

Міністерство освіти і науки України
Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

Факультет інформаційних технологій
(факультет)

Кафедра програмного забезпечення комп'ютерних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломної роботи

магістра
(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань *12 Інформаційні технології*
(шифр і назва галузі знань)

спеціальність *122 Комп'ютерні науки*
(код і назва напряму підготовки)

спеціалізація *Інформаційні управляючі системи та технології*
(код і назва спеціальності)

освітній рівень *магістр*
(назва освітнього рівня)

кваліфікація *інженер з комп'ютерних систем*
(назва кваліфікації)

на тему: *Обґрунтування методики контролю стану струменевого млина
з використанням ентропійних характеристик акустичного сигналу*

Виконавець:

студент 2 курсу, групи 122М-16-1

(підпис)

Гринь Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Керівники	Посада, прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	<i>д.т.н., проф. Алексєєв М.О.</i>		
розділів:			
Спеціальний	<i>д.т.н., проф. Алексєєв М.О.</i>		
Економічний	<i>доц. Касьяненко Л.В.</i>		

Рецензент			
-----------	--	--	--

Нормоконтроль	<i>доц. Коротенко Л.М.</i>		
---------------	----------------------------	--	--

Дніпропетровськ
2018

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

програмного забезпечення комп'ютерних систем
(повна назва)

_____ І.М. Удовик
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20 ____ року

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи магістра

спеціальності _____ *122 Комп'ютерні науки*
(код і назва спеціальності)

студенту _____ *122м-16-1* _____ *Гринь Ю.В.*
(група) (прізвище та ініціали)

Тема дипломної роботи _____ *Обґрунтування методики контролю стану*
струменевого млина з використанням ентропійних характеристик
акустичного сигналу

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора Державного ВНЗ «НГУ» від 26.12.2017 р. № 2127-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень – акустичний сигнал струменевого млина у вигляді часового ряду

Предмет досліджень – методи оцінювання ентропійних характеристик акустичного сигналу

Мета НДР – дослідження методу оцінювання стану струминного млина на основі використання ентропійних характеристик акустичного сигналу

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна результатів, що очікуються, полягає у:

- вперше було виконано аналіз вихідного сигналу струминного млина на основі використання ентропійних характеристик;
- вперше було проведено порівняльний аналіз ентропійних характеристик, отриманих різними методами.

Практична цінність результатів полягає у:

- проведено аналіз ентропійних характеристик для часових рядів, отриманих різними методами;
- розроблений метод може бути використано у напрямку підвищення ефективності роботи підприємств різних галузей;
- контроль рівня заповнення млина дозволить забезпечити максимальну продуктивність млина та відповідну якість продуктів помолу.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Результати магістерської роботи повинні відповідати вимогам паспорту наукової спеціальності 05.13.06 – «Інформаційні технології».

Результати досліджень мають бути подані у вигляді, що дозволяє безпосереднє використання методики формування класифікаційних ознак інформаційних процесів управління при їх класифікації з метою оцінки функціонального стану об'єкту. Згідно виробничих функцій та професійних задач магістра, які виносяться на кваліфікаційну роботу, повинні бути розроблені програмна документація та відповідні програмні засоби.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок – кінець)
Збір інформації для дослідження предметної області	16.10.2017 – 02.11.2017
Дослідження методів для вирішення поставленого завдання	06.11.2017 – 01.12.2017
Експериментальні дослідження	04.12.2017 – 29.12.2017
Економічна частина	15.01.2018 – 23.01.2018

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект від використання розглянутого методу в якості додаткового засобу для моніторингу стану струменевого млина полягає в тому, що покращиться якість роботи млина та зменшаться витрати

Соціальний ефект від реалізації результатів роботи очікується позитивним завдяки підвищенню зручності використання в роботі, підвищенню надійності та легкості у використанні для користувачів.

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Відповідність оформлення:

1. ДСТУ 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки.

Структура і правила оформлення.

2. ЕДИНАЯ СИСТЕМА ПРОГРАММНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ – ГОСТ 19.101-77, ГОСТ 19.102-77, ГОСТ 19.103-77, ГОСТ 19.104-78, ГОСТ 19.105-78, ГОСТ 19.106-78, ГОСТ 19.201-78, ГОСТ 19.202-78, ГОСТ 19.401-78, ГОСТ 19.402-78, ГОСТ 19.404-79

Завдання видав

_____ (підпис)

Алексєєв М.О

_____ (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

Гринь Ю.В.

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 16.10.2017 р.

Термін подання дипломного проекту до ДЕК _____

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 58 с., 3 приложения, 24 рисунков, 50 источников.

Объект исследования: акустический сигнал струйной мельницы в виде временного ряда

Предмет исследования: методы оценки энтропийных характеристик акустического сигнала

Цель магистерской работы: исследование метода оценки состояния струйного мельницы на основе использования энтропийных характеристик акустического сигнала

Методы исследования: при решении поставленных задач выполнен анализ и научное обобщение литературных источников по исходным посылкам исследований.

Научная новизна: впервые выполнен анализ выходного сигнала струйной мельницы с помощью энтропийных характеристик.

Практическое значение: проведено численный анализ энтропийных характеристик для временных рядов, полученный разными методами, исследованные методы могут быть использованы в направлении повышения эффективности работы предприятий разных отраслей, контроль уровня заполнения мельницы позволит обеспечить максимальную производительность мельницы и соответствующее качество продуктов помола.

Область применения: предложенная методика может применяться при анализе состояния различных объектов, функционирование которых сопровождается акустическим сигналом.

Значение работы и выводы: показана возможность использования энтропийных характеристик для оценки функционального состояния объектов. Проведено сравнение методов анализа временных рядов с использованием энтропийных характеристик.

Список ключевых слов: временной ряд, энтропийные характеристики, струйная мельница, энтропия шаблонов, энтропия подобия.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 с., 3 додадків, 24 малюнків, 50 джерел.

Об'єкт досліджень: акустичний сигнал струменевого млина у вигляді часового ряду

Предмет досліджень: методи оцінювання ентропійних характеристик акустичного сигналу

Мета магістерської роботи: дослідження методу оцінки стану струминного млина на основі використання ентропійних характеристик акустичного сигналу

Методи дослідження: При вирішенні поставлених завдань виконано аналіз і наукове узагальнення літературних джерел по вихідним посилкам досліджень.

Наукова новизна: вперше виконано аналіз вихідного сигналу струменевого млина за допомогою ентропійних характеристик.

Практичне значення: проведено чисельний аналіз ентропійних характеристик для часових рядів, отриманий різними методами, досліджені методи можуть бути використані в напрямку підвищення ефективності роботи підприємств різних галузей, контроль рівня заповнення млина дозволити забезпечити максимальну продуктивність млина і відповідну якість продуктів помолу.

Галузь застосування: запропонована методика може застосовуватися при аналізі стану різних об'єктів, функціонування яких супроводжується акустичним сигналом.

Значення роботи і висновки: Показана можливість використання ентропійних характеристик для оцінки функціонального стану об'єктів. Проведено порівняння методів аналізу часових рядів з впровадженням ентропійних характеристик.

Список ключових слів: часовий ряд, ентропійні характеристики, струменевий млин, ентропія шаблонів, ентропія подібності..

ABSTRACT

Explanatory note: 58 pages, 3 appendices, 24 images and 50 sources.

Objects of research: the acoustic signal of a jet mill in the form of a time series

Subject of the research: evaluating methods for the entropy characteristics of an acoustic signal

Purpose of the master's work: to study the estimating method of the state of a jet mill on the basis of use of entropy characteristics of an acoustic signal

Methods of research: in the solution of the tasks set, analysis and scientific generalization of the literature on the initial premises of the research was carried out.

Scientific novelty: the analysis of the output signal of a jet mill for the first time with the help of entropy characteristics.

Practical significance: numerical analysis of entropy characteristics for time series obtained by different methods is carried out, the methods studied can be used to improve the efficiency of enterprises in different industries, controlling the filling level of the mill to enable the maximum mill productivity and the corresponding quality of the grinding products.

Scope: proposed technique can be used in analyzing the state of various objects, the functioning of which is accompanied by an acoustic signal.

Value of work and conclusions: the possibility of the representation of the centrifugal characteristics for the estimation of functional parameters is shown. The method has been carried out in the analysis of time series in the context of the entropy characteristics.

List of keywords: time series, entropy characteristics, jet mill, sample entropy, approximate entropy.

Зміст

Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ	11
1.1 Поняття струменевого млина.....	11
1.1.1 Принцип дії струменевого млина	12
1.1.2 Області застосування струменевих млинів.....	13
1.2 Поняття часового ряду.....	14
1.2.1 Класифікація часових рядів.....	15
1.2.2 Аналіз часових рядів	16
1.3 Поняття ентропії	17
РОЗДІЛ 2. ВИДИ ЕНТРОПІЇ	23
2.1 Ентропія подібності.....	23
2.2 Ентропія шаблонів.....	25
2.3 Ентропія Шеннона.....	26
2.4 Вейвлет-ентропія	26
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	28
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	40
4.1 Маркетинговые исследования.....	40
4.2 Економічний ефект.....	42
4.3 Висновок.....	42
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	43
ДОДАТОК А.....	48
ДОДАТОК Б	56
ДОДАТОК В.....	57

Вступ

Актуальність роботи. Процеси подрібнення матеріалів широко застосовуються в гірській, хімічній, атомній, харчовій, фармацевтичній та інших промисловостях. Темпи розвитку промисловості потребують удосконалення конструкцій устаткування для подрібнення, підвищення його надійності і працездатності. Крім того, гостро стоїть проблема зниження собівартості продукції, підвищення її якості і збільшення рентабельності виробництва. Дана проблема може бути вирішена шляхом широкого впровадження нової техніки і підвищення ефективності використання діючого обладнання.

Для тонкого подрібнення зернистих матеріалів застосовуються різні типи подрібнювачів: кульові млини, вібраційні, шаро-кільцеві, колоїдні, струменеві і млини ударно-відбивної дії.

Для дипломного проекту були обрані для розгляду струменеві млини, оскільки вони мають ряд переваг:

- малі габарити, що не тільки економлять виробничі площі, а й дозволяють використовувати для виготовлення помольних камер дорогі високоякісні матеріали;
- розміри частинок готового продукту можуть регулюватися в широкому діапазоні;
- в них відсутні мелючі тіла, що дозволяє отримувати тонкодисперсний матеріал з низьким, або навіть нульовим вмістом продуктів зносу;
- низький рівень споживання електричної енергії;
- легкість в управлінні, обслуговуванні і заміні складових.

Для визначення стану млина були отримані значення акустичного сигналу її роботи у вигляді часового ряду.

Часовий ряд представляє собою зібраний в різні моменти часу статистичний матеріал про значення будь-яких параметрів досліджуваного процесу.

Для того, щоб зрозуміти стан роботи млина, якість його роботи і подрібнення, акустичний сигнал був досліджений за допомогою ентропійних характеристик.

Поняття ентропія означає міру невизначеності або неупорядкованості системи, наприклад, будь-якого досвіду або випробування, який може мати різні наслідки, а значить, і кількість інформації. Таким чином, другий інтерпретацією ентропії є інформаційна ємність системи.

РОЗДІЛ 1. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Поняття струменевого млина

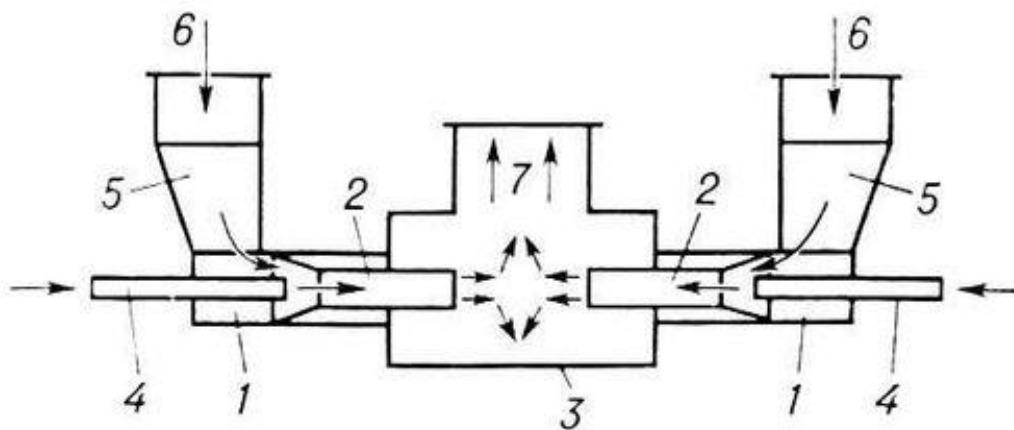
Струменевий млин – це високотехнологічне обладнання, призначене для подрібнення порошкових матеріалів за допомогою зіткнення частинок за допомогою потоків стисненого повітря або пара високого тиску.

Струменеві млини застосовують для подрібнення керамічних і абразивних матеріалів, фармацевтичних субстанцій, мінеральних наповнювачів композиційних матеріалів, порошоків і знаходять широке застосування в хімічній, металообробній, гірничодобувній та інших промислових галузях.

Сучасні струменеві млини забезпечують товщину помелу d_{97} від 0,7 мкм до $d_{97} = 100$ мкм, що приблизно відповідає середньому розміру частинок від 200 нм до 50 мкм. Діапазони продуктивності складають від одиниць кілограм до декількох тон на годину. Відмінними рисами струменевих млинів є великий термін служби, можливість отримання продукту високої чистоти, що володіє великою питомою поверхнею.

Струменеві млини ідеально підходять для:

- продуктів, чутливих до підвищення температури;
- абразивних продуктів;
- продуктів, що не допускають домішок;
- та ін.



Мал. 1.1. Схема струминного протivotочного млина:

- 1 - ежектори;
- 2 - розгінні труби;
- 3 - розмольна камера;
- 4 - труби стисненого повітря або пара;
- 5 - завантажувальні воронки;
- 6 - подача матеріалу, що подрібнюється;
- 7 - подрібнений продукт.

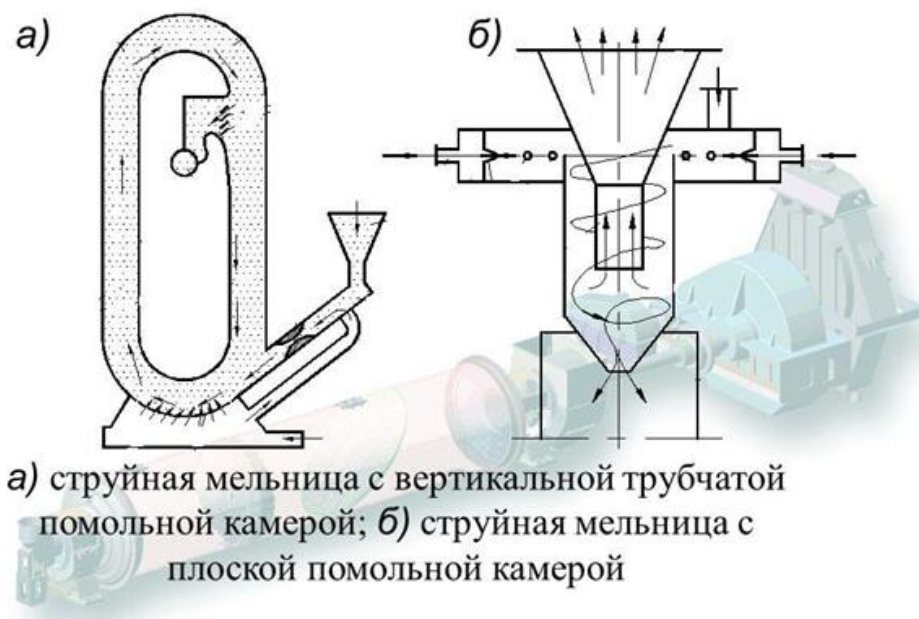
1.1.1 Принцип дії струменевого млина

Струменевий млин подрібнює матеріали стисненим газом. Зазвичай під час помелу застосовують стиснене повітря, також можуть бути використані перегрітий пар, азот і аргон.

Під час роботи стиснений газ через сопла подають в камеру подрібнення, в якій знаходиться сипучий матеріал. Потік газу викликає рух частинок і їх інтенсивні зштовхнення. Типові тиску стисненого газу 7-10 бар, в разі перегрітої пари 20 і більше бар. Таким чином, потоки газів у сопел струменевих млинів - надзвукові.

Струменевий млин володіє найсильнішим енергетичним впливом на матеріал серед інших типів млинів. Поглинання потужності вироблюваної компресором відбувається у відносно малому обсязі матеріалу. Для сопел з великими діаметрами обсяг зони інтенсивного подрібнення становить кілька

літрів. Під час помолу частки залучаються до потоку повітря і розганяються, при цьому зіткнення частинок відбуваються переважно навздогін.



Мал.1.2. Схеми струневих млинів

1.1.2 Области застосування струневих млинів

Струневі млини мають ряд вирішальних переваг над іншими типами млинів, що обумовлює їх застосування в ряді галузей.

До переваг струневих млинів відносяться:

- 1) найкращу дисперсність помолу для всіх сухих методів подрібнення;
- 2) можливість отримувати високочистий продукт без домішок;
- 3) сильне збільшення питомої поверхні;
- 4) можливість молоти термочутливі продукти, наприклад, парафін;
- 5) швидкий перехід з продукту на продукт, регулювання тоніни помолу;
- 6) можливість подрібнювати абразивні матеріали.

Усе це робить струйне подрібнення незамінним в фармацевтиці, виробництві кераміки, пігментів, чистих речовин, подрібненні високоабразивних матеріалів та ін.

Матеріали, отримані струневим подрібненням, мають ряд відмінних рис. Подрібнення відбувається через зіткнення часток один з одним. При таких

зіткненнях виходять мікрочастинки з гострими гранями, що обумовлює сильне збільшення питомої поверхні. Також значно знижується насипна щільність матеріалу. Багато матеріалів частково зберігають свою мікроструктуру, наприклад, шарувату структуру зберігають графіт, слюда, сульфід молібдену.

1.2 Поняття часового ряду

Часовий ряд (або ряд динаміки) – це послідовність упорядкованих у часі числових показників, що характеризують рівень стану і зміни досліджуваного явища.

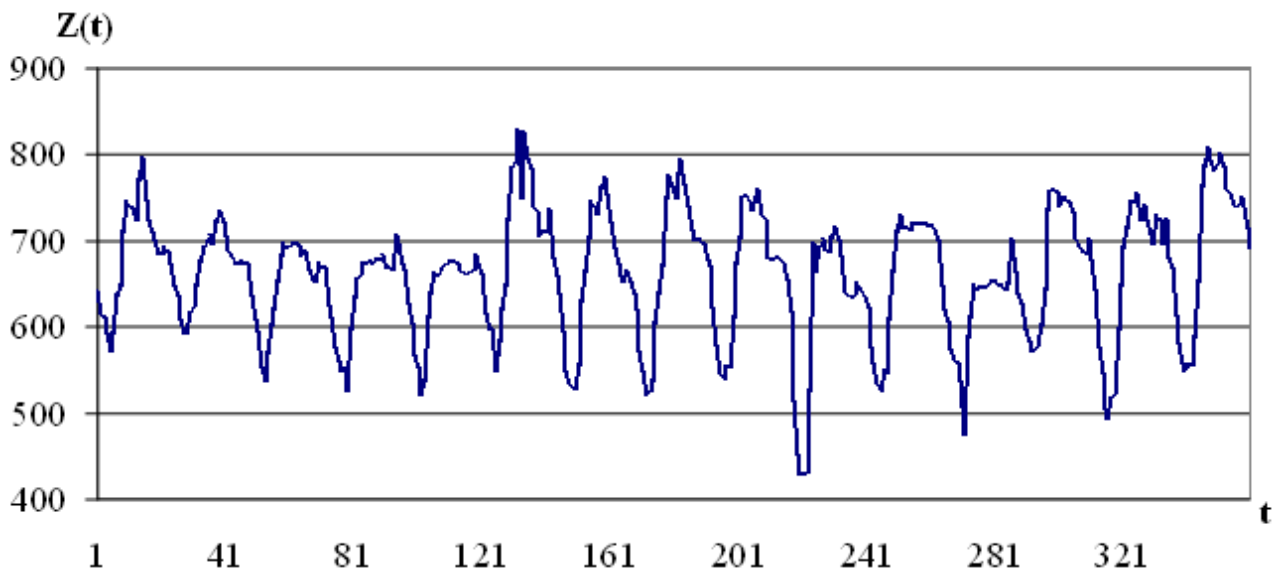
У часовому ряді для кожного відліку має бути зазначено час вимірювання або номер вимірювання по порядку. Часовий ряд істотно відрізняється від простої вибірки даних, так як при аналізі враховується взаємозв'язок вимірювань з часом, а не тільки статистична різноманітність і статистичні характеристики вибірки.

Тимчасові ряди складаються з двох елементів:

- періоду часу, за який або за станом на який наводяться числові значення;
- числових значень того чи іншого показника, званих рівнями ряду.

Часові ряди, як правило, виникають в результаті вимірювання деякого показника. Це можуть бути як показники (характеристики) технічних систем, так і показники природних, соціальних, економічних та інших систем (наприклад, погодні дані).

Для аналізу часових рядів використовується ряд різних позначень. Звичне позначення, яке визначає часовий ряд X , проіндексований натуральними числами, записується як $X = \{X_1, X_2, \dots\}$.



Мал.1.3. Приклад часового ряду

1.2.1 Класифікація часових рядів

Всякий часовий ряд включає два обов'язкові елементи: по-перше, час i , по-друге, конкретне значення показника, або рівень ряду.

Часові ряди розрізняються за такими ознаками:

1) за часом – моментні і інтервальні.

Інтервальний ряд – послідовність, в якій рівень явища відносять до результату, накопиченому або знову зробленому за певний інтервал часу. Такі, наприклад, ряди показників обсягу продукції підприємства по місяцях року, кількості відпрацьованих людино-днів по окремим періодам (місяців, кварталами, півріччях, років, п'ятиріччя і т.п.) і т.д.

Якщо ж рівень ряду характеризує досліджуване явище в конкретний момент часу, то сукупність рівнів утворює моментний ряд. Прикладами моментних рядів можуть бути послідовність показників чисельності населення на початок року, величина запасу будь-якого матеріалу на початок періоду і т.д.

Важлива відмінність моментних рядів від інтервальних полягає в тому, що сума рівнів інтервального ряду дає цілком реальний показник – загальний випуск продукції за рік (п'ятиріччя, десятиріччя), загальні витрати робочого часу, загальний обсяг продажів акцій і т.д., сума ж рівнів моментного ряду іноді і підраховується, але реального змісту, як правило, не має;

2) за формою подання рівнів – ряди абсолютних, відносних і середніх величин;

3) по відстані між датами або інтервалами часу виділяють повні і неповні тимчасові ряди.

Повні ряди мають місце, коли дати реєстрації або закінчення періодів слідує один за одним з рівними інтервалами, неповні – коли принцип рівних інтервалів не дотримується;

4) за змістом показників – ряди окремі та агрегованих показників.

Окремі показники характеризують досліджуване явище односторонньо, ізольовано. Наприклад, середньодобовий обсяг випуску промислової продукції дає можливість оцінити динаміку промислового виробництва, чисельність громадян, які перебувають на обліку в службі зайнятості; показує ефективність соціальної політики держави; залишки готівки у населення і вклади населення в банках відображають платоспроможність населення і т.д.

Агреговані показники засновані на приватних показниках і характеризують досліджуваний процес комплексно. Так, щоб мати уявлення про стан економіки в цілому, необхідно визначати сукупний вимір економічної кон'юнктури, що включає в себе і перераховані вище приватні показники. Їх визначають також при дослідженні ефективності виробництва, технічного рівня підприємств, якості продукції, екологічного стану. Широке застосування останніх стало можливим з розвитком факторного і компонентного аналізу.

1.2.2 Аналіз часових рядів

Для часових рядів існує кілька типів задач і типів аналізу даних, які підходять для різних цілей.

Задачі аналізу часових рядів

1. Описання

Зазвичай, відображення часового ряду у вигляді графіка є першим кроком при його аналізі. Існують потужніші інструменти аналізу часового ряду, однак

графік часового ряду дозволяє швидко отримати інформацію про найпростіші характеристики ряду, помітити поворотні точки тощо.

2. Пояснення

Якщо спостереження ведуться за декількома змінними, існує можливість використання інформації часового ряду для пояснення впливу змін в одному ряді на інший. Обчислення передавальної функції системи — визначення динамічної моделі вхід — вихід; за допомогою цієї моделі можна визначити ефект на виході динамічної системи за довільно визначеними параметрами на її вході.

3. Керування

Проектування простих систем управління з прямим та зворотним зв'язком, із допомогою яких можливо в максимально допустимих межах компенсувати потенціальні відхилення системи від бажаного значення.

В контексті обробки сигналів, автоматичного керування та технологій зв'язку головною метою аналізу часових рядів є виявлення та оцінювання сигналу, тоді як у контексті добування даних, розпізнавання образів та машинного навчання аналіз часових рядів може застосовуватися для кластерування, класифікації, запитів за вмістом, виявлення аномалій, а також і для прогнозування.

1.3 Поняття ентропії

Ентропія – це міра внутрішньої неупорядкованості системи (міра непередбачуваності поведінки траєкторій системи), що характеризує напрямок протікання самовольних процесів в цій системі і є мірою їх незворотності.

Ступінь безладності можна характеризувати складністю повернення системи в більш впорядкований стан: два гази легко змішуються, але поділити їх складно.

Ентропія — широко використовуваний в природних і точних науках термін. Вперше введений в рамках термодинаміки як функція стану термодинамічної системи, яка визначає міру незворотного розсіювання енергії. У статистичній фізиці ентропія характеризує ймовірність здійснення будь-якого макроскопічного стану. Крім фізики, термін широко вживається в математиці: теорії інформації і математичній статистиці.

Для ентропії (частіше в математиці) зустрічається також назва Шеннонська інформація або кількість інформації по Шеннону. Ентропія може інтерпретуватися як міра невизначеності (непорядкованості) деякої системи, наприклад, будь-якого досвіду (випробування), який може мати різні наслідки, а значить, і кількість інформації. Таким чином, другою інтерпретацією ентропії є інформаційна ємність системи. З даної інтерпретацією пов'язаний той факт, що творець поняття ентропії в теорії інформації (Клод Шеннон) спочатку хотів назвати цю величину інформацією.

Поняття інформаційної ентропії застосовується як в теорії інформації і математичній статистиці, так і в статистичній фізиці (ентропія Гіббса і її спрощений варіант - ентропія Больцмана). Математичний зміст інформаційної ентропії – це логарифм числа доступних станів системи (основа логарифма може бути різною, вона визначає одиницю виміру ентропії). Така функція від числа станів забезпечує властивостей адитивності ентропії для незалежних систем. Причому, якщо стани розрізняються за ступенем доступності (тобто не різновирогідні), під числом станів системи потрібно розуміти їх ефективну кількість, яка визначається наступним чином. Нехай стани системи різновирогідні і мають ймовірність p , тоді число станів

$N = 1/p$, а $\log N = \log(1/p)$ У разі різних ймовірностей станів p_i розглянемо середньозважену величину

$$\log \bar{N} = \sum_{i=1}^N p_i \log(1/p_i),$$

де \bar{N} — ефективна кількість станів.

З даної інтерпретації безпосередньо впливає вираз для інформаційної ентропії Шеннона

$$H = \log \bar{N} = \sum_{i=1}^N p_i \log p_i.$$

Подібна інтерпретація справедлива і для ентропії Рен`ї, яка є одним з узагальнень поняття інформаційна ентропія, але в цьому випадку інакше визначається ефективна кількість станів системи (можна показати, що ентропії Рен`ї відповідає ефективна кількість станів, яке визначається як середнє степенне зважене з параметром $q \leq 1$ від величин $1/p_i$

Слід зауважити, що інтерпретація формули Шеннона на основі зваженого середнього перестала бути її обґрунтуванням. Строгий висновок цієї формули можна отримати з комбінаторних міркувань за допомогою асимптотичної формули Стірлінга і полягає в тому, що комбінаторність розподілу (тобто число способів, якими воно може бути реалізовано) після взяття логарифма і нормування асимптотично збігається з виразом для ентропії у вигляді , запропонованому Шенноном.

У широкому сенсі, в якому слово часто вживається в побуті, ентропія означає міру невпорядкованості або хаотичності системи: чим менше елементи системи підпорядковані якомусь порядку, тим вище ентропія.

В термодинаміці величина ентропії S є мірою кількості енергії у фізичній системі, яка не може бути використана для виконання роботи і є мірою безладдя, присутнього в системі. Поняття ентропії була вперше введено у 1865 році Рудольфом Клаузіусом. Він визначив зміну ентропії термодинамічної системи при оборотному процесі як відношення зміни загальної кількості тепла ΔQ до величини абсолютної температури T :

$$\Delta S = \Delta Q/T .$$

Рудольф Клаузіус дав величині S ім'я «ентропія», що походить від грецького слова τροπή, «зміна» (зміна, перетворення). У 1877 році Людвіг Больцман зрозумів, що ентропія системи може відноситися до кількості можливих «мікростанів» (мікроскопічних станів), що узгоджуються з їх термодинамічними властивостями. Больцман постулював що,

$$S = k_B \ln \Omega,$$

де константу $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К ми знаємо тепер як сталу Больцмана, а Ω є числом мікростанів, які можливі в наявному макроскопічному стані. Цей постулат, відомий як принцип Больцмана, може бути оцінений як початок статистичної механіки, яка описує термодинамічні системи використовуючи статистичну поведінку компонентів, із яких вони складаються. Принцип Больцмана зв'язує мікроскопічні властивості системи (Ω) з однією з її термодинамічних властивостей (S).

Згідно визначенню Больцмана, ентропія є просто функцією стану. Більш того, оскільки (Ω) може бути тільки натуральним числом (1,2,3,...), ентропія повинна бути додатньою — виходячи з властивостей логарифма.

Клод Шеннон запропонував формулу для оцінки невизначеності кодової інформації в каналах зв'язку, звану ентропією Шеннона:

$$S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i,$$

де p_i — вірогідність того, що символ i зустрічається в коді, який містить N символів,

k — розмірний множник.

Концепція термодинамічної ентропії як міри хаосу системи добре відома у фізиці, однак, останніми роками поняття ентропії було застосоване до складних систем інших об'єктів (біологічних, економічних, соціологічних тощо).

Аналогія між кількістю інформації і ентропією S , визначуваною з принципу Больцмана, очевидна. Досить покласти множник k рівним постійній Больцмана k_B і використовувати натуральний логарифм. Саме з цієї причини величину I називають інформаційною ентропією. Інформаційна ентропія (кількість інформації) була визначена по аналогії із звичайною ентропією, і вона має властивості, характерні для звичайної ентропії: адитивність, екстремальні властивості і т.д. Проте ототожнювати звичайну ентропію з інформаційною не можна, оскільки неясно, яке відношення до інформаційних систем має друге начало термодинаміки.

Екстенсивна величина - це така характеристика системи, яка росте із збільшенням розмірів системи. Строгіше визначення: якщо наша система складається з двох незалежних підсистем A і B , то ентропію всієї системи можна одержати складанням ентропій підсистем:

$$S(A + B) = S(A) + S(B).$$

Саме ця властивість і означає екстенсивність, або адитивність ентропії.

У статистичній фізиці ентропія трактується через кількість мікростанів системи. Прагнучи, проте, визначити ентропію так, щоб вона залишалася екстенсивною величиною, статистична фізика (а точніше, кінетика) вимушена повертати дискусійну гіпотезу молекулярного хаосу. Ця гіпотеза полягає у тому, що будь-які молекули, що стикаються, були до зіткнення ніяк не корельовані, тобто ніяк „не відчували” присутність одна іншої. Для багатьох (але не для всіх!) систем це є цілком природним припущенням. І саме з нього випливає вираз для ентропії системи. У статистичній фізиці показується, що така ентропія дійсно є адитивною величиною і приймає максимальне значення в стані рівноваги.

Причина цього полягає в тому, що у більшості систем сили взаємодії між частинами системи короткодійчі: кожна молекула відчуває лише декілька найближчих сусідів. Саме звідси випливає те, що термодинаміка таких макроскопічних систем – екстенсивна. Саме такі системи оточують нас в повсякденному житті. Але в природі є і “далекодійчі” сили: гравітаційні, інформаційні та ін. Виявляється, що в складних системах їх еволюція в даний момент часу залежить не тільки від параметрів системи в цей конкретний момент часу, але і від її параметрів за деякий минулий проміжок часу. Ефекти пам’яті можуть привести до порушення гіпотези про молекулярний хаос. Дійсно, вони можуть означати, що окремі частинки перед зіткненням “пам’ятають” одна іншу, їх рух не є повністю некорельованим. Але оскільки припущення про молекулярний хаос знаходиться в основі больцманівського виразу для ентропії, то цей вираз не придатний для систем з пам’яттю.

Таким чином, можна зробити наступний висновок: існують системи, в яких є сильні кореляції, сильна взаємодія між всіма частинами системи; це приводить до порушення термодинамічної адитивності системи, тому їх не вдається описати больцманівською статистикою та термодинамікою. Тому для опису таких систем необхідний інший підхід, який би враховував наявність сильного зв'язку між всіма частинками системи.

Один із таких підходів базується на наступній ідеї Тсалліса: цілком можливо, що сильна взаємодія в термодинамічно-аномальних системах настільки змінює картину, що приводить до абсолютно нових ступенів свободи, до абсолютно іншої статистичної фізики не-больцманівського типу. На теперішній час ця гіпотеза поки що не доведена. Більш того, незрозуміло, що це за нові ступені свободи. Тому це твердження залишається поки лише гіпотезою. Але з іншого боку, такий перехід у тому або іншому вигляді насправді може мати місце і важливо зрозуміти, до чого це може привести.

РОЗДІЛ 2. ВИДИ ЕНТРОПІЇ

Ентропія належить до найважливіших понять фізики. Як фізична величина вона була введена в термодинаміку Р. Клаузиусом в 1865 р і виявилася настільки важливою і значущою, що швидко завоювала спочатку інші області фізики, а потім проникла і в суміжні науки: хімію, біологію, теорію інформації, економіку і т. Д.

Для визначення ентропійних характеристик часових рядів використовують різні види ентропії: ентропію подібності (Approximate entropy), ентропію шаблонів (Sample entropy), вейвлет ентропію, ентропію Шенона та інші.

2.1 Ентропія подібності

Ентропія подібності – "статистика регулярності", яка кількісно визначає непередбачуваність коливань часового ряду, таких як миттєвий часовий ряд серцебиття. Інтуїтивно, можна припустити, що наявність повторюваних моделей коливань у часовій серії робить її більш передбачуваною, ніж часові ряди, в яких такі шаблони відсутні. Ентропія подібності відображає ймовірність того, що для "подібних" моделей спостережень не будуть супроводжуватися додатковими "аналогічними" спостереженнями. Часовий ряд, що містить багато повторюваних моделей, має відносно невеликі ентропії подібності. Менш передбачуваний (тобто більш складний) процес має більшу ентропію подібності.

Для точного розрахунку ентропії потрібна величезна кількість даних, і на результати будуть значною мірою впливати системний шум, тому застосовувати ці методи до експериментального даного недоцільно.

Ентропія подібності була розроблена Стівом М. Пінкусом для усунення цих обмежень шляхом зміни точної статистики регулярності, ентропії Колмогорова-Синая. Спочатку ентропія подібності була розроблена для аналізу медичних даних, таких як частота серцевих скорочень, а потім розповсюдила свої додатки на фінанси, психологію та інженерію.

Переваги ентропії подібності:

- 1) Більш низький обчислювальний попит. Ентропія подібності може бути використана для роботи з невеликими наборами даних ($n < 50$) і може застосовуватися в режимі реального часу.
- 2) Менше ефекту від шуму. Якщо дані є гучними, міру ентропії подібності можна порівняти з рівнем шуму в даних, щоб визначити, яка якість достовірної інформації може бути там присутня.

Обмеження

Алгоритм ентропії подібності підраховує кожну послідовність як збіг, щоб уникнути появи $\ln(0)$ в обчисленнях. Цей крок може викликати зсув ентропії подібності, і це зміщення призводить до того, що ентропія подібності має на практиці дві поганих властивості:

- 1) Ентропія подібності сильно залежить від довжини запису і рівномірно нижче очікуваної для коротких записів.
- 2) Їй не вистачає відносної узгодженості. Тобто, якщо ентропія подібності одного набору даних вище, ніж в іншого, він повинен, але не залишається вище для всіх тестованих умов.

Ентропія подібності розраховується наступним чином:

$$ApEn(m, r, N) = \ln \frac{C_m(r)}{C_{m+1}(r)},$$

де N – довжина часового ряду $N = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N, \}$;

C_m – коефіцієнт подібності векторів довжини m , отриманих з елементів часового ряду;

C_{m+1} – коефіцієнт подібності векторів довжини $m+1$;

r – критерій подібності.

Ентропія подібності $ApEn$ є статистикою регулярності тимчасового ряду, що визначає можливість його передбачення. Розглянемо тимчасовий ряд

$\{x_i\}, i = 1, \dots, N.$

Нехай вектор $P_m(i)$ – підпоследовність значень ряду $\{x_i, x_{i+1}, \dots, x_{i+m}\}$ довжиною m . Два вектора $P_m(i)$ та $P_m(j)$ будуть подібними, якщо виконується $|x_{i+k} - x_{j+k}| < \epsilon, 0 \leq k < m,$

де m – число значень ряду, які порівнюються,

ϵ - околиця (критерій подібності),

N – довжина ряду.

2.2 Ентропія шаблонів

Ентропія шаблонів – це модифікація ентропії подібності, яка використовується для оцінки складності фізіологічних сигналів часової серії, діагностики хворобливих станів.

Ентропія шаблонів має дві переваги перед ентропією подібності: незалежність довжини даних та відносно безперебійна реалізація.

Також існує невелика обчислювальна різниця: в ентропії подібності порівняння між вектором шаблону та рештою векторів також включає в себе порівняння з самим собою. Це гарантує, що ймовірності коефіцієнта подібності векторів ніколи не дорівнюють нулю. Отже, завжди можна взяти логарифм ймовірностей. Оскільки порівняння шаблонів з самим собою нижчі значення ентропії подібності, сигнали інтерпретуються як більш регулярні, ніж вони насправді є. Ці самозмагання не включені в ентропію шаблонів.

Ентропія шаблонів $SampEn(m, r, N)$ розраховується за тією ж методикою, що і ентропія подібності, але при цьому, по-перше, не враховується подібність вектора самому собі, по-друге, при розрахунку значень умовних ймовірностей $SampEn$ не використовується довжина векторів. Це дозволяє позбутися від надмірності деяких показників.

$$SampEn(m, r, N) = -\log \frac{A}{B}$$

де A = кількість пар векторних шаблонів $d[X_{m+1}(i), X_{m+1}(j)] < r$ довжиною $m+1$

B = кількість пар векторних шаблонів $d[X_m(i), X_m(j)] < r$ довжиною m

2.3 Ентропія Шеннона

Клод Шеннон першим почав інтерпретувати передані повідомлення і шуми в каналах зв'язку з точки зору статистики, розглядаючи як кінцеві, так і безперервні повідомлення. Клода Шеннона називають «батьком теорії інформації» Одним з найвідоміших наукових робіт Клода Шеннона є його стаття «Математична теорія зв'язку», опублікована в 1948 році.

У цій роботі Шеннон, досліджуючи проблему раціональної передачі інформації через зашумлений комунікаційний канал, запропонував імовірнісний підхід до розуміння комунікацій, створив першу, істинно математичну, теорію ентропії як заходи випадковості і ввів міру дискретного розподілу p ймовірності на множині альтернативних станів передавача і приймача повідомлень.

Шеннон поставив вимоги до вимірювання ентропії і вивів формулу, що стала основою кількісної теорії інформації:

К. Тсалліс завдяки введенню нових функцій на основі статичної залежності з деяким параметром q отримав нову формулу для ентропії

$$H(p) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$$

Тут n – число символів, з яких може бути складено повідомлення (алфавіт), H – інформаційна двоичная ентропія.

На практиці значення ймовірностей p_i в наведеній формулі замінюють їх статистичними оцінками: $p_i = \frac{N_i}{N}$ – відносна частота i -го символу в повідомленні, де N - число всіх символів в повідомленні, N_i - абсолютна частота i -го символу в повідомленні, тобто число народження i -го символу в повідомленні.

2.4 Вейвлет-ентропія

Вейвлет-аналіз є методом, заснованим на введенні відповідного базису і характеристики сигналу шляхом розподілу амплітуд у введеному базисі. Базою вейвлет-перетворення є деяка функція ψ (материнський вейвлет). В якості базової формули розрахунку значень ентропії обрана ентропія Шеннона як один з найпростіших методів отримання розподілу щільності і вірогідності енергії сигналу. Була отримана нормалізована вейвлет-ентропія, яка може використовуватися як міра ступеня порядку (безладдя) часового ряду, і, таким чином, надавати необхідну інформацію про приховані динамічні процеси.

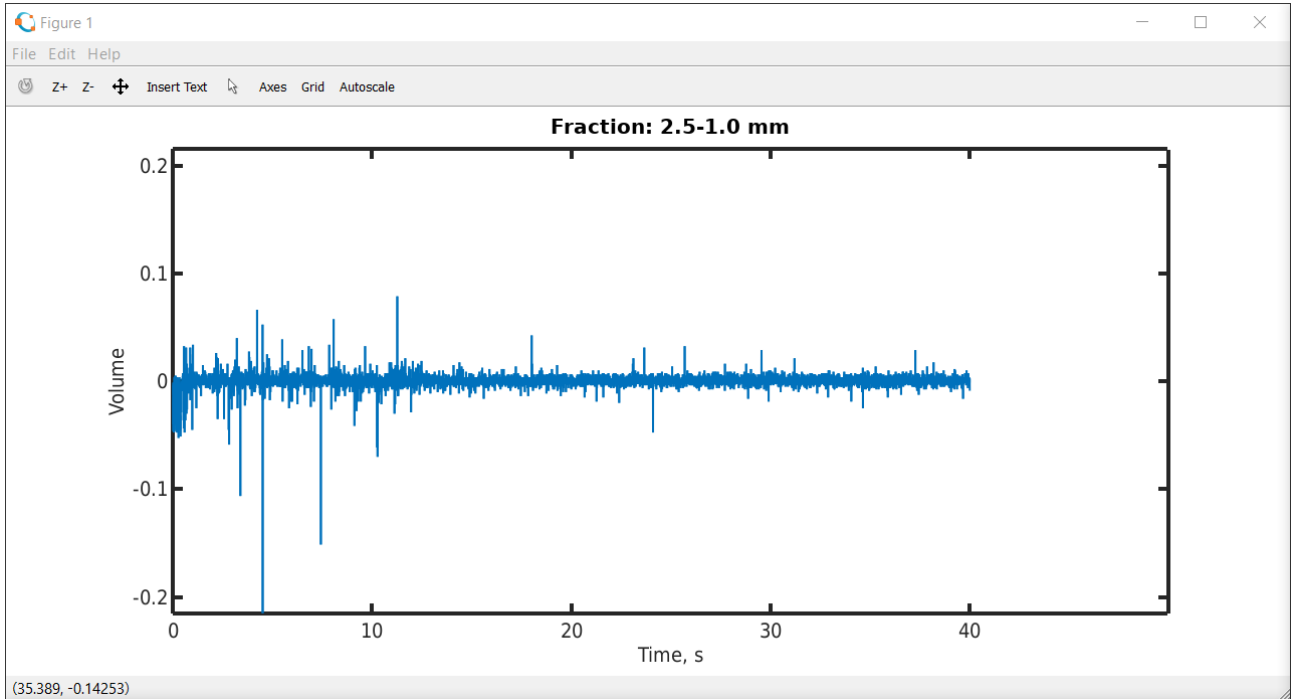
При використанні вейвлет-перетворення часто застосовують термінологію цифрової обробки сигналів, де часовий ряд називають сигналом, а його елементи часовими відліками.

Дискретне вейвлет-перетворення дозволяє отримувати представлення сигналу, коли його значення складаються з коефіцієнтів у послідовності вейвлетів. Такі вейвлет-коефіцієнти надають повну інформацію про сигнал та дозволяють безпосередньо отримувати локальні енергії складових сигналу на різних масштабах. Більш того, інформація може бути організована у вигляді ієрархічної схеми вкладених підпросторів, що дістала назву багатомасштабного аналізу.

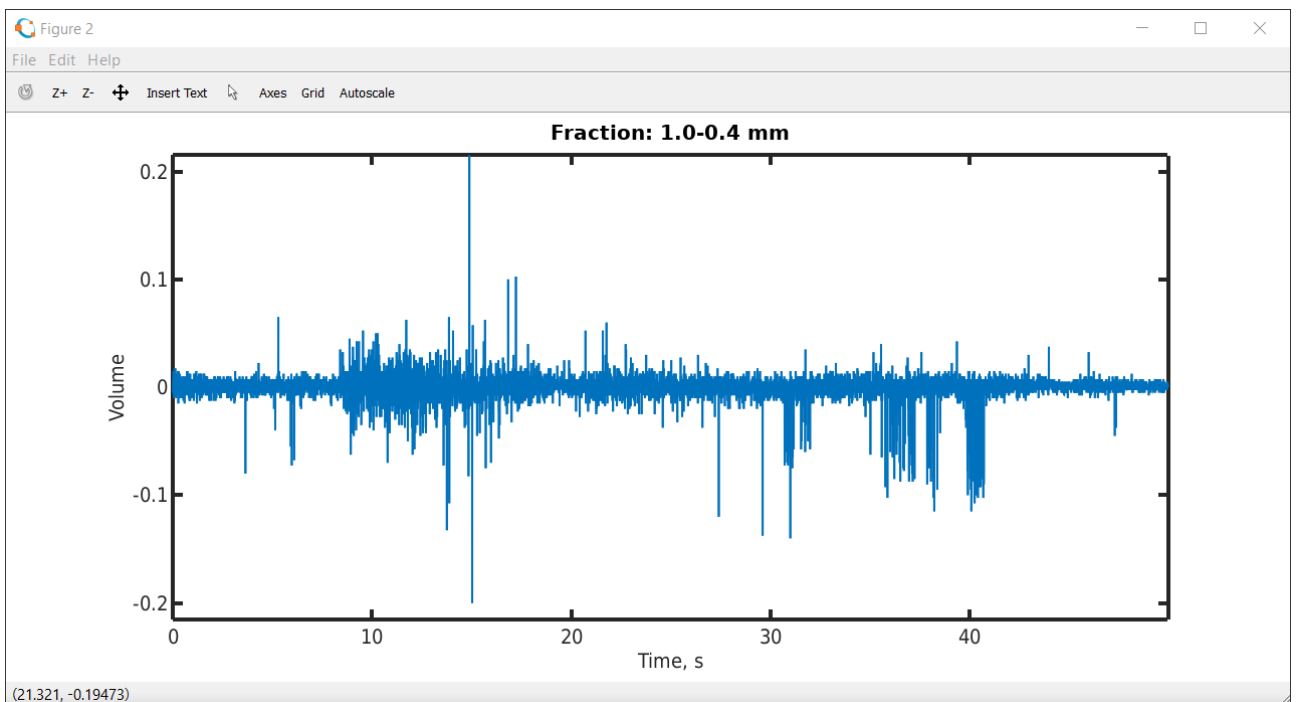
Часовий ряд, що відповідає випадковому процесу, буде демонструвати надзвичайно невпорядковану поведінку. Такий вид часових рядів буде мати вейвлет-представлення з порівняно великими значеннями на всіх частотних масштабах. Більш того, можна очікувати, що всі значення будуть приблизно однакові (одного порядку).

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

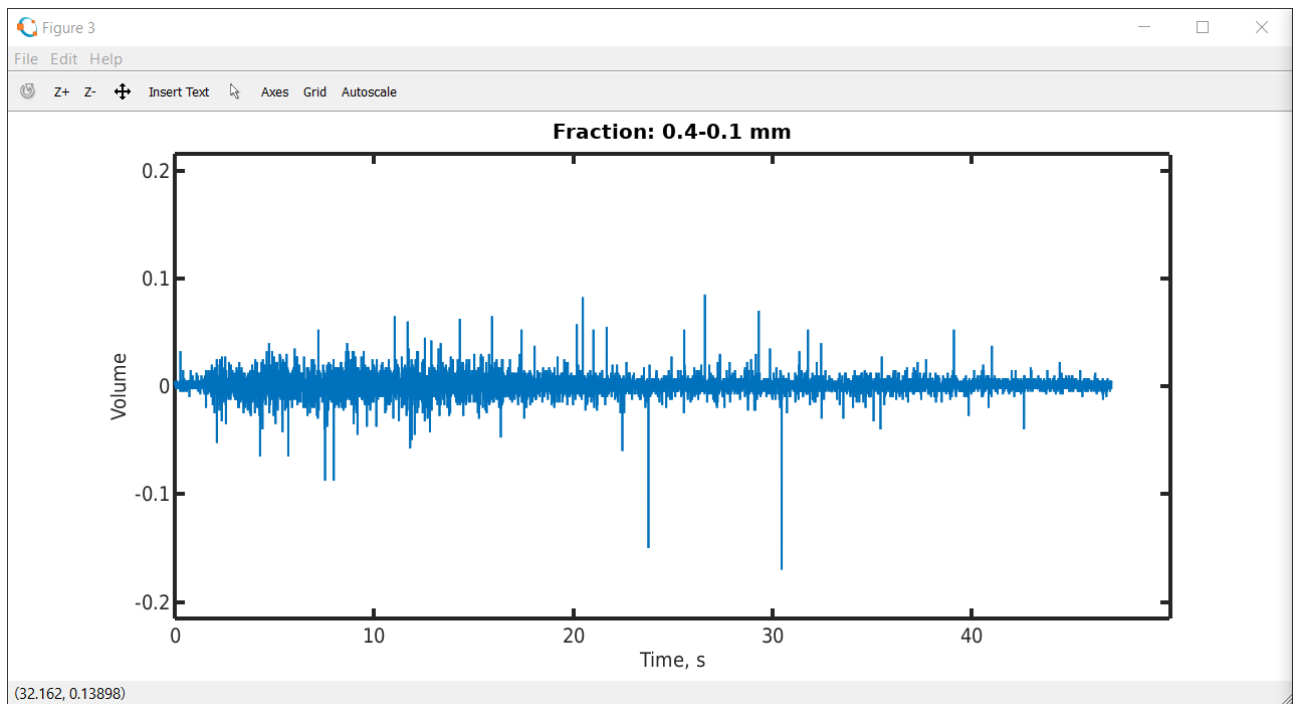
В ході виконання роботи були використані сигнали, отримані під час подрібнення різних фракцій вуглецю. Частота запису сигналу складає 200 значень за секунду. Загальна довжина кожного сигналу залежить від подрібненої фракції. Повні сигнали представлені на графіках нижче



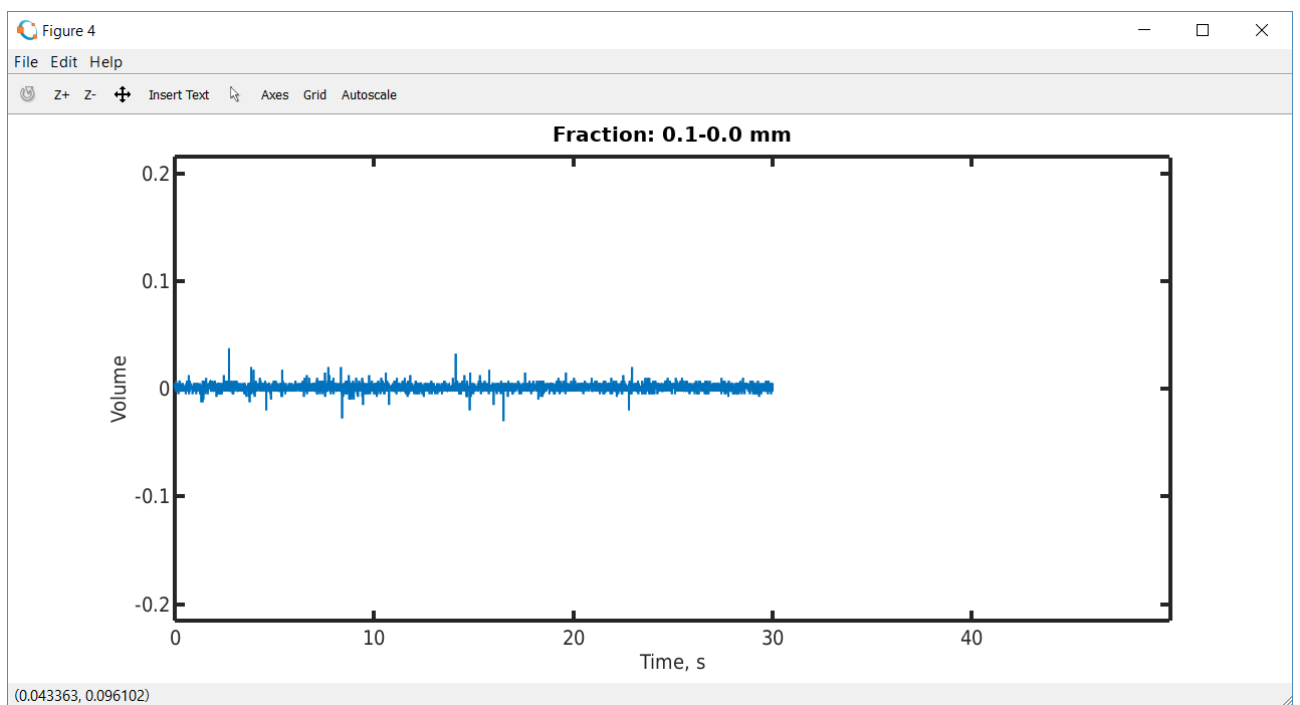
Мал.3.1. Фракція 2,5 – 1,0 мм



Мал.3.2. Фракція 1,0 – 0,4 мм

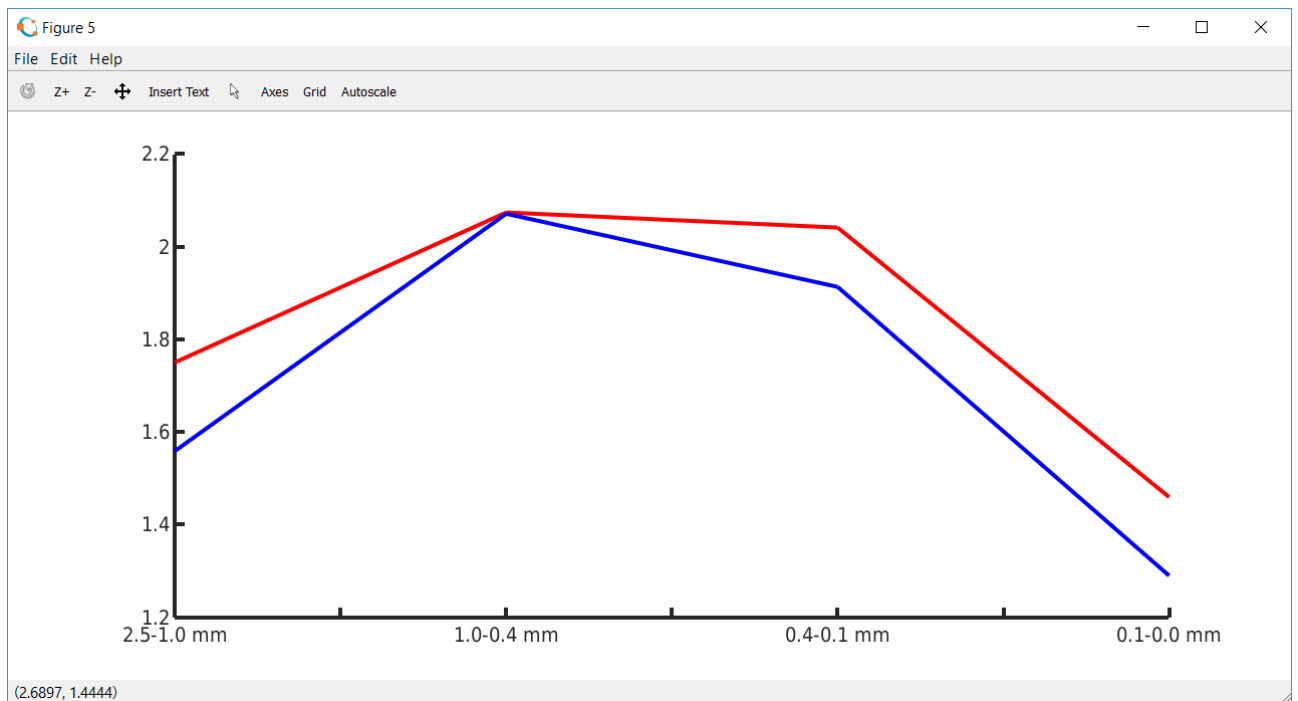


Мал.3.3. Фракція 0,4 – 0,1 мм



Мал.3.4. Фракція 0,1 – 0 мм

Для даних сигналів порахували коефіцієнти апроксимованої ентропії та ентропії шаблонів:

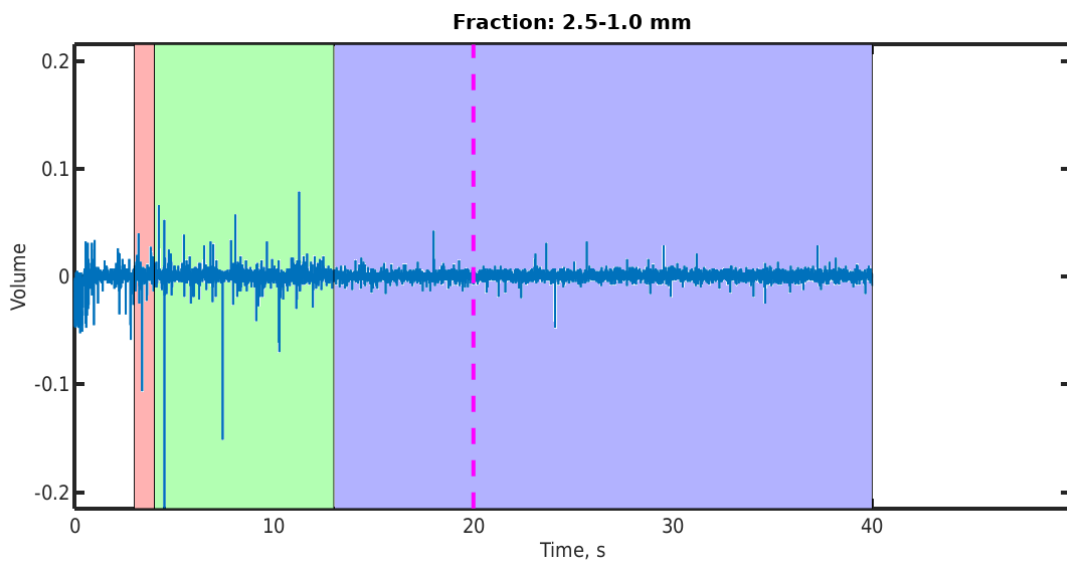


Мал.3.5. Графік ентропії шаблонів (позначена синім кольором) та ентропії подібності (червоним кольором)

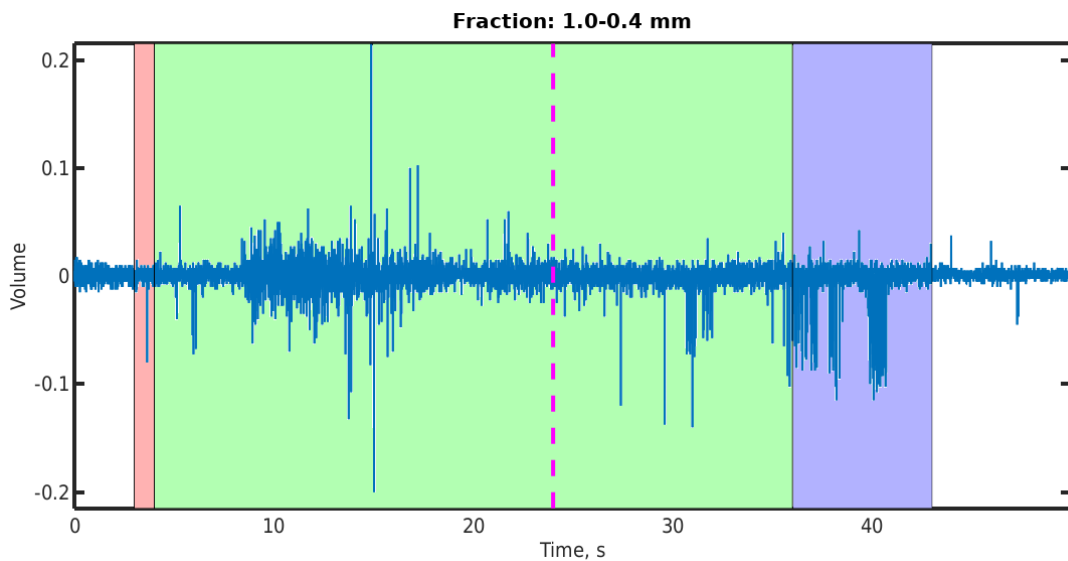
З графіків видно, що коефіцієнт ентропії відображає нерівномірність сигналу. Однак цієї інформація недостатньо для реального контролю стану млина в реальному часі. Тому спробуємо подивитися, як змінюється ентропія з часом.

Разом з сигналом також були отримані дані про стан млина:

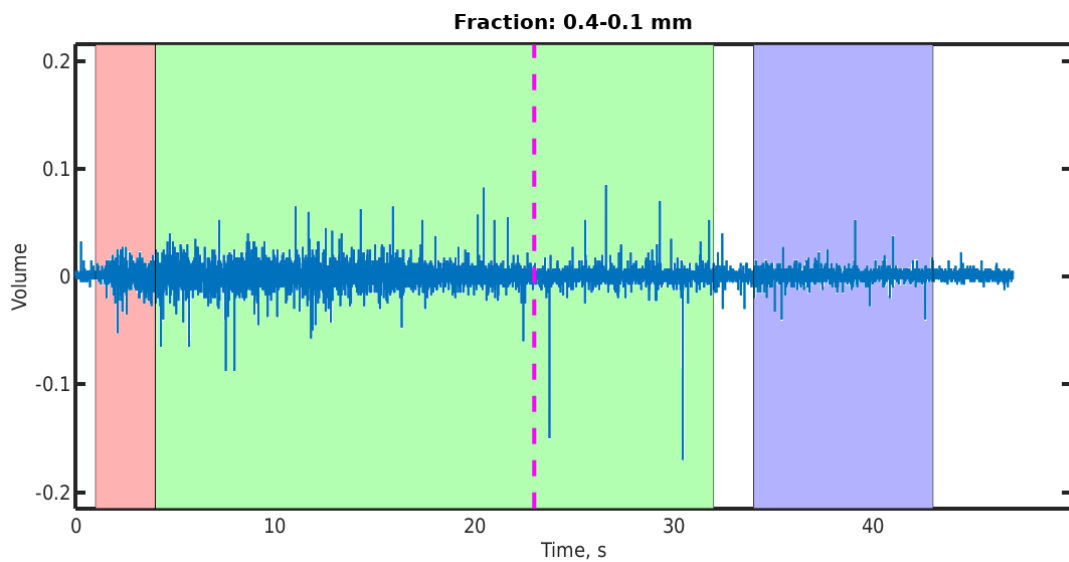
- 1) проміжки завантаження – на графіках ця зона виділена червоним кольором,
- 2) режим роботи – зона зеленого кольору
- 3) режим розвантаження – синього кольору.
- 4) а також є час, коли можна завантажувати новий матеріал, який на графіках зображений пунктиром.



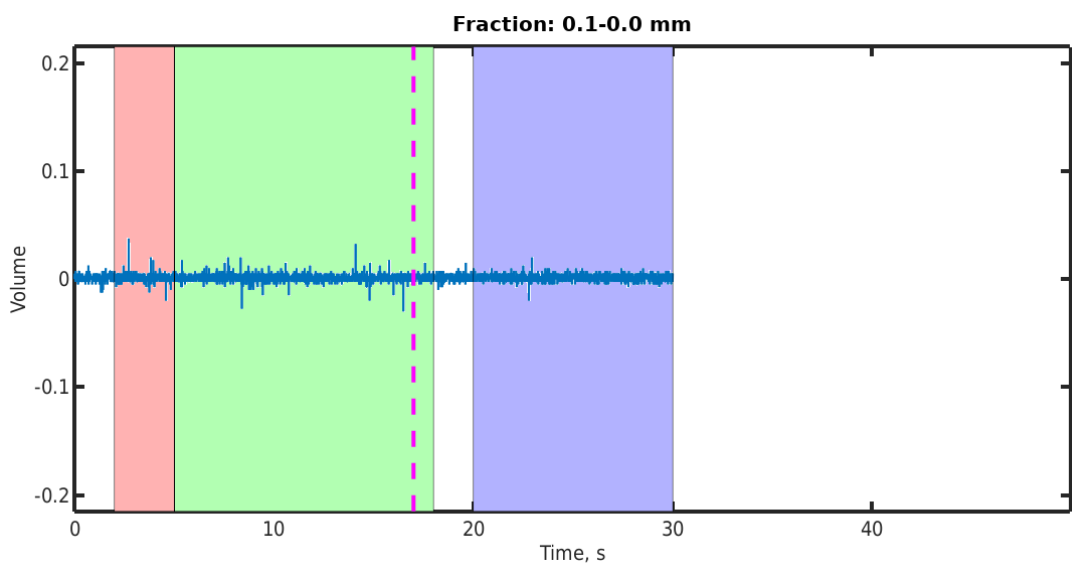
Мал.3.6. Графік фракції 2,5 – 1,0 мм з позначенням зон



Мал.3.7. Графік фракції 1,0 – 0,4 мм з позначенням зон

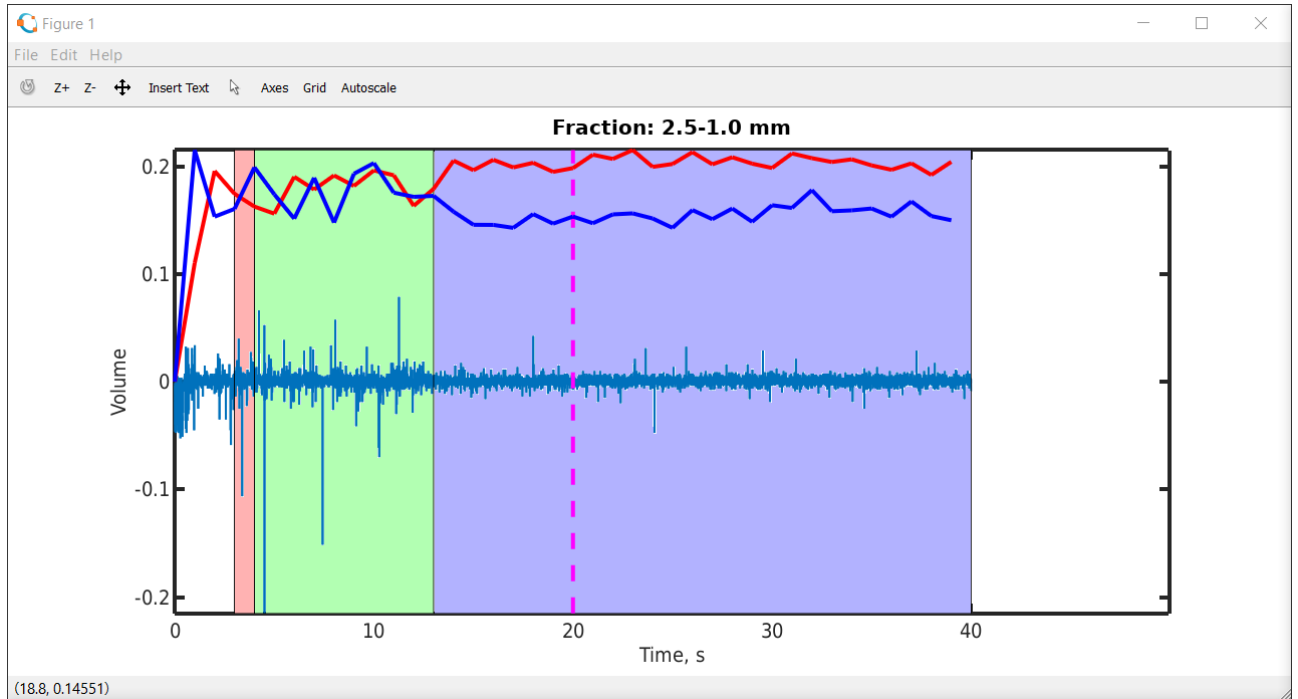


Мал.3.8 Графік фракції 0,4 – 0,1 мм з позначенням зон

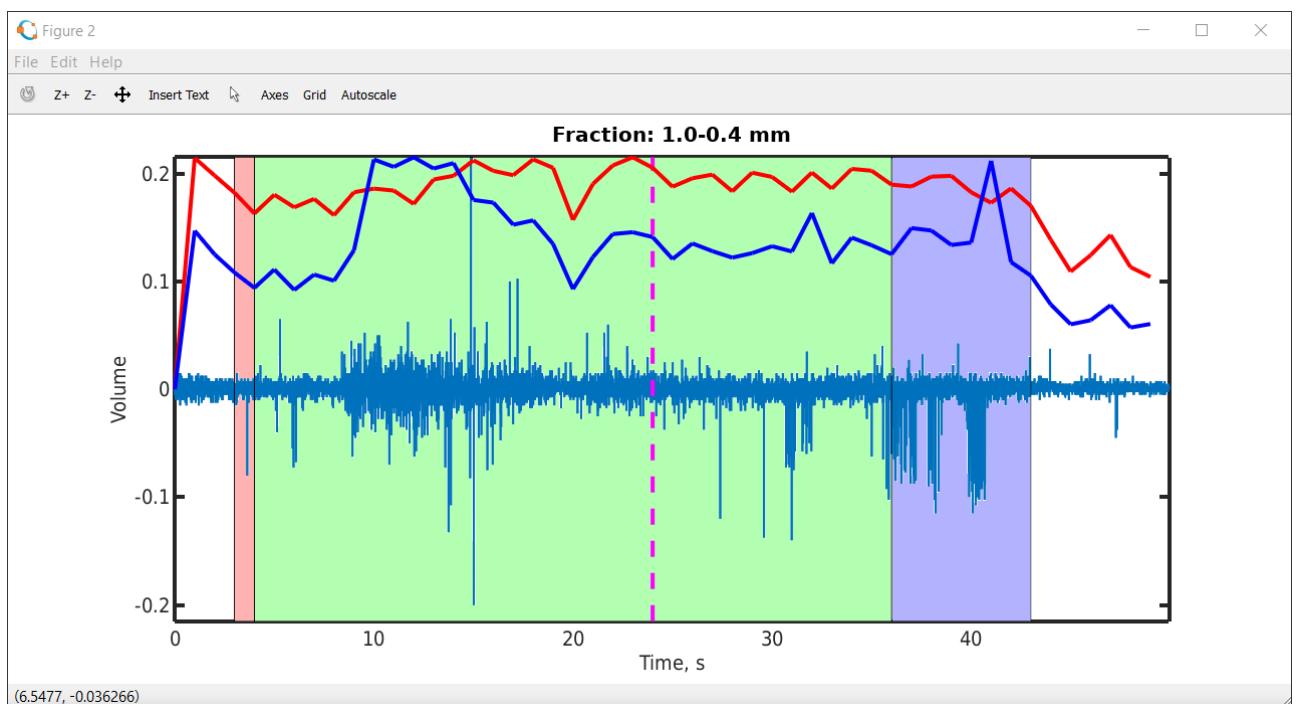


Мал.3.9. Графік фракції 0,1 – 0 мм мм з позначенням зон

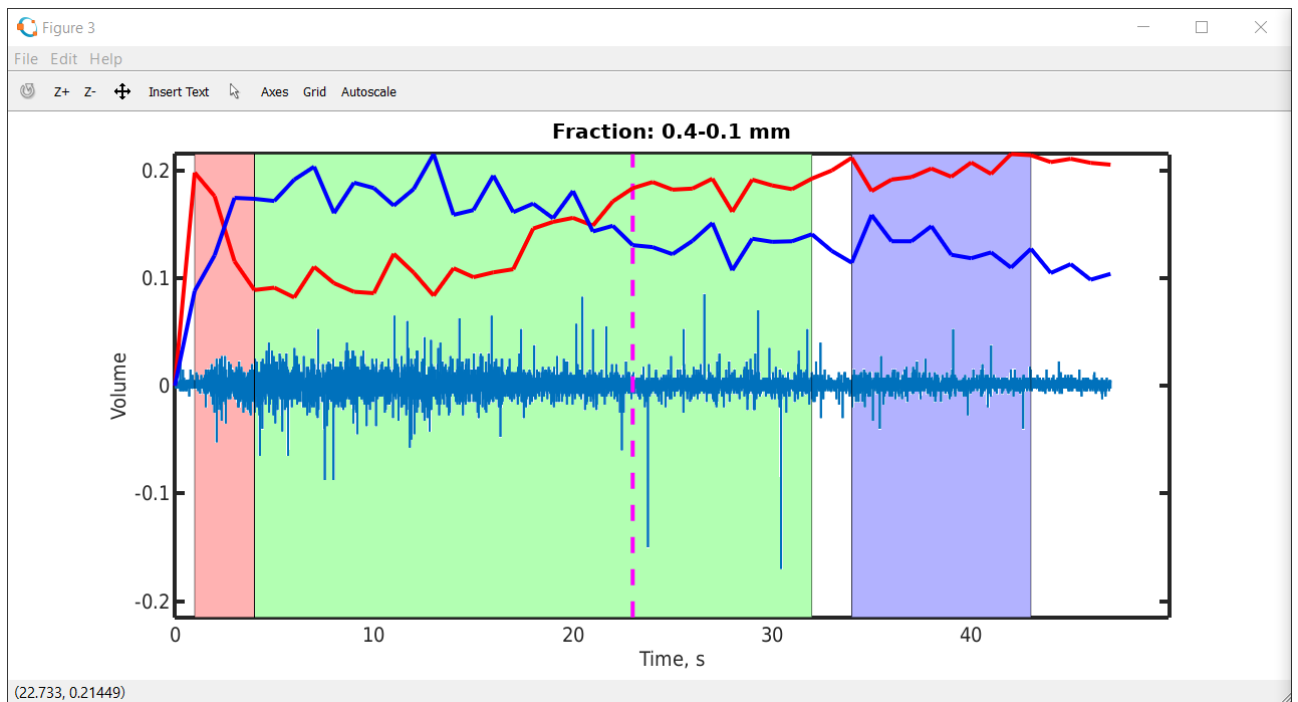
Першою спробою для розрахунку поведінки ентропії в часі було розбиття сигналу на одnoseкундні інтервали (200 значень) та розрахунок ентропії для кожного такого фрагменту. Слід зазначити, що в даному контексті не важливі конкретні значення функції, а тільки лише її поведінка (спад, зростання) на досліджуваних участках. Графіки представлені нижче:



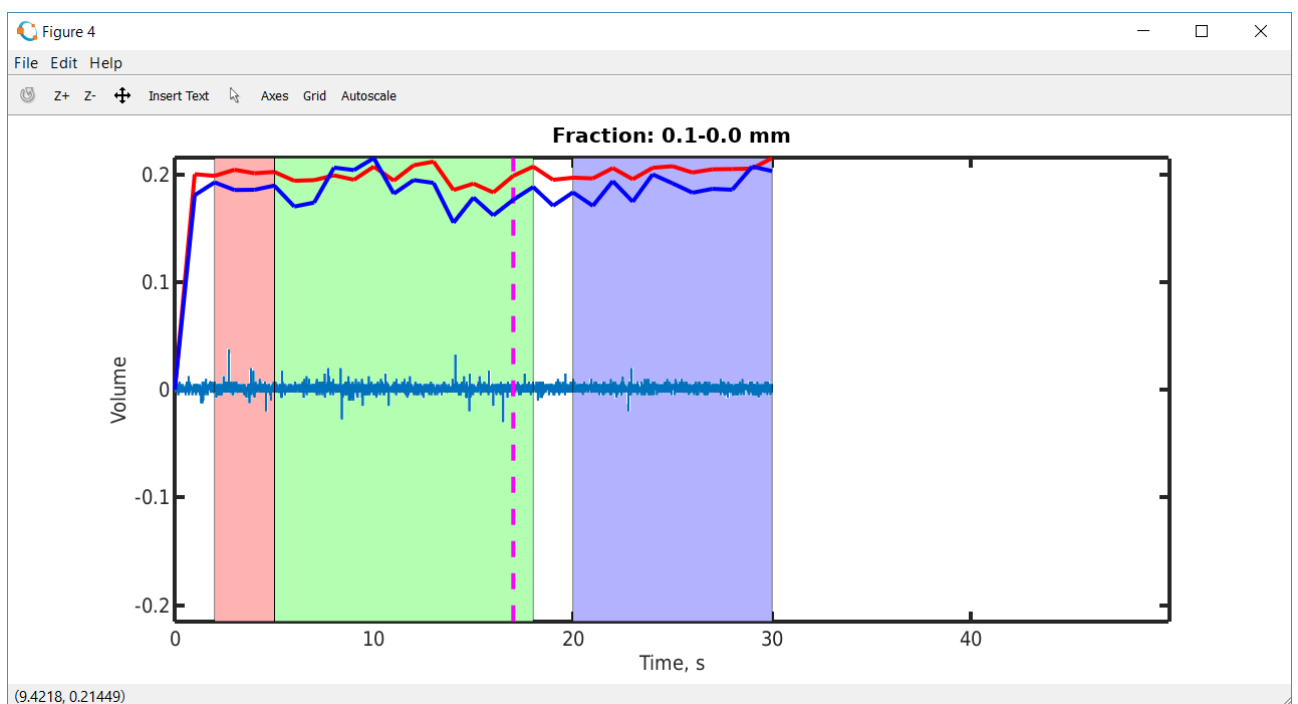
Мал.3.10. Графік ентропії за кожну секунду для фракції 2,5 – 1,0 мм



Мал.3.11 Графік ентропії за кожну секунду для фракції 1,0 – 0,4 мм



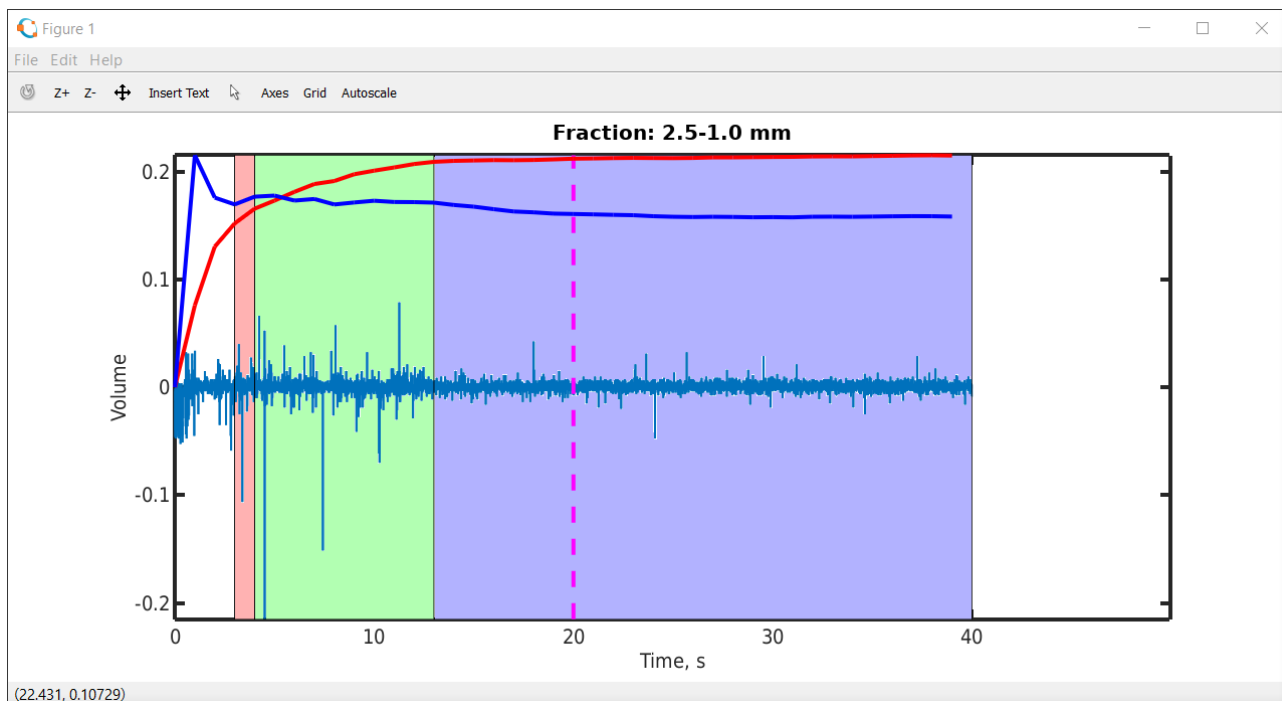
Мал.3.12 Графік ентропії за кожну секунду для фракції 0,4 – 0,1 мм



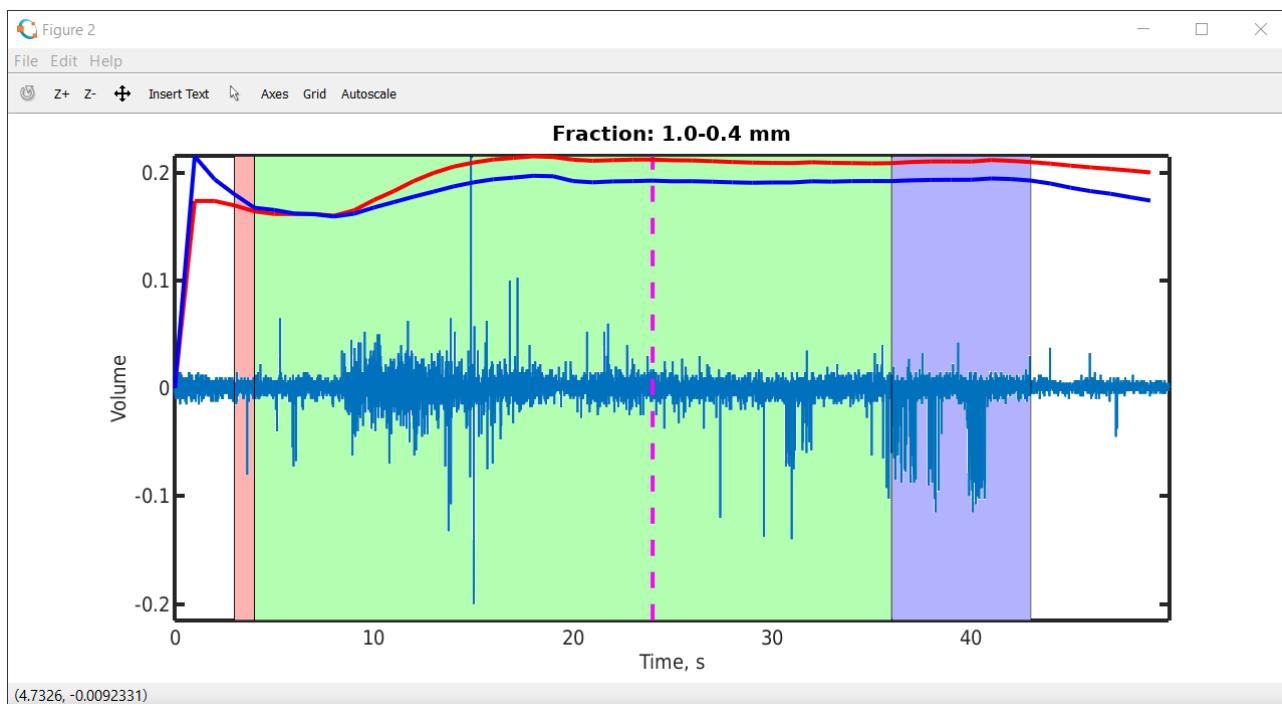
Мал.3.13. Графік ентропії за кожну секунду для фракції 0,1 – 0 мм

Помітно, як скачки графіку ентропії відповідають зонам великого розкиду сигналу. Але отримані дані дуже нерівномірні та погано відображають динаміку ентропії.

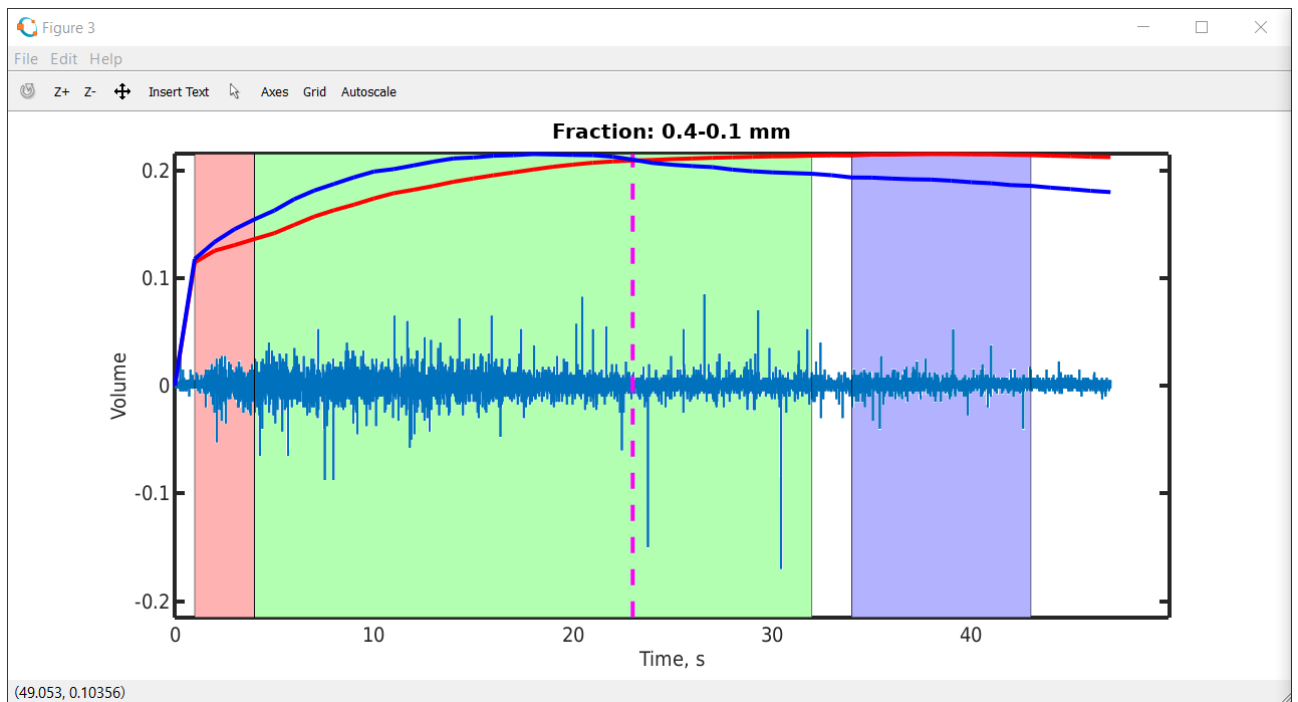
Тому наступним кроком була спроба покращити ситуацію, підраховавши ентропію не в секундних інтервалах, а в інтервалах від початку до певної секунди. Результати представлені нижче.



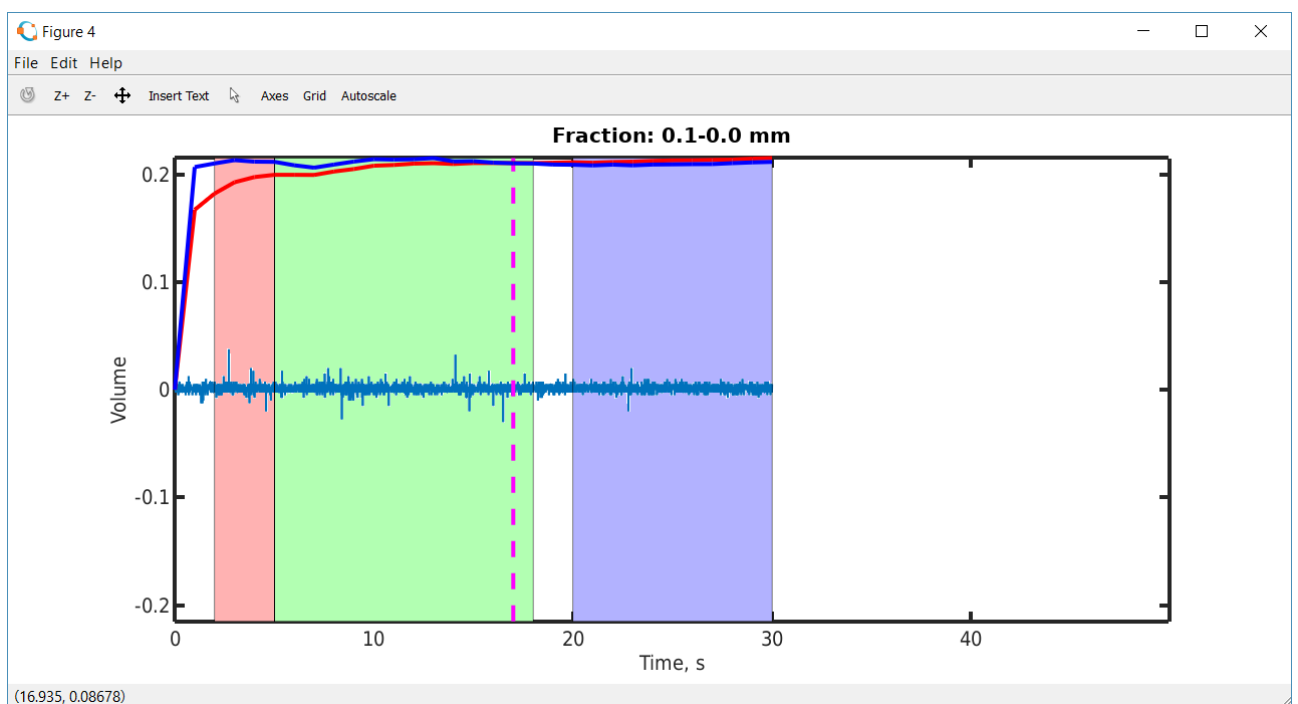
Мал.3.14 Графік ентропії від початку до певної секунди для фракції 2,5 – 1,0 мм



Мал.3.15 Графік ентропії від початку до певної секунди для фракції 1,0 – 0,4 мм



Мал.3.16 Графік ентропії від початку до певної секунди для фракції 0,4 – 0,1 мм



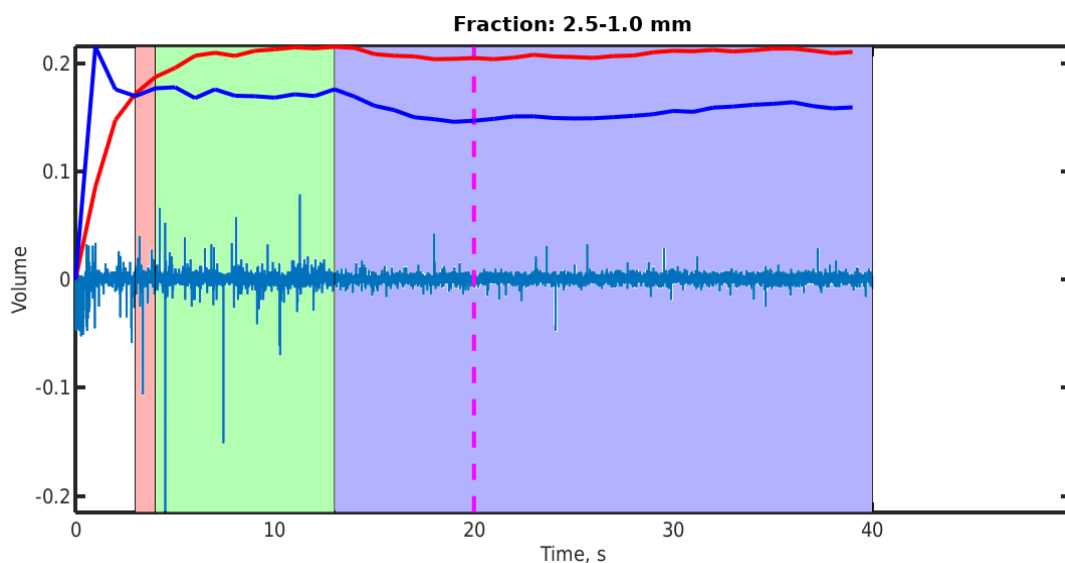
Мал.3.17 Графік ентропії від початку до певної секунди для фракції 0,1 – 0 мм

За графіками видно, що ентропія в фазі завантаження підвищується, а в фазі робочого режиму і розвантаження – поступово спадає або не підвищується. З цього можна зробити припущення, що поступове подрібнення матеріалу призводить до зменшення амплітуди шуму звукового сигналу і, отже, його

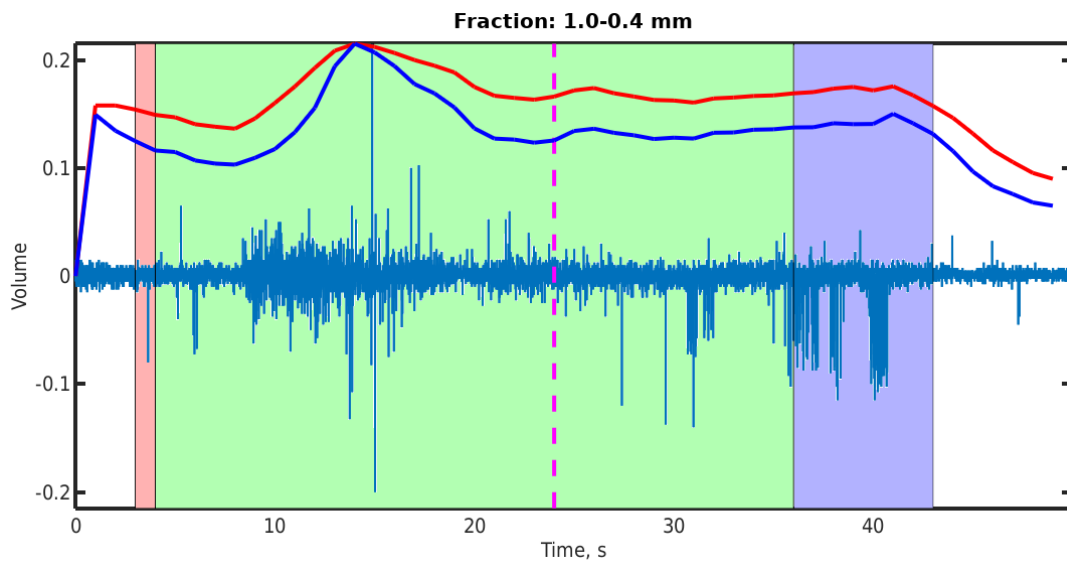
ентропії. Таким чином можна припустити, що якщо ентропія сигналу продовжує підвищуватися в процесі подрібнення, то це означає, що виникла помилка –матеріал не підлягає подрібненню, або у помольну камеру потрапили сторонні предмети. Нажаль запис сигналу, який містить подібну помилку не було надано.

Хоча метод оцінки ентропії від початку запису до конкретної секунди більш показовий у порівнянні з оцінкою ентропії кожну секунду, але швидкість його розрахунку значно зменшується з ходом часу, оскільки даних для оцінки стає все більше. Тому потрібно знайти альтернативу, яка була б одночасно і показовою, і могла працювати в режимі реального часу.

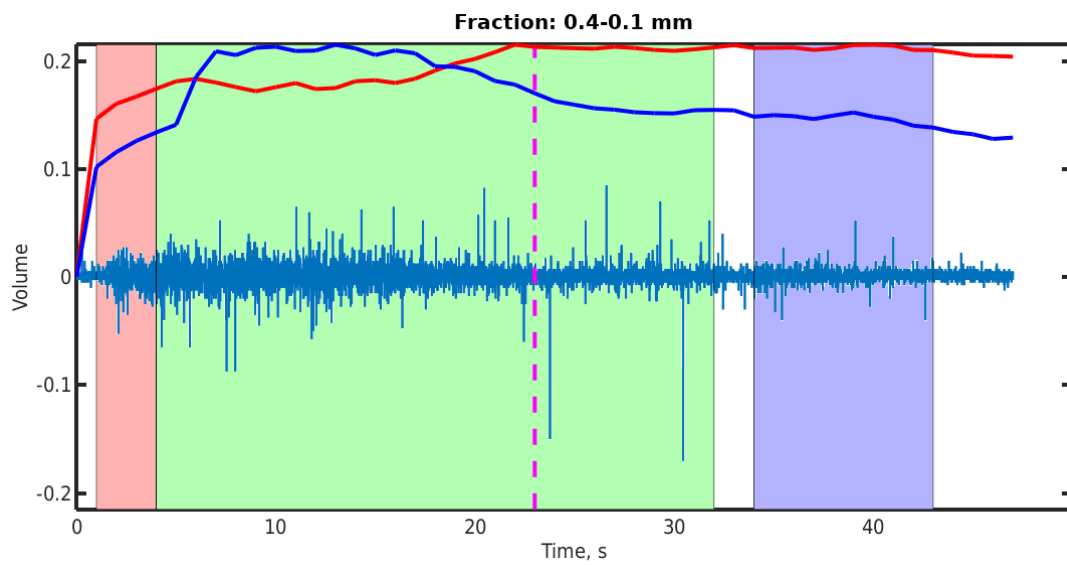
Отже, за кожну секунду було проведено розрахунок ентропії за останні 5 секунд. Результат надано нижче



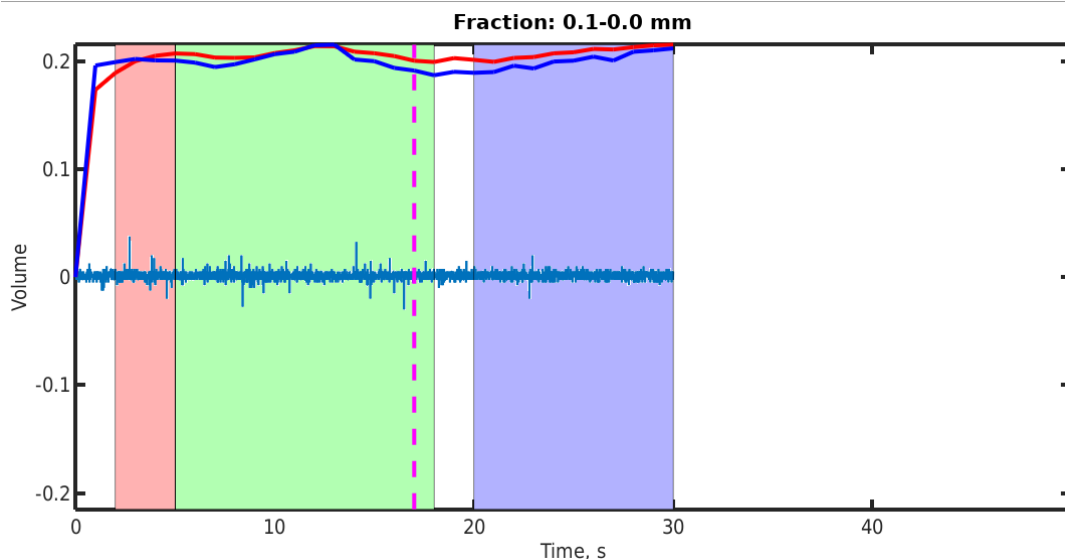
Мал.3.18 Графік ентропії за останні 5 секунд для фракції 2,5 – 1,0 мм



Мал.3.19 Графік ентропії за останні 5 секунд для фракції 1,0 – 0,4 мм



Мал.3.20 Графік ентропії за останні 5 секунд для фракції 0,4 – 0,1 мм



Мал.3.21 Графік ентропії за останні 5 секунд для фракції 0,1 – 0 мм

Даний варіант виявився таким же наочним, як і другий варіант, але не на стільки витратний за часом. Його можна буде використати прямо під час роботи млина.

Висновки

1. Дивлячись на графіки функції можна сказати, що функції (ентропії шаблонів та ентропії подібності) ведуть себе однаково, але у проміжках найбільших змін ентропії шаблонів веде себе більш наглядно.
2. Виходячи з отриманих результатів видно, що використання одного лиш методу ентропії недостатньо для класифікації конкретних станів млина, тим паче не є можливим визначення моменту, коли потрібно досипати матеріал, тому що ентропія сигналу часто може вести себе однаково на проміжках різних станів, але дивлячись на динаміку ентропії можна в певний мірі судити про правильність роботи млина

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Маркетингові дослідження

Останнім часом все більша увага приділяється млинам ударної дії та струменевим млинам, які характеризуються високою чистотою продуктів, великими ступенями сухого подрібнення, малою металоємністю, великою питомою продуктивністю і порівняно низькими питомими витратами. Вони використовуються для тонкого подрібнення зернистих матеріалів і мають широку область застосування (табл. 1).

Таблиця 1

Області застосування струменевих млинів для надтонкого помолу

Галузь промисловості	Подрібнювальний матеріал
Атомна	Торієві матеріали
Лакофарбова	Пігменти, барвники
Різні галузі хімічної	Апатит, фосфорит, тальк, слюда, крейда, силікагель, пластмаси, природні та штучні смоли, каучук, органічні хімікалії
Металургійна	Алюміній, чавун, свинець, оксиди заліза, залізна руда
Гірничо-рудна, будівельна, текстильна, паперова, кераміка і вогнетрива	Графіт, вапняк, крейда, бетоніт, торф, польовий шпат, магнезит, кизельгур, фосфати, глина, барит, діатоміт, цирконій, целюлоза, деревина, відбілювачі
Харчова	Злаки, крупи, сушені овочі, горіхи, какао-боби, горох, боби, кормові добавки, кислоти жирного ряду
Фармацевтична	Лікарські рослини, пеніцилін, стрептоміцин, сульфодіазін і ін.
Сільське господарство	ДДТ, ВНС, оксихлорид міді, ліндан, тиокарбонатів - отрутохімікати; кормове зерно, кормові добавки
Інші	Корунд, пробка, деревина, сировина для косметичних продуктів, сірчаноокислий кальцій і ін.

У млинах ударної дії матеріал подрібнюється дією ударів обертових робочих органів по часткам матеріалу, повторних зіткнень частинок з відбивними елементами, а також між собою.

У млинах струменевого енергії подрібнення матеріалу відбувається за допомогою зіткнення частинок за допомогою потоків стисненого повітря або пара високого тиску.

Для дипломного проекту були обрані для розгляду струменеві млини, так як вони мають ряд переваг:

- малі габарити, що не тільки економить виробничі площі, а й дозволяє використовувати для виготовлення помольних камер дорогі високоякісні матеріали;
- розміри частинок готового продукту можуть регулюватися в широкому діапазоні;
- в них відсутні мелючі тіла, що дозволяє отримувати тонкодисперсний матеріал з низьким, або навіть нульовим вмістом продуктів зносу;
- низький рівень споживання електричної енергії;
- легкість в управлінні, обслуговуванні і заміні складових.

У струменевого млині процес подрібнення здійснюється в помольній камері. Туди ж подається повітря (стиснений) або нагрітий пар. Цей потік змішується з вихідним матеріалом і виходить так званий аерозоль. У процесі входження частинок сировини в потік повітря або газу починаються інтенсивні зіткнення маленьких шматочків між собою. Доведено, що в цей момент подрібнюється до 70% всього матеріалу, а решта 30% доопрацьовуються в процесі руху в потоці.

До теперішнього часу розроблені елементи теорії і методика розрахунку різних типів струменевих млинів. Дослідження в цій області продовжуються і зараз. Їх метою є підвищення ефективності тонкого подрібнення і зниження вартості подрібнювачів, зменшення питомих енерговитрат, зносу і металоємності млинів, збільшення їх довговічності і зручності експлуатації.

4.2 Економічний ефект

Оскільки в дипломному проекті програмне забезпечення не розроблялося, а, отже, і не було витрат на його створення і впровадження, то замість економічного ефекту було розглянуто соціальний ефект.

Було проведено дослідження сигналу струменевого млини за допомогою ентропійних характеристик, і було з'ясовано, що можна використовувати розглянуті методи як додатковий засіб моніторингу якості подрібнення продукту на ряду з поточними. Це підвищує надійність і якість млинів, покращує якість помолу, а також роботодавцю потрібна менша кількість персоналу, так як більшу частину роботи буде виконувати комп'ютер.

4.3 Висновок

Для тонкого і надтонкого подрібнення матеріалу доцільно застосовувати струменеві подрібнювачі, які мають високий ККД подрібнення, відносно низькі питомі енерговитрати і дозволяють отримати тонкодисперсний продукт високого ступеня чистоти.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М./ Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 228 с.
2. Данильчук А.Б./ Исследование кризисных явлений на финансовых рынках с использованием энтропийных методов (Черкасский национальный университет им. Богдана Хмельницкого, г. Черкассы, Украина)
3. Горобец В.И./ Оптимизация параметров и разработка способов автоматического регулирования газоструйной мельницы. — М.: Машиностроение, 1965.
4. Борщев В. Я./ Оборудование для измельчения материалов: дробилки и мельницы: учебное пособие. — Тамбов: издательство Тамбовского Государственного Технического Университета, 2004. — 102с.
5. Прядко Н.С./ Информационная технология получения тонкодисперсных материалов струйным измельчением / Н. С. Прядко, Т. М. Буланая, Л. Ж. Горобец, Ю. Г. Соболевская, Н. П. Сироткина.— Системные технологии: региональный межвузовский сборник научных трудов. — Днепропетровск. — 2010. — Вып. 3(58). — С. 40 – 46.
6. Полякова М.В., Любченко В.В./ Структурный анализ временных рядов со скачками среднего значения //Оптимизация управления, информационные системы и компьютерные технологии: Труды Украинской академии экономической кибернетики (Южный научный центр). — Киев-Одесса: ИСЦ, 1999. — Вып.1. — Ч.1. — С. 174 — 179.
7. Сметанин Ю.Г., Ульянов М.В. Пространство обобщенных характеристик для классификации временных рядов: характеристика гармонической сложности // Сборник статей МНТК «Проблемы автоматизации и управления в технических системах» / Под ред. д.т.н., проф. М.А.Щербакова. Пенза: Изд. ПГУ, 2013. С. 125-128.
8. Волькенштейн М. В. Энтропия и информация. — М.: Наука, 2006.

9. Симиу Э. Хаотические переходы в детерминированных и стохастических системах. М.: Физматлит, 2007. 208 с.
10. Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. — М.: Наука, 1967. — 280 с.
11. Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. — М.: Мир, 1988. — 350 с.
12. Хинчин А. Я. Понятие энтропии в теории вероятностей // Успехи математических наук. — 1953. — Т. 8, вып. 3(55). — С. 3-20.
13. Соловйов В.М. Мережні міри складності соціально-економічних систем. Вісник Черкаського університету, сер. «Прикладна математика. Інформатика», № 38 (371), 2015, с.67-79.
14. Горобец Л.Ж./ Интенсификация процесса струйного измельчения на основе анализа акустических параметров / Л. Ж. Горобец, Н. С. Прядко, И. А. Шуляк, Ю. Г. Соболевская.– Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 2(54). – С. 15 – 19.
15. Соловйов В.М., Дербенцев В.Д., Шарапов О.Д. Моделювання явищ самоорганізації в фінансово-економічних системах. Міжвідомчий науковий збірник «Моделювання та інформаційні системи в економіці, Київ, КНЕУ, Вип. 70, 2003, с.74-85.
16. Пилов П.И./ Акустические и технологические характеристики процесса измельчения в струйной мельнице / П. И. Пилов, Л. Ж. Горобец, В. Н. Бовенко, Н. С. Прядко.- Известия вузов. Горный журнал. – 2009. – №4. – С. 117 – 121.
17. Шелухин О. И. Мультифракталы. Инфокоммуникационные приложения / М.: Горячая Линия - Телеком, 2011. – 578 с.
18. Тихомиров Г.В./ Прогнозирование и управление экономикой предприятия: Монография. – М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2005. – 288с.
19. Шамбадаль П. Развитие и приложение понятия энтропии. — М.: Наука, 1967. — 280 с.

20. Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. — М.: Мир, 1988. — 350 с.
21. Хинчин А. Я. Понятие энтропии в теории вероятностей // Успехи математических наук. — 1953. — Т. 8, вып. 3(55). — С. 3-20.
22. Мишулина О. А. Статистический анализ и обработка временных рядов. — М.: МИФИ, 2004. — С. 180. — ISBN 5-7262-0536-7.
23. Цветков О.В. Энтропийный анализ данных в физике, биологии и технике. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 202 с
24. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление: Пер. с англ. // Под ред. В. Ф. Писаренко. — М.: Мир, 1974, кн. 1. — 406 с.
25. Якубін О. Л. Застосування «аналізу часових рядів» у сучасній політичній науці: досвід та перспективи// Трибуна. — 2009. — Березень-квітень № 3-4. — С. 19-22
26. Акунов В.И. Современное состояние и тенденции совершенствования молотковых дробилок и мельниц // Строительные и дорожные машины. 1995. -№1.-С. 11-13.
27. Акунов В.И. Струйные мельницы. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1967. -257 с.
28. Акунов В.И. Струйные мельницы. Теория. Рациональный типаж. Применение: Автореф. дис. док. техн. наук: 05.02.13 / МИСИ. М., 1989. - 44 с.
29. Акунов В.И. Струйные мельницы. Элементы теории и расчета. М.: Машгиз, 1962.-264 с.
30. Акунов В. И. Экспериментальные исследования установок для тонкого измельчения с противоточными струйными мельницами: Дисс. . канд. техн. наук: 05.02.13 / ВНИИНСМ. М., 1961.-229 с.
31. Андреев С.Е., Товаров В.В., Перов В.А. Закономерности измельчения и исчисления характеристик гранулометрического состава. М.: Metallurgizdat, 1959.-427 с.

32. Баклушин Б.Г., Третьяков В.Н., Лепетуха Г.Б. и др. Гибкая технология приготовления сырьевых шламов с использованием мельниц самоизмельчения // Цемент. 1997.-№ 1.т С. 17-20.
33. Баловнев В.И., Разумов Ю.В., Феднер Л.А. Высокоэффективные мельницы в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 1994. - № 8.-С. 7.
34. Баловнев В.И., Бакагин Ю.П., Данилов Р.Г. Новая высокоэффективная роторная мельница с зубчатоподобным зацеплением // Строительные и дорожные машины. 1998. - № 3. - С. 28-29.
35. Данилов Р.Г. Механизм тонкого измельчения в роторных мельницах с зубчатоподобным зацеплением // Строительные и дорожные машины. 1997. -№ 12. - С. 29-31.
36. Дорохов И.Н., Эскин Д.И., Щеголяев Е.В. Исследование струйного измельчения и его перспективы в цементной промышленности // Цемент. 1995. -№ 2.-С. 34-36.
37. Катаев Е.Ф., Богданов В.С., Воробьев Н.Д., Шаблов А.С. Мельницы сверхтонкого измельчения: Учеб. пособие. Белгород: Изд-во БТИСМ, 1988.-87 с.
38. Олевский В.А. Размольное оборудование обогатительных фабрик. М.: Гсюгортехнадзор, 1963. -447 с.
39. Сиденко П.М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия, 1977.-368 с.
40. Соколов Е.Я., Зингер Н.М, Струйные аппараты. 2-е изд. М.: Энергия, 1970. -288 с. ' .
41. Хлудеев В.И., Уваров В.А., Карпачев Д.В., Ярыгин А.А. Струйная мельница с самофутерующейся камерой помола. Патент РФ № 49736. Оpubл. в БИ №34 10.12.05г.
42. Шаратов Р.Р. Шаровые мельницы замкнутого цикла измельчения с повышенной продольной скоростью материала: Автореф. дис. . канд. техн. наук: 05.02.13 / БТИСМ. Белгород, 1996. - 22 с.

43. Pincus S. M. Approximate entropy as a measure of system complexity // Proc. Natl. Acad. Sci., 1991.- V.88.- P. 2297-2301.
44. . Zunino L., Perez D.G., Garavaglia M., Rosso O.A. Wavelet entropy of stochastic processes // arXiv:physics/0603144 v1 17 Mar 2006.
45. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов // Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.-160с.
46. . Madalena Costa, Ary L. Goldberger, C.-K. Peng. Multiscale entropy analysis of physiologic signals // Phys Rev Lett, 2002.- V.89. – P.062102.
47. Цветков О.В. Энтропийный анализ данных в физике, биологии и технике. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2015. 202 с
48. Хинчин А. Я. Понятие энтропии в теории вероятностей // Успехи математических наук. — 1953. — Т. 8, вып. 3(55). — С. 3-20.
49. Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М./ Анализ временных рядов и прогнозирование: Учебник. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 228 с.
50. Использование энтропийных характеристик временных рядов для определения качества измельчения технического углерода в струйной мельнице (Электронный ресурс) / Способ доступа: URL http://www.rusnauka.com/3_SND_2018/Informatica/1_233063.doc.htm

ДОДАТОК А.

Код використаних функцій

```
clear; close all; clc;

addpath(genpath("C:/Dyploma/NETWORK"))

%% Retrieving data

useColumn = 2;

maxRows = max([rows(data4_25_10), rows(data4_10_04),
rows(data4_04_01), rows(data4_01_00)])

[data1, stageStart1, stageEnd1] = data4_25_10;
[data2, stageStart2, stageEnd2] = data4_10_04;
[data3, stageStart3, stageEnd3] = data4_04_01;
[data4, stageStart4, stageEnd4] = data4_01_00;

data = [[data1(:, useColumn); NaN(maxRows-rows(data1), 1)], [data2(:,
useColumn); NaN(maxRows-rows(data2), 1)], [data3(:, useColumn);
NaN(maxRows-rows(data3), 1)], [data4(:, useColumn); NaN(maxRows-
rows(data4), 1)]];

stageStart = [stageStart1; stageStart2; stageStart3; stageStart4];
stageEnd = [stageEnd1; stageEnd2; stageEnd3; stageEnd4];

%% Figures

figure1 = figure(1);
figure2 = figure(2);
figure3 = figure(3);
figure4 = figure(4);
figures = [figure1, figure2, figure3, figure4];
```



```

%% Parameters

dim = 2;
chunkSize = 200;
minY = min(min(data));
maxY = max(max(data));

for i = 1:columns(figures)
    %% Data and axes
    figure(figures(i));
    plot((1:rows(data))*0.005, data(:, i), "linewidth", 2);
    axis ([0, (rows(data))*0.005, minY, maxY]);
    xlabel ("Time, s", "fontsize", 20);
    ylabel ("Volume", "fontsize", 20);

    %% Draw zones
    rectangle('Position',[stageStart(i, 1),minY,stageEnd(i, 1)-stageStart(i, 1),maxY-minY],'FaceColor',[1,0.7,0.7]);
    rectangle('Position',[stageStart(i, 2),minY,stageEnd(i, 2)-stageStart(i, 2),maxY-minY],'FaceColor',[0.7,1,0.7]);
    rectangle('Position',[stageStart(i, 3),minY,stageEnd(i, 3)-stageStart(i, 3),maxY-minY],'FaceColor',[0.7,0.7,1]);
    line([stageStart(i, 4),stageEnd(i, 4)], [minY,maxY],'Color', [1,0,1], "linewidth", 4, "linestyle", "--");

    nans = find(isnan(data(:, i)));
    nansel = numel(nans);
    tolerance = 0.2*std(data(1:end-nansel, i))

    %% Aproximation calculations
    last = chunkSize;

```

```

apEns = 0;
sampEns = 0;

while last <= rows(data) && !isnan(data(last, i))
    dataChunk = data(1:last, i);
    apEns = [apEns, ApEn(dim, tolerance, dataChunk)];
    sampEns = [sampEns, SampEn(dim, tolerance, dataChunk)];
    last += chunkSize;
endwhile

apEns = (apEns / max(apEns)) * maxY;
sampEns = (sampEns / max(sampEns)) * maxY;

%% Plot entropy
hold
plot((0:columns(apEns)-1), apEns, "linewidth", 4, 'Color', [1, 0, 0])
plot((0:columns(sampEns)-1), sampEns, "linewidth", 4, 'Color', [0, 0, 1])
set(gca, "linewidth", 4, "fontsize", 20)
endfor

%% Titles
figure(1);
title ("Fraction: 2.5-1.0 mm", "fontsize", 20);
figure(2);
title ("Fraction: 1.0-0.4 mm", "fontsize", 20);
figure(3);
title ("Fraction: 0.4-0.1 mm", "fontsize", 20);
figure(4);
title ("Fraction: 0.1-0.0 mm", "fontsize", 20);

```

```

%% Plot entropy
figure(5);
tolerance = 0.2*std([data1(:, useColumn); data2(:, useColumn); data3(:,
useColumn); data4(:, useColumn)])

tolerance1 = 0.2*std(data1(:, useColumn));
tolerance2 = 0.2*std(data1(:, useColumn));
tolerance3 = 0.2*std(data1(:, useColumn));
tolerance4 = 0.2*std(data1(:, useColumn));

apEns =      ApEn(dim, tolerance1, data1(:, useColumn));
apEns = [apEns, ApEn(dim, tolerance2, data2(:, useColumn))];
apEns = [apEns, ApEn(dim, tolerance3, data3(:, useColumn))];
apEns = [apEns, ApEn(dim, tolerance4, data4(:, useColumn))];
sampEns =      SampEn(dim, tolerance1, data1(:, useColumn));
sampEns = [sampEns, SampEn(dim, tolerance2, data2(:, useColumn))];
sampEns = [sampEns, SampEn(dim, tolerance3, data3(:, useColumn))];
sampEns = [sampEns, SampEn(dim, tolerance4, data4(:, useColumn))];

hold
plot(apEns, "linewidth", 4, 'Color', [1, 0, 0])
plot(sampEns, "linewidth", 4, 'Color', [0, 0, 1])
set(gca, "linewidth", 4, "fontsize", 20);
x=['2.5-1.0 mm'; ' '; '1.0-0.4 mm'; ' '; '0.4-0.1 mm'; ' '; '0.1-0.0 mm'];
set(gca,'xticklabel',x)

```

Код, використаний для побудови графіків функцій

```
function apen = ApEn( dim, r, data, tau )
```

```
%ApEn
```

```
% dim : embedded dimension
```

```
% r : tolerance (typically 0.2 * std)
```

```
% data : time-series data
```

```
% tau : delay time for downsampling
```

```
% Changes in version 1
```

```
% Ver 0 had a minor error in the final step of calculating ApEn
```

```
% because it took logarithm after summation of phi's.
```

```
% In Ver 1, I restored the definition according to original paper's
```

```
% definition, to be consistent with most of the work in the
```

```
% literature. Note that this definition won't work for Sample
```

```
% Entropy which doesn't count self-matching case, because the count
```

```
% can be zero and logarithm can fail.
```

```
%
```

```
% A new parameter tau is added in the input argument list, so the users
```

```
% can apply ApEn on downsampled data by skipping by tau.
```

```
%-----
```

```
% coded by Kijoon Lee, kjlee@ntu.edu.sg
```

```
% Ver 0 : Aug 4th, 2011
```

```
% Ver 1 : Mar 21st, 2012
```

```
%-----
```

```
if nargin < 4, tau = 1; end
```

```
if tau > 1, data = downsample(data, tau); end
```

```
N = length(data);
```

```
result = zeros(1,2);
```

```

for j = 1:2
    m = dim+j-1;
    phi = zeros(1,N-m+1);
    dataMat = zeros(m,N-m+1);

    % setting up data matrix
    for i = 1:m
        dataMat(i,:) = data(i:N-m+i);
    end

    % counting similar patterns using distance calculation
    for i = 1:N-m+1
        tempMat = abs(dataMat - repmat(dataMat(:,i),1,N-m+1));
        boolMat = any( (tempMat > r),1);
        phi(i) = sum(~boolMat)/(N-m+1);
    end

    % summing over the counts
    result(j) = sum(log(phi))/(N-m+1);
end

apen = result(1)-result(2);

endfunction
function saen = SampEn( dim, r, data, tau )
% SAMPEN Sample Entropy
% calculates the sample entropy of a given time series data

% SampEn is conceptually similar to approximate entropy (ApEn), but has
% following differences:

```

```

% 1) SampEn does not count self-matching. The possible trouble of
% having log(0) is avoided by taking logarithm at the latest step.
% 2) SampEn does not depend on the datasize as much as ApEn does. The
% comparison is shown in the graph that is uploaded.

% dim : embedded dimension
% r : tolerance (typically 0.2 * std)
% data : time-series data
% tau : delay time for downsampling (user can omit this, in which case
% the default value is 1)
%
%-----
% coded by Kijoon Lee, kjlee@ntu.edu.sg
% Mar 21, 2012
%-----

if nargin < 4, tau = 1; end
if tau > 1, data = downsample(data, tau); end

N = length(data);
correl = zeros(1,2);
dataMat = zeros(dim+1,N-dim);
for i = 1:dim+1
    dataMat(i,:) = data(i:N-dim+i-1);
end

for m = dim:dim+1
    count = zeros(1,N-dim);
    tempMat = dataMat(1:m,:);

```

```

for i = 1:N-m
    % calculate Chebyshev distance, excluding self-matching case
    dist = max(abs(tempMat(:,i+1:N-dim) - repmat(tempMat(:,i),1,N-dim-
i)));

    % calculate Heaviside function of the distance
    % User can change it to any other function
    % for modified sample entropy (mSampEn) calculation
    D = (dist < r);

    count(i) = sum(D)/(N-dim);
end

correl(m-dim+1) = sum(count)/(N-dim);
end

saen = log(correl(1)/correl(2));
end

```

ДОДАТОК Б

Відгук керівника

на дипломний проект магістра на тему:

«Обґрунтування методики контролю стану струменевого млина з використанням ентропійних характеристик акустичного сигналу»

студентки групи 122м-16-1 Гринь Юлії Володимирівни

1. Мета дипломного проекту – дослідження методу оцінки стану струминного млина на основі використання ентропійних характеристик акустичного сигналу.

2. Обрана тема актуальна у зв'язку з тим, що струменеві млини мають значно велику галузь застосування.

3. Тема дипломного проекту безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності магістра напряму 122 «Комп'ютерні науки»..

4. Завдання дипломного проекту, що стосуються дослідження методів, віднесені до освітньо-кваліфікаційної характеристики магістра до класу стереотипних, рішення яких заснована на знаково-понятійних уміннях.

5. Практичне значення результатів роботи полягає в проведенні численних аналізів ентропійних характеристик для часових рядів, отриманих різними методами.

6. Оформлення матеріалів дипломного проекту виконано на сучасному рівні і відповідає вимогам, що пред'являються до робіт даної кваліфікації.

7. Ступінь самостійності виконання дипломного проекту досить висока.

8. Даний дипломний проект заслуговує оцінки «відмінно», а студентка Гринь Ю. В. – присвоєння кваліфікації «інженер з комп'ютерних систем».

Керівник дипломного
проекту магістра,
проф. кафедри ПЗКС

Алексєєв М.О

ДОДАТОК В

Рецензія

на дипломний проект магістра на тему:

«Обґрунтування методики контролю стану струменевго млина з використанням ентропійних характеристик акустичного сигналу»

студентки групи 122м-16-1 Гринь Юлії Володимирівни

Останнім часом все більша увага приділяється струменевим млинам, які характеризуються високою чистотою продуктів, великими ступенями сухого подрібнення, малою металоємністю, великою питомою продуктивністю і порівняно низькими питомими витратами. Вони використовуються для тонкого подрібнення зернистих матеріалів і мають широку сферу застосування.

До теперішнього часу розроблені елементи теорії і методика розрахунку різних типів струменевих млинів. Дослідження в цій області продовжуються і зараз. Їх метою є підвищення ефективності тонкого подрібнення і зниження вартості подрібнювачів, зменшення питомих енерговитрат, зносу і металоємності млинів, збільшення їх довговічності і зручності в експлуатації.

В рецензованій роботі виконано дослідження акустичного сигналу струменевого млини за допомогою ентропійних характеристик

Тема дипломного проекту безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності магістра напряму 122 «Комп'ютерні науки».

Студентка Гринь Ю. В. досить добре розібралася в специфіці аналізу часових рядів за допомогою ентропійних характеристик.

З огляду на вищевикладене, можна зробити висновок, що даний проект цілком відповідає вимогам, що пред'являються до кваліфікаційних робіт рівня магістра.

Ступінь опрацювання компонентів даного проекту, дозволяє оцінити роботу на «відмінно» і рекомендувати присвоїти студентці Гринь Ю. В. кваліфікацію «інженер з комп'ютерних систем».

Рецензент,

