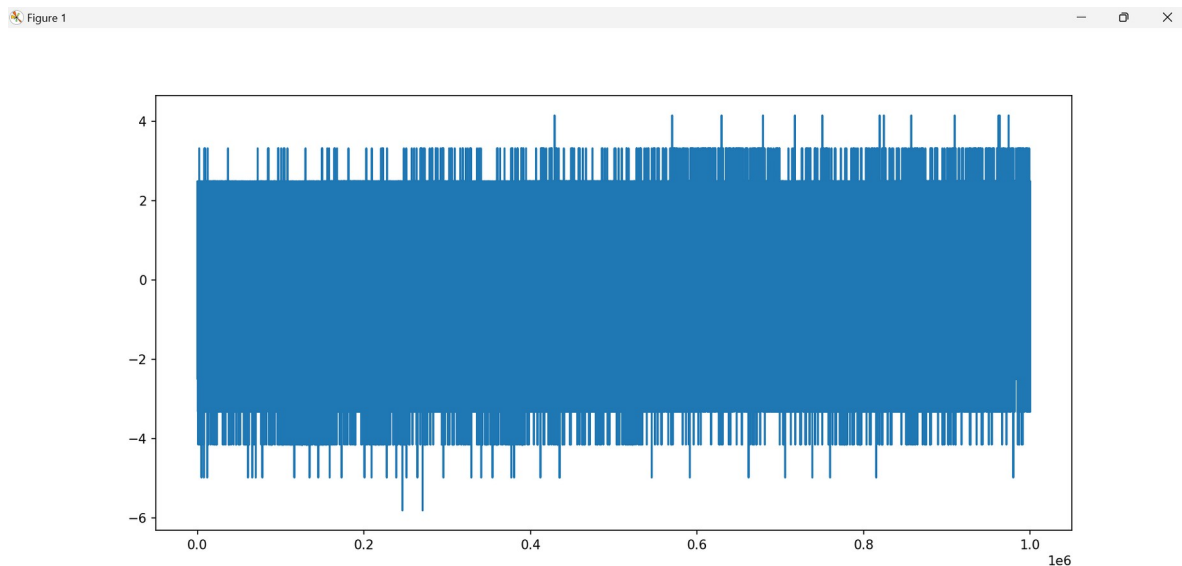


Рисунок. 29 Початкові дані файлу 18.

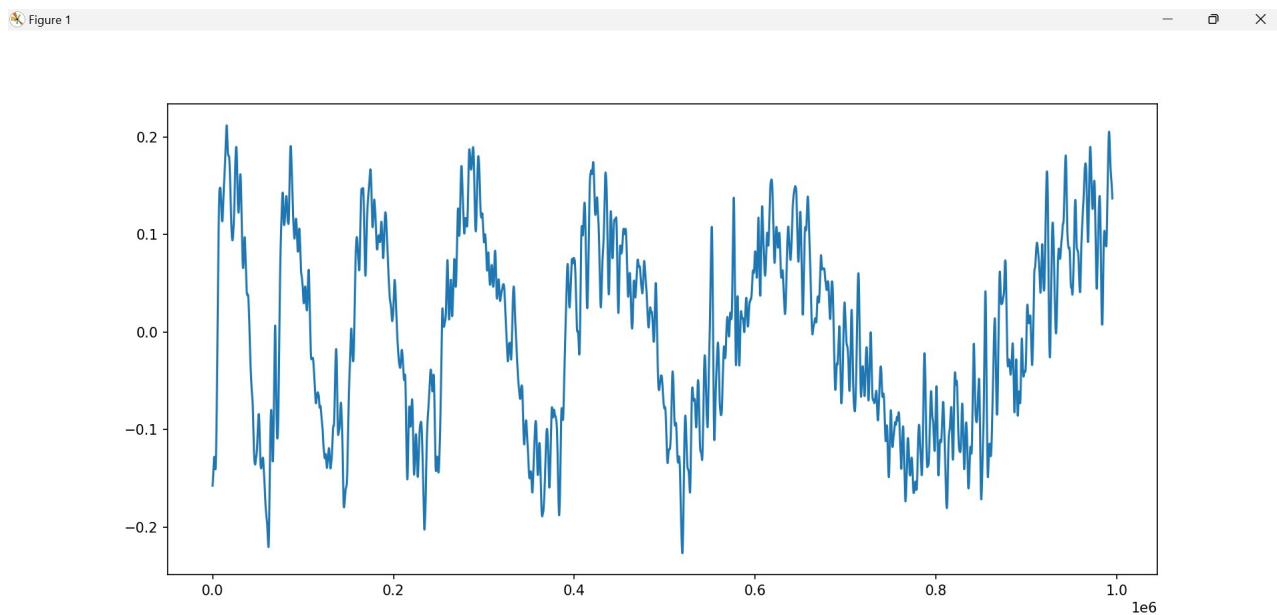


Рисунок. 30 Відфільтровані дані файлу 18.

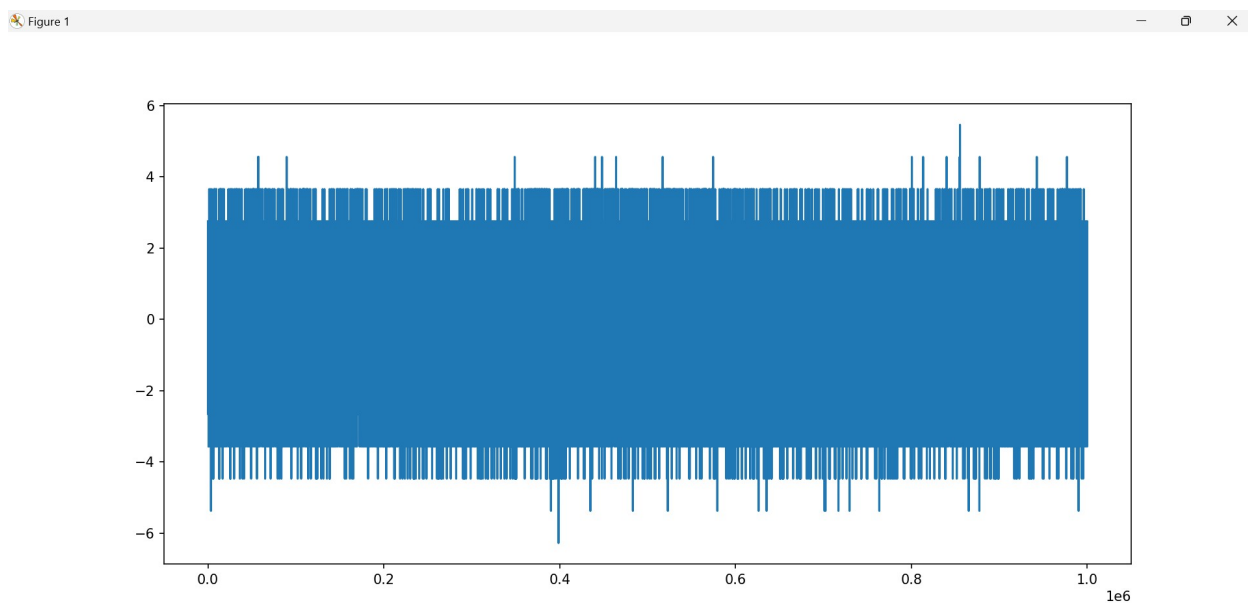


Рисунок. 31 Початкові дані файлу 19.

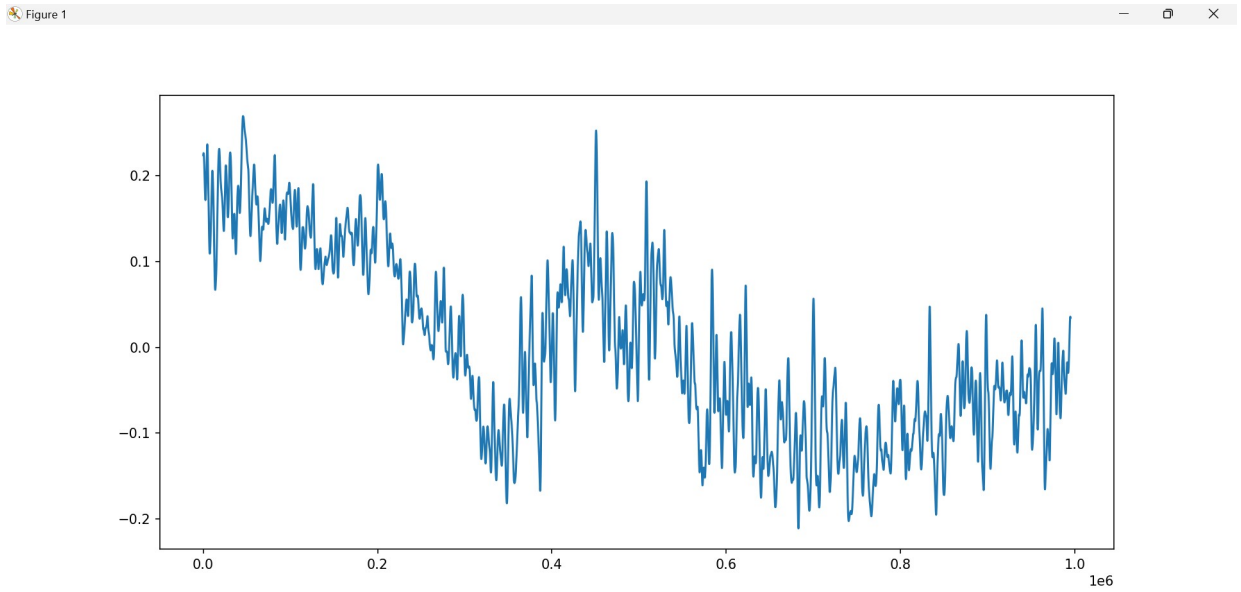


Рисунок. 32 Відфільтровані дані файлу 19.

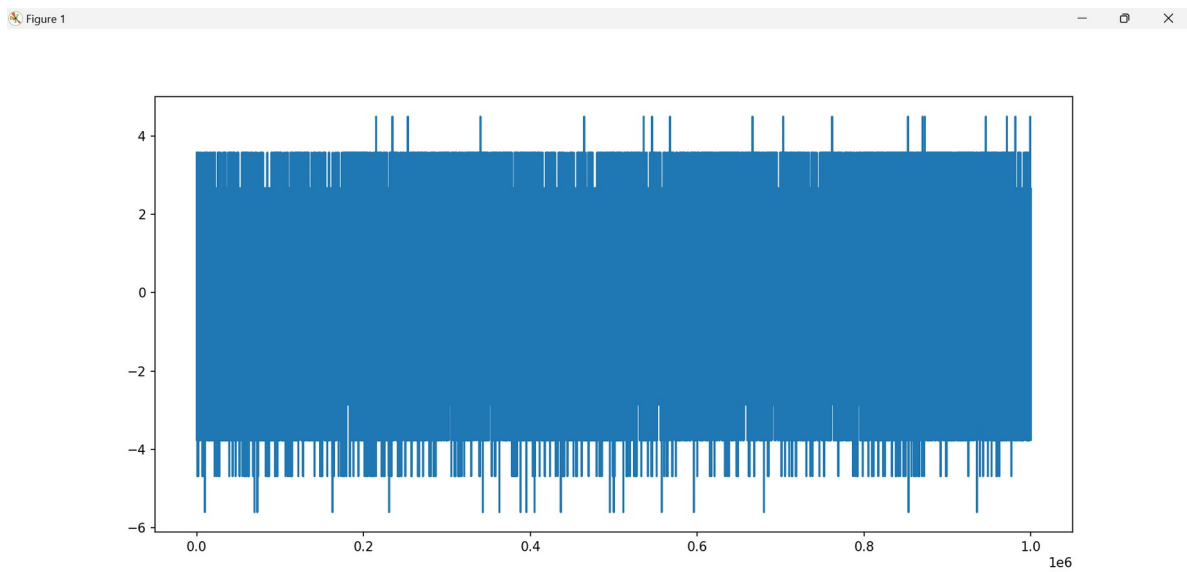


Рисунок. 33 Початкові дані файлу 20.

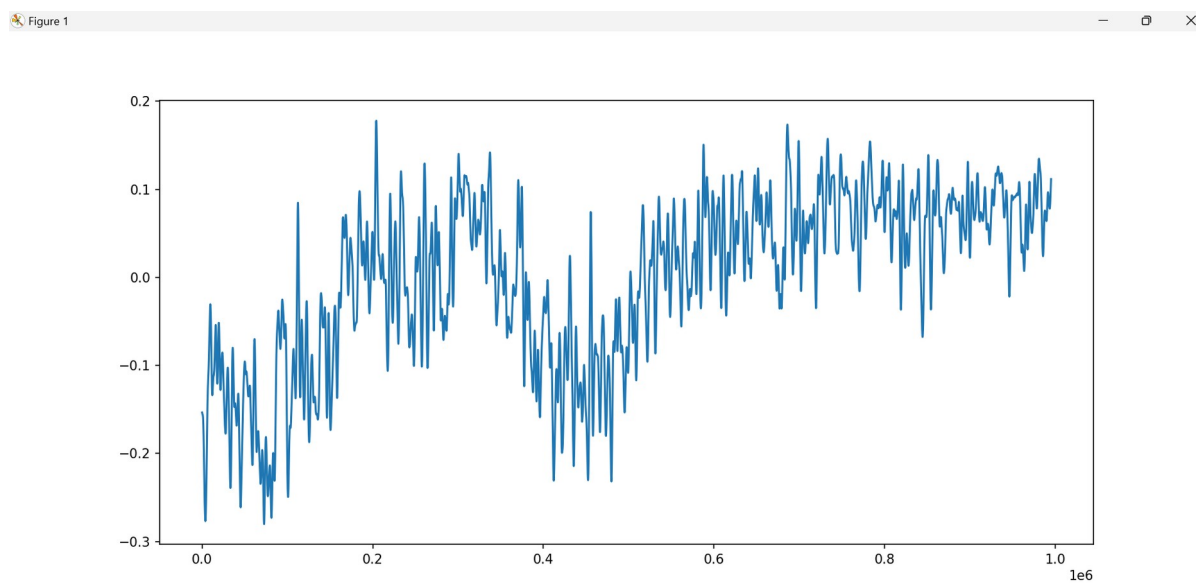


Рисунок. 34 Відфільтровані дані файлу 20.

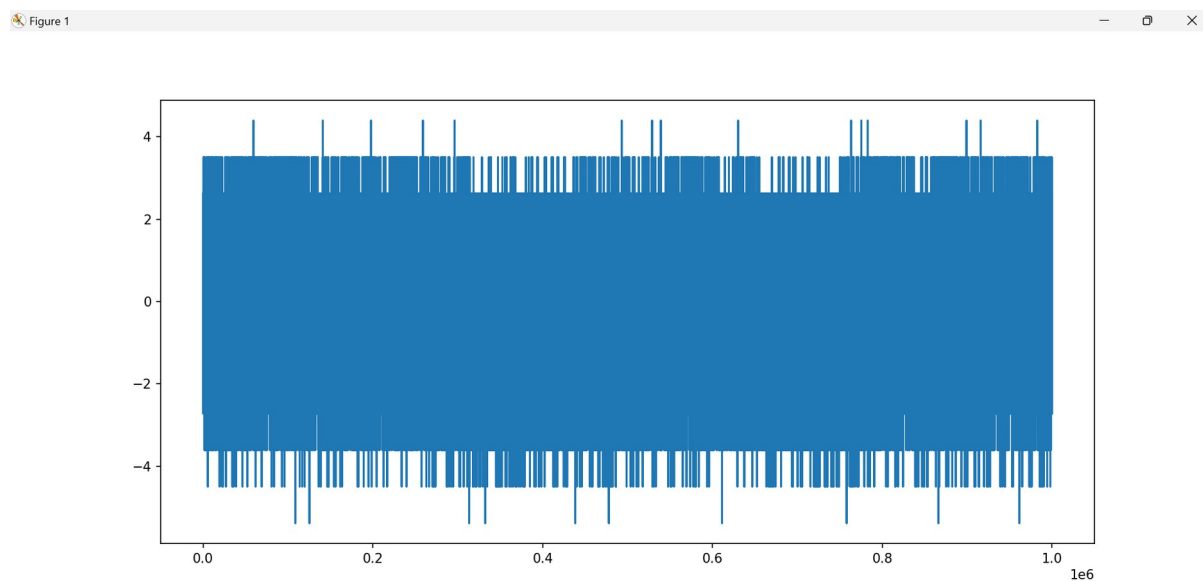


Рисунок. 35 Початкові дані файлу 21.

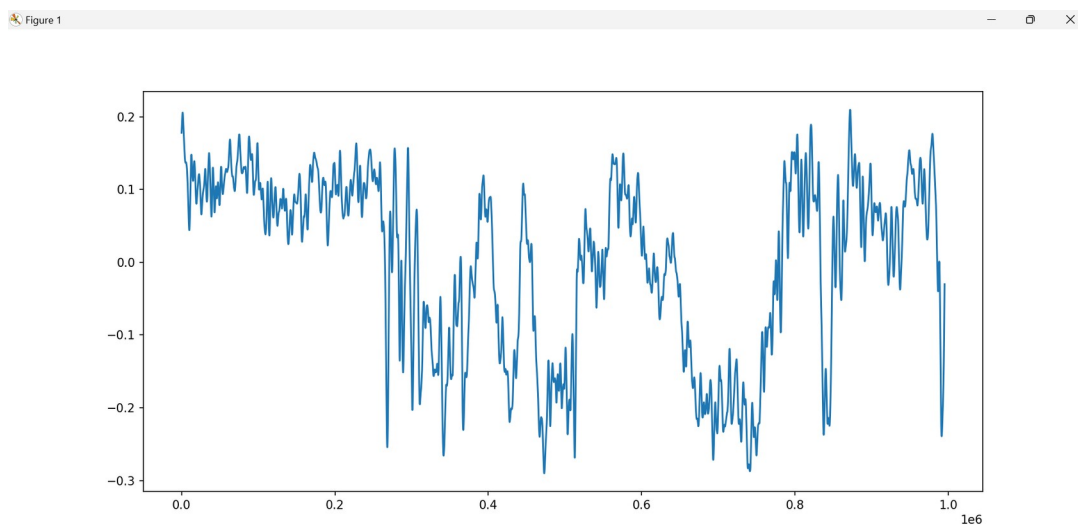


Рисунок. 36 Відфільтровані дані файлу 21.

Після порівняння результатів був обраний другий метод ,бо дивлячись на графіки електрокардіграм до та після фільтрування ми бачимо що метод медіанного суттєво не вплинув на шуми.

5.4 Перетворення Фур'є

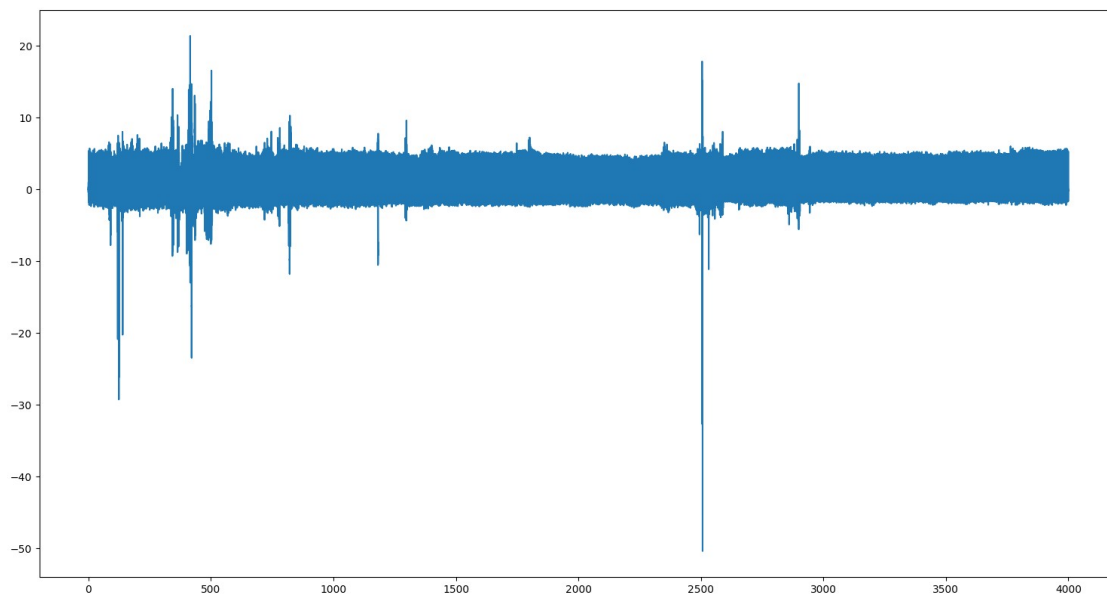


Рисунок. 37 Початкові дані файлу 1.

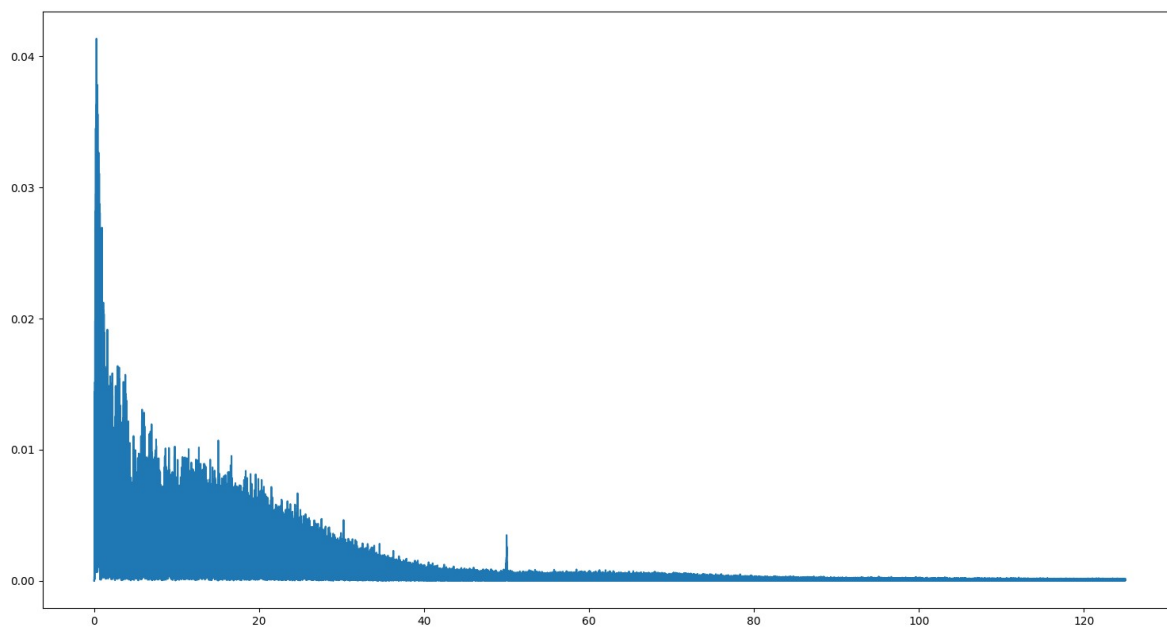


Рисунок. 38 Перетворення Фур'є для файлу 1.

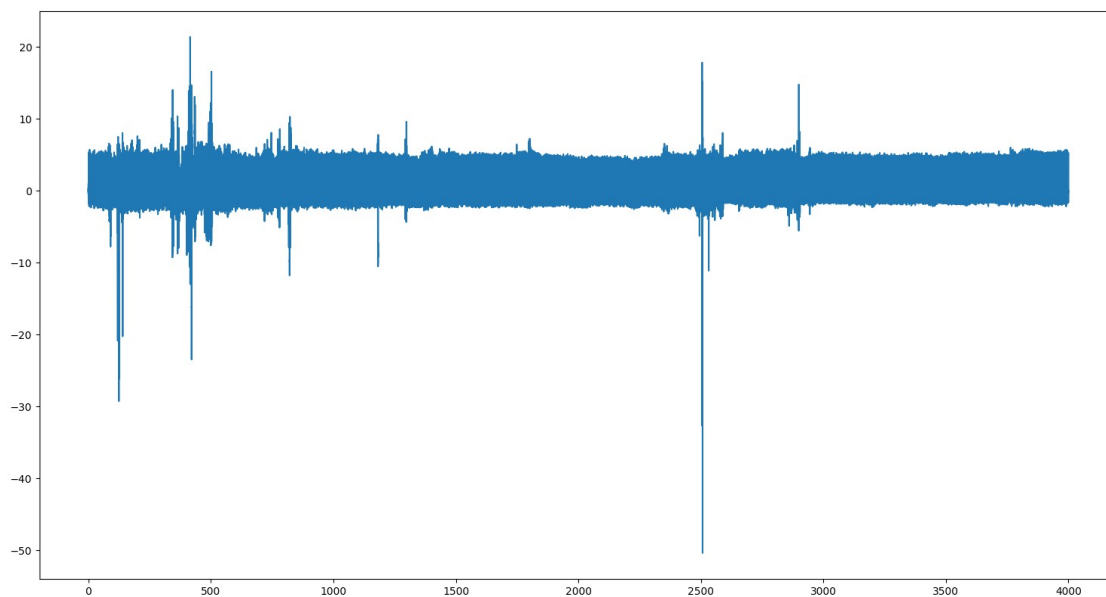


Рисунок.39 Обернене перетворення Фур'є для файлу 1.

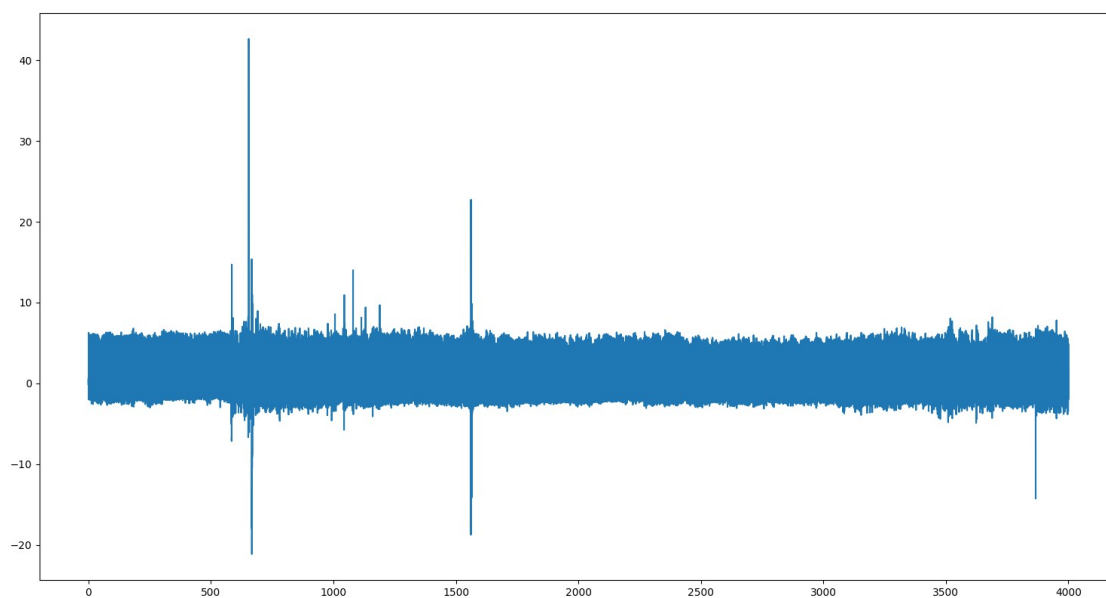


Рисунок.40 Початкові дані файлу 2.

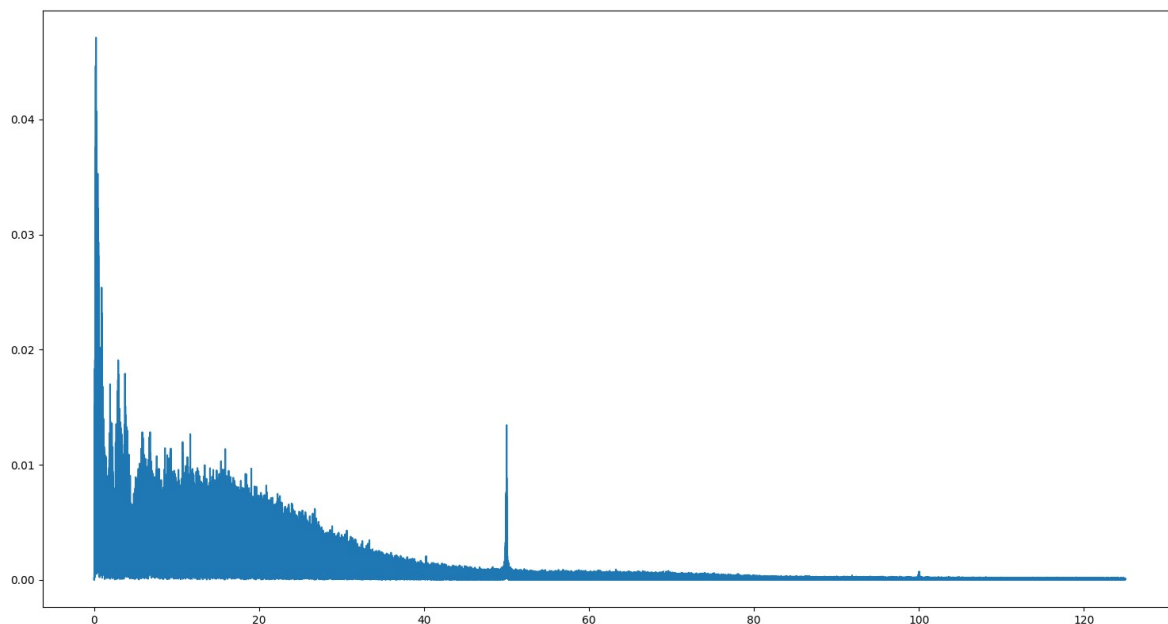


Рисунок.41 Перетворення Фур'є для файлу 2

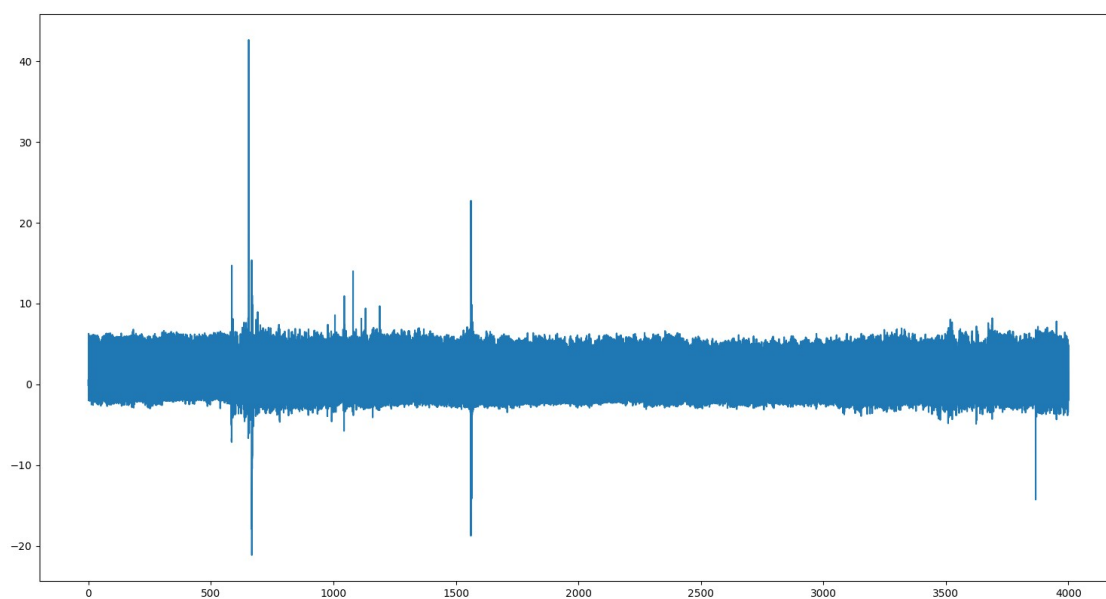


Рисунок. 42 Обернене перетворення Фур'є для файлу 2.

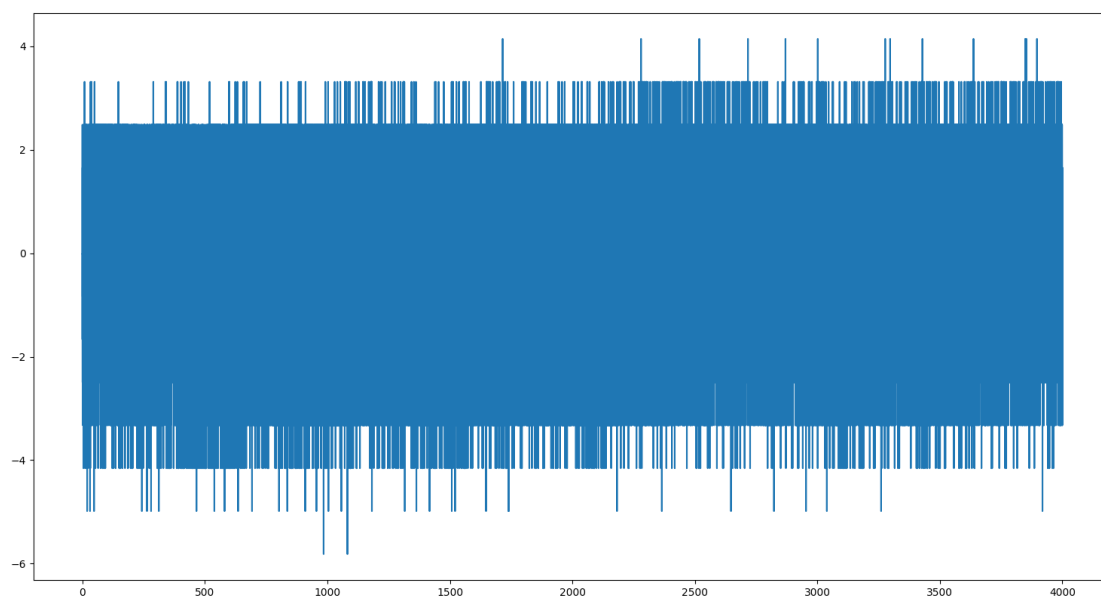


Рисунок. 43 Початкові дані файлу 18.

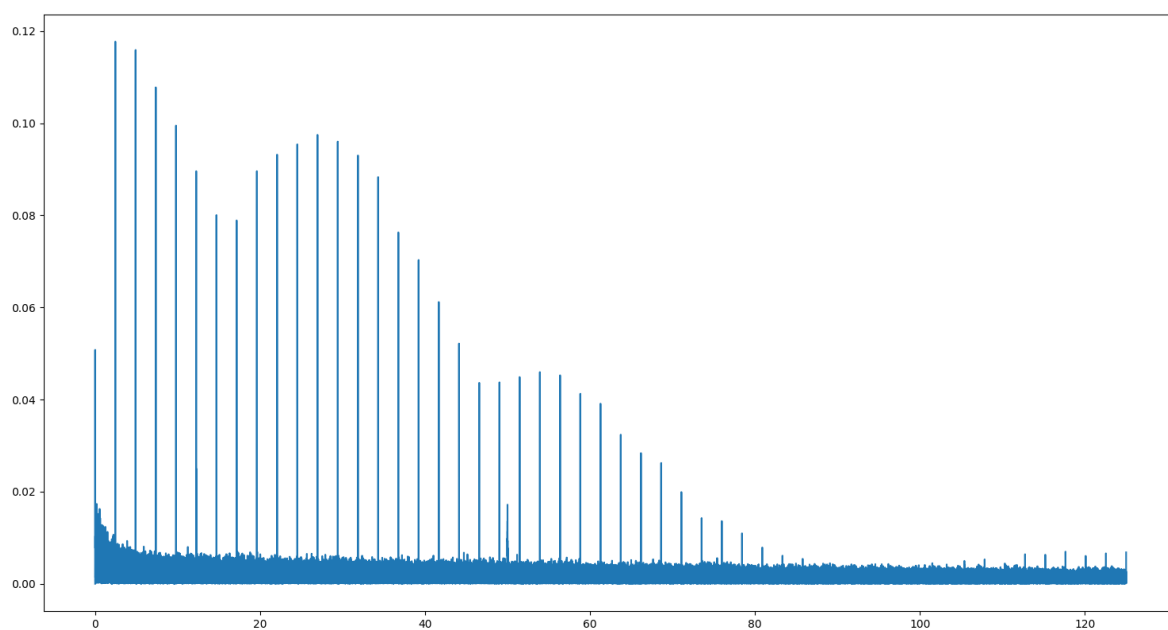


Рисунок.44 Перетворення Фур'є для файлу 18

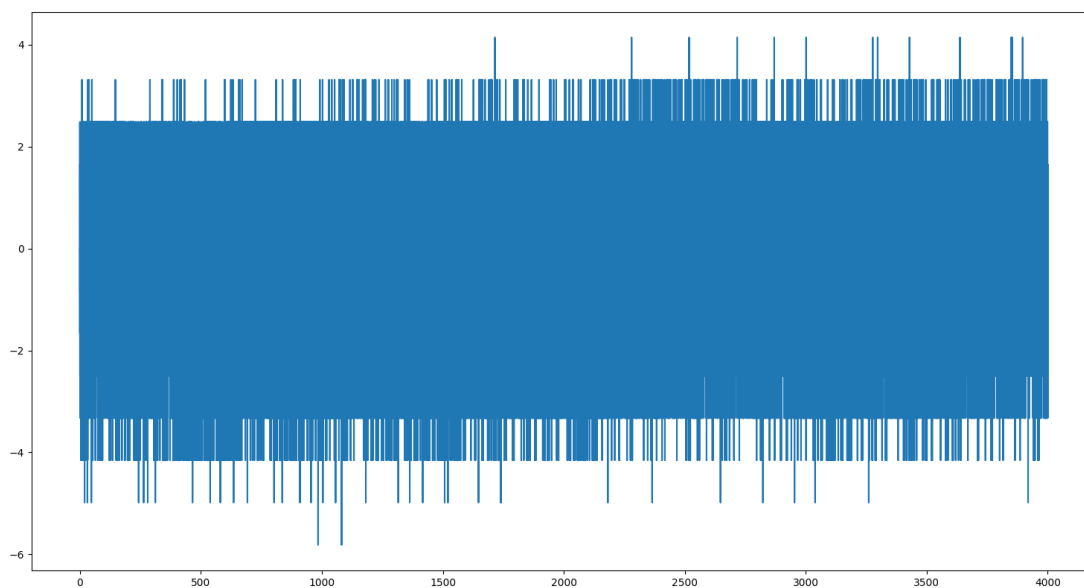


Рисунок. 45 Обернене перетворення Фур'є для файлу 18.

З перетворень Фур'є бачимо, що велику роль відіграють низькі частоти. Скоріш за все на цих частотах знаходяться "корисні" сигнали. Високі частоти не зашумлені. Початковий та результуючий масиви майже не відрізняються, похибка знаходиться в межах похибки під час роботи з дійсними числами.

ВИСНОВКИ

В дипломній роботі з темою "Статистичний аналіз ЕКГ " було проведено комплексне дослідження одноканальної електрокардіограми (ЕКГ) з метою аналізу та отримання важливих характеристик сигналу.

Були визначені основні статистичні характеристики ЕКГ-сигналу, такі як середнє значення, медіана, дисперсія та інші. Ці характеристики надають кількісну оцінку центральних та розподільчих властивостей сигналу, що може бути корисним для клінічних досліджень та діагностичних цілей.

Було застосовано метод медіанної фільтрації для фільтрації ЕКГ-сигналу. Цей метод дозволяє ефективно видалити шуми та артефакти, зберігаючи при цьому суттєві особливості сигналу. Застосування медіанної фільтрації допомагає отримати чистий сигнал ЕКГ, готовий для подальшого аналізу.

Оскільки метод медіанної фільтрації не був дуже ефективним для наших даних, було застосовано метод згорткового фільтрування для підсилення важливих компонентів сигналу. Цей метод дозволяє виділити та підкреслити певні особливості ЕКГ-сигналу, такі як QRS комплекси або інші характеристики, що мають значення для медичного діагнозу.

Для отримання додаткової інформації про спектральну складову сигналу та визначення основних частотних компонентів було використано перетворення Фур'є. Це дозволило отримати амплітудний спектр сигналу та інформацію про його частотну структуру. Обернене перетворення Фур'є було застосовано для відновлення сигналу після обробки у частотній області.

Загальний висновок дипломної роботи полягає в тому, що застосування методів медіанної фільтрації, згорткового фільтрування, перетворення Фур'є та оберненого перетворення Фур'є дозволяє здійснити успішний статистичний аналіз ЕКГ-сигналу. Ці методи допомагають видалити шуми, виділити важливі

компоненти сигналу, визначити його спектральну структуру та отримати важливі статистичні характеристики, що сприяють покращенню діагностики та розумінню серцево-судинних захворювань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Introduction-to-electrocardiographs
 – Режим доступу: <https://www.analog.com/en/technical-articles/introduction-to-electrocardiographs.html>
2. Introduction-to-eeg
 – Режим доступу: <https://www.ebme.co.uk/articles/clinical-engineering/introduction-to-eeg>
3. _Comprehensive survey of computational ECG analysis: Databases, methods and applications
 – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417422005917#sec2>
4. Chapter 3 Conquering the ECG
 – Режим доступу: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2214/>
5. Filter noise with a low pass filter
 – Режим доступу: <https://medium.com/analytics-vidhya/how-to-filter-noise-with-a-low-pass-filter-python-885223e5e9b7>
6. Signal-filtering-in-python
 – Режим доступу: <https://swharden.com/blog/2020-09-23-signal-filtering-in-python/>
7. Noise Removal from ECG Signal Based on Filtering Techniques
 – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/334078022_Noise_Removal_from_ECG_Signal_Based_on_Filtering_Techniques
8. Using-fft-to-analyse-and-cleanse-time-series-data

– Режим доступа: <https://nehajirafe.medium.com/using-fft-to-analyse-and-cleanse-time-series-data-d0c793bb82e3>