

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Економічний факультет
Кафедра економічної кібернетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

**«Прогнозування та аналіз впливу майнінгу криптовалюти на
напівпровідникову промисловість»**

студента 2 курсу магістратури
спеціальності 051 «Економіка»
ОНП «Економічна кібернетика»
денної форми навчання
Надводнюка Олексія Валерійовича

Науковий керівник:

доктор економічних наук, професор
Ляшенко Олена Ігорівна

Засвідчую, що в цій роботі немає запозичень
із праць інших авторів без відповідних
посилань

Студент _____
(підпис)

Роботу допущено до захисту перед ЕК
рішенням кафедри економічної кібернетики
від 11 травня 2023 р., протокол № 15

Завідувач кафедри:

доктор економічних наук, професор
Ляшенко Олена Ігорівна

(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить: 72 ст., 24 рис., 4 табл., 49 джерел, 2 додатки

Ключові слова: напівпровідникова промисловість, напівпровідникова криза, майнінг, криптовалюта, регресійний аналіз.

Об'єктом дослідження даної роботи є напівпровідникова промисловість та фактори впливу на неї.

Предмет дослідження: методи та моделі для прогнозу та аналізу впливу майнінгу на напівпровідникову промисловість.

Мета роботи: аналіз кризи напівпровідникової промисловості, факторів, що вплинули на дану галузь, виявлення впливу так званого «буму майнінгу» на ціни напівпровідників та побудова моделі прогнозу цін на напівпровідники.

Методи дослідження: узагальнення, класифікація, статистичні методи, порівняльний аналіз, синтез, регресійне моделювання для прогнозу та аналізу.

RESUME

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Faculty of Economics, Department of Economic Cybernetics

Key words: semiconductor industry, semiconductor crisis, mining, cryptocurrency, regression analysis.

The graduation research of student Oleksii Nadvodniuk "Prediction and analysis of the impact of cryptocurrency mining on semiconductor industry" is analysis of the crisis of the semiconductor industry, the factors that affected this industry, the identification of the impact of the so-called "mining boom" on semiconductor prices, and the construction of a semiconductor price forecast model.

Pages 72, tables 4, bibliog. 49, append. 2.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ТА ФОРМУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	6
1.1 Створення та розвиток напівпровідникової промисловості	6
1.2 Сектори напівпровідникової промисловості	16
1.3 Транснаціональні логістичні зв'язки напівпровідникової промисловості	20
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КРИЗИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ТА ФАКТОРІВ ВПЛИВУ.....	24
2.1 Вплив напівпровідникової промисловості на різні електронні пристрої..	24
2.2 Виявлення факторів які впливають на формування кризи напівпровідникової промисловості	27
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	37
3.1 Вплив майнінгу криптовалют на ціни акцій напівпровідникових компаній за допомогою регресійної моделі	37
3.2 Аналіз впливу майнінгу на електронні пристрої за допомогою регресійної моделі.....	48
3.3 Прогнозування цін на електронні пристрої за допомогою регресійних моделей	53
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	69

ВСТУП

За останні роки напівпровідникова промисловість пережила колосальне зростання та інновації, зумовлені зростаючим попитом на сучасну електроніку, оцифрування та енергоефективність. Напівпровідники, як найважливіший компонент сучасних технологій, відіграють важливу роль у розробці інтегральних схем, рішень для пам'яті та зберігання даних, а також спеціалізованих застосувань. Однак галузь стикається з різними викликами та зовнішніми впливами, одним з яких є вплив майнінгу криптовалют.

Майнінг криптовалют, процес перевірки транзакцій і створення нових цифрових монет, значною мірою залежить від спеціалізованого обладнання та обчислювальних потужностей, які, в свою чергу, залежать від напівпровідників. Зростаюча популярність криптовалют і подальше зростання майнінгу викликали занепокоєння щодо їхнього впливу на ринок напівпровідників.

Актуальність. Розвиток напівпровідникової промисловості займає одну з основних позицій через життєво важливу роль, яку відіграють напівпровідники в сучасному житті. Напівпровідники використовуються майже в кожному секторі економіки та є основою сучасної електроніки, сприяючи наступному етапу цифрової трансформації в рамках Індустріалізацій 4.0. Без напівпровідників нинішнє положення світу з точки зору ІКТ (інформаційно-комунікаційних технологій) було б неможливим. Крім того, ці чіпи використовуються в критично важливих інфраструктурах, таких як зв'язок, передача електроенергії тощо, які мають наслідки для національної безпеки. Крім того, розвиток екосистеми напівпровідників і дисплеїв має мультиплікаційний ефект у різних секторах економіки, що робить тему актуальною. Після кризи напівпровідникової промисловості ціна на більшість електронних пристроїв виросла. Це свідчить про те, що дана галузь важлива не тільки на транснаціональному рівні, але й для звичайних споживачів.

Мета даної роботи полягає в аналізі кризи напівпровідникової промисловості, факторів, що вплинули на дану галузь, виявленні впливу так званого «буму майнінгу» на ціни напівпровідників та побудові моделі прогнозу цін на напівпровідники.

Завдання задля досягнення мети роботи:

- з'ясувати значення та розвиток ринку напівпровідникової промисловості;
- розглянути обмеження логістичних зв'язків напівпровідникової промисловості;
- визначити особливості для кожної галузі, яка використовує напівпровідники;
- провести аналіз кризи напівпровідникової промисловості та вплив майнінгу на неї;
- виявити фактори, які впливають на ціноутворення напівпровідникової промисловості;
- спрогнозувати ціни на напівпровідникову продукцію.

Об'єктом даної роботи є напівпровідникова промисловість та фактори впливу на неї.

Предметом даної роботи є методи та моделі для прогнозу та аналізу впливу майнінгу на напівпровідникову промисловість.

Інформаційною базою дослідження є науково-дослідницькі роботи вітчизняних та зарубіжних авторів; періодичні видання у фахових економічних виданнях; наукова література економічного характеру; інформація, яка розміщена в мережі Інтернет, зокрема дані про ціни та капіталізацію напівпровідникової промисловості.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ТА ФОРМУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

1.1 Створення та розвиток напівпровідникової промисловості

Напівпровідникова промисловість — це глобальна галузь з оборотом 204 мільярди доларів, яка організована за різними продуктовими та географічними сегментами. Незважаючи на відмінності в сегментах продукції, основна послідовність операцій, необхідних для виготовлення напівпровідникових компонентів, дуже схожа в усіх сегментах. Окремі напівпровідникові мікросхеми розроблені з використанням передового програмного забезпечення та комп'ютерних робочих станцій. Хімічні речовини, гази та матеріали поєднуються в серії операцій, які використовують складне виробниче обладнання для виробництва пластин, що містять велику кількість матриць, кожна з яких є основою для напівпровідникового чіпа.

У 1939 році фізики Вальтер Шоттки (Walter Schottky) і Еберхард Спенке (Eberhard Spenke), що працювали в компанії Siemens Halske, опублікували наукову роботу «Zur quantitative Durchfuhrung der Raumladungsund Ranschicht theorie der Kristall, у якій описувався принцип дії напівпровідникових діодів з переходом метал-напівпровідник. Їх робота ґрунтувалася на глибоких фундаментальних дослідженнях, як теоретичних, так і експериментальних. Внесок Шоттки в розвиток напівпровідникової техніки шанується і до цього дня, напівпровідникові діоди зі структурою метал-напівпровідник називаються діодами Шоттки [3].

З часом напівпровідникова промисловість зазнала значних структурних змін. На початку розвитку індустрії комп'ютерів і напівпровідників такі великі інтегровані виробники, як AT&T і ІВМ, розробляли власні твердотільні компоненти, виготовляли більшість капітального обладнання, що використовується у виробничому процесі, і використовували компоненти внутрішнього виробництва у виробництві електронних комп'ютерів і

комп'ютерного програмного забезпечення, яке було здано в оренду або продано своїм клієнтам.

Однак наприкінці 1950-х років комерційні виробники напівпровідників увійшли в напівпровідникову промисловість у Сполучених Штатах і швидко завоювали частку ринку, спричинивши занепад фірм, які виробляли як електронні системи, так і напівпровідникові компоненти. Хоча комерційні виробники є більш значними в напівпровідниковій промисловості США, ніж у Європі чи Японії, на початку 1960-х років також з'явилися спеціалізовані виробники обладнання для виробництва напівпровідників [3].

У 1980-х і 1990-х роках у напівпровідниковій промисловості з'явилися сотні «несправних» напівпровідникових фірм, які розробляють і продають напівпровідникові компоненти. Вони покладаються на контрактних виробників, які називаються "ливарними", для виробництва своїх конструкцій, використовуючи бізнес-модель *fabless* (безфабричних) та ливарних. Напівпровідникові фірми *fabless* обслуговують різні галузі, що швидко розвиваються, особливо персональні комп'ютери та комунікації. Вони прагнуть домінувати на своїх ринках, пропонуючи більш інноваційні конструкції та коротші терміни доставки, ніж фірми, що продають напівпровідники. Ливарні заводи, навпаки, є спеціалізованими фірмами з виробництва напівпровідників, але також можуть представляти більш традиційних інтегрованих виробників пристроїв (IDM) із надлишковими заводськими потужностями.

Іншою значною зміною в напівпровідниковій промисловості стала поява спеціалізованих постачальників модулів проектування, постачальників автоматизації електронного проектування (EDA) і системних компаній, які конкурують у наданні блоків проектування інтелектуальної власності (IP) і систем на чіпі (SOC). Ця мережева бізнес-модель проектування та виробництва конкурує з великими інтегрованими фірмами, які зберегли свої можливості проектування та виробництва.

У галузях виробництва напівпровідників і напівпровідникових матеріалів і обладнання відбулася консолідація через скорочення життєвих циклів продуктів, особливо на ринках комп'ютерів і комунікацій. Фірми, що не випускають *fabless*, і виробники інтегрованих пристроїв розуміють, що часто економніше придбати нові технології, ніж розробляти їх всередині. Співробітництво з проектуючими фірмами або їх придбання, або купівля IDM чи іншою більшою фірмою, що займається виробництвом фабричних виробів, може сприяти представленню продукту або виходу на ринок.

Поглинання та злиття допомагають фірмі-покупцеві виходити на ринки продукції, що швидко розвиваються. Наприклад, придбання Intel Level One Communications і Chips & Technologies дозволило їй вийти на швидкозростаючий ринок комунікацій і отримати додатковий кремнієвий вміст навколо ЦП відповідно [9].

За останні 30 років напівпровідникова промисловість зазнала значного технологічного прогресу із зростанням витрат на виробництво та зниженням цін на продукцію. У цей період також спостерігалось зростання вертикальної спеціалізації, зокрема у проектуванні та виробництві напівпровідників. Ця тенденція проілюстрована зростанням «*fabless*» проектувальних і маркетингових фірм, а також їхніх виробничих аналогів, «ливарних заводів», які укладають контракти на виробництво нових конструкцій продукції [11].

За останні п'ять років зростання вертикальної спеціалізації також призвело до розширення ролі постачальників обладнання в розробці нових «модулів» виробничого процесу, які об'єднують і доповнюють інструменти для виробництва напівпровідників, які вони виробляють. Розділення проектування та виробництва напівпровідникових компонентів призвело до подальшої спеціалізації серед проектуючих фірм, які створюють, ліцензують і продають «конструкторські модулі» для використання в інтегральних схемах.

Незважаючи на те, що ці тенденції почалися ще до розробки пов'язаних з Інтернетом додатків електронного бізнесу, Інтернет, здається, прискорює

вертикальну спеціалізацію та може дати новий поштовх для розробки модульної торгівлі між фірмами. Однак Інтернет-додатки повинні дозволити інтегрованим виробникам напівпровідників підвищити свою конкурентоспроможність і ефективність.

Широке впровадження додатків для електронного бізнесу в напівпровідниковій промисловості, ймовірно, прискорить довгострокову тенденцію збільшення спеціалізації в усьому галузевому ланцюжку створення вартості. Здається, що Інтернет є каталізатором, а не основною причиною таких структурних змін. Зрештою, нові Інтернет-додатки, ймовірно, посилять багато основних тенденцій, які сформували еволюцію напівпровідникової промисловості протягом останніх трьох десятиліть. Ці тенденції вплинуть на розміщення робочих місць, проектування та виробництва, а також розвиток технологій у конструкції напівпровідників, виробництві напівпровідників, устаткування та промисловості матеріалів [16].

Виробництво напівпровідників є більш розпороченим, ніж проектування напівпровідників, яке зосереджено в окремих регіонах Сполучених Штатів, Європи та Японії. Хоча напівпровідникові мікросхеми продаються безпосередньо кінцевим користувачам, вони частіше використовуються як проміжні вхідні елементи в електронних системах. У галузях, які постачають виробничі ресурси та купують готову напівпровідникову продукцію, домінують великі багатонаціональні організації. Напівпровідники зазвичай класифікуються за технологічною складністю та типом продукту.

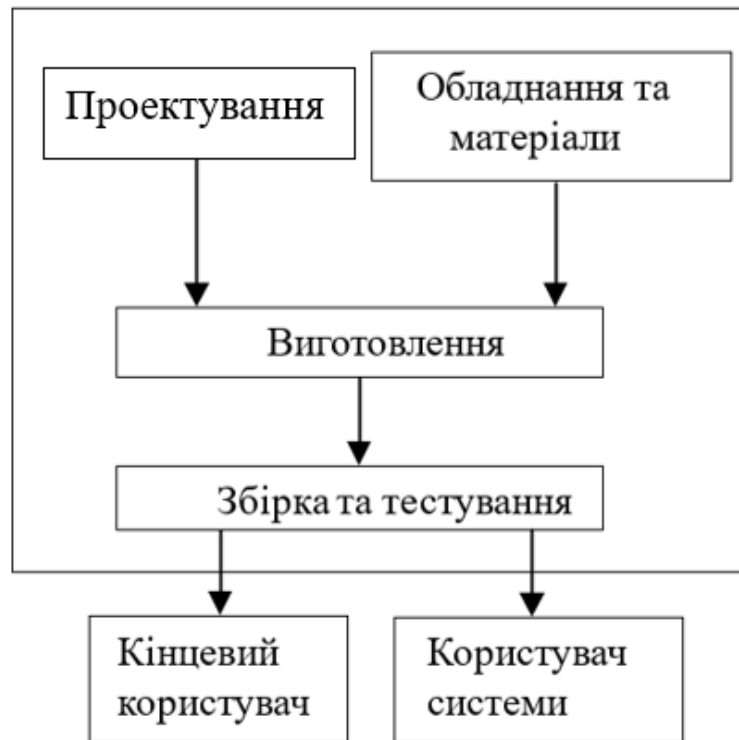


Рис.1.1 Ланцюжок створення вартості напівпровідникової промисловості

Джерело : [16]

Вертикальна спеціалізація в напівпровідниковій промисловості зростає за останні півтора десятиліття через низку ринкових і технологічних факторів. Одним із таких факторів є розширення ринків для напівпровідникових пристроїв, що дозволило вертикально спеціалізованим фірмам, що займаються розробкою і виробництвом напівпровідників, отримати вигоду від ефекту масштабу та спеціалізації. У міру того, як витрати на виробництво зменшуються, стає життєздатним ширший діапазон застосувань напівпровідників для кінцевих користувачів, створюючи нові можливості для виходу на ринок спеціалізованих фірм. Крім того, високі вимоги до капіталу для виробництва напівпровідників призвели до необхідності виробництва великих обсягів обмеженого асортименту напівпровідникових компонентів для досягнення економії на масштабі, пов'язаної з високою пропускнуною здатністю. Щоб пом'якшити ці ризики, з'явилися ливарні підприємства, які виробляють більш широкий асортимент продукції, що знижує фінансові ризики як для компаній, так і для їхніх клієнтів.

Стандартизація технології виробництва напівпровідників навколо процесів комплементарного металооксидного напівпровідника (CMOS) також сприяла розподілу праці між розробниками продуктів та інженерами-технологами. Стандарт CMOS дозволив розробникам продуктів працювати в рамках відносно стабільних правил проектування, тоді як інженери-технологи можуть поступово вдосконалювати нові технології процесу. Крім того, поява стандартизованих інтерфейсів між компонентами в персональних комп'ютерах, які домінували на ринку напівпровідникових компонентів з 1980-х років, сприяла спеціалізованому виробництву окремих компонентів і вертикальній спеціалізації в проектуванні та виробництві компонентів [12].

Технологічні інновації ще більше підтримали вертикальну дезінтеграцію в галузі. Удосконалення програмного забезпечення та інструментів автоматизованого проектування (САПР), а також широкосмугові цифрові комунікаційні мережі сприяли обміну величезними обсягами стандартизованих проектних даних між фахівцями з проектування, а також між проектуючими фірмами, що працюють без фабричного обладнання, і ливарними заводами. Частково програмовані напівпровідникові пристрої також дозволили розробникам розширити функціональні можливості пристроїв без шкоди для гнучкості застосування, необхідної для справжнього «системного» продукту.

Незважаючи на тенденцію до вертикальної спеціалізації, деякі компанії-виробники напівпровідників все ще інтегрують розробку та виробництво пристроїв, особливо в лінійках продуктів на передньому краї технологій, таких як DRAM. Суворі вимоги до тісної координації проектування та інноваційних процесів означають, що внутрішньофірмове управління цією діяльністю може дати переваги в гнучкості, оперативності та «налагодженні» нових методів виробництва.

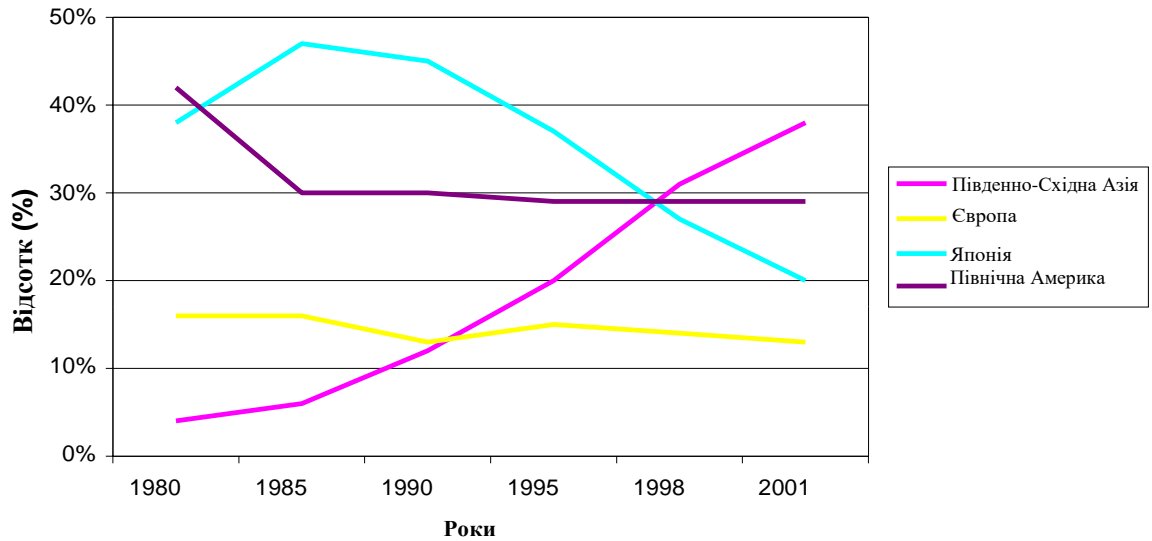


Рис.1.2 Виробничі потужності за регіонами розташування

Джерело : [16]

Напівпровідникова промисловість бачила регіональну спеціалізацію на різних типах продуктів і процесів. Діяльність з пакування та тестування зосереджена в Південно-Східній Азії з 1980-х років, приблизно 85% потужностей розташовано в цьому регіоні. Це призвело до значної внутрішньо- та міжфірмової торгівлі в галузі. Проте інвестиційні потоки, пов'язані з упаковкою та тестуванням, були набагато нижчими, ніж ті, що пов'язані з глобальним розподілом виробничих потужностей, оскільки вимоги до капітальних інвестицій для упаковки та тестування становлять приблизно одну десяту від вимог до виробництва пластин.

У період 1980-2000 рр. потужності виробництва пластин зростали в середньому на 36% на рік, тоді як зрілі потужності були виведені з експлуатації через швидкі технологічні зміни. У результаті суттєво змінився регіональний розподіл потужностей з виробництва напівпровідників. Частки виробничих потужностей Північної Америки та Японії зменшилися, тоді як частка, що припадає на «Азіатсько-Тихоокеанський регіон» (переважно Тайвань, Південна Корея та Сінгапур), зросла. Фірми Південно-Східної Азії володіють найбільшою часткою власності на виробничі потужності, за якими з невеликим відривом слідують компанії Північної Америки [16]. У той час як

північноамериканські, японські та європейські фірми з середини 1990-х років розширили свої потужності за межами своїх «домашніх» регіонів, фірми Південно-Східної Азії, як правило, інвестували переважно у своїх рідних регіонах протягом того самого періоду. Отже, у регіоні Південно-Східної Азії відбулася концентрація власності та розташування виробничих потужностей.

Концентрацію виробництва напівпровідників у Південно-Східній Азії, зокрема на Тайвані, можна частково пояснити успіхом бізнес-моделі ливарного виробництва. Ливарні виробництва Pure-play становлять близько 75% світового ливарного ринку, а виробники інтегрованих пристроїв (IDM) складають решту 25%. Обсяг продажів ливарного виробництва постійно зростає і в 2000 році наблизився до 10 мільярдів доларів [16].

Незважаючи на те, що виробництво напівпровідників стало глобальним підприємством, проектування напівпровідників все ще значною мірою зосереджено в Сполучених Штатах. Це пов'язано з регіональними високотехнологічними кластерами, такими як Силіконова долина. Ці кластери приваблюють велику кількість конструкторів і розробників продуктів через концентрацію робочих місць у створених і тих, що розвиваються проектуючих фірмах. Ці центри часто розташовані поблизу університетів та інших дослідницьких центрів, які створюють нові методи проектування, а також нові інженерні таланти. Університети США протягом тривалого часу були в авангарді розробки нових архітектур і програмного забезпечення для напівпровідникових компонентів, перевершуючи свою роль джерела нових методів виробництва.

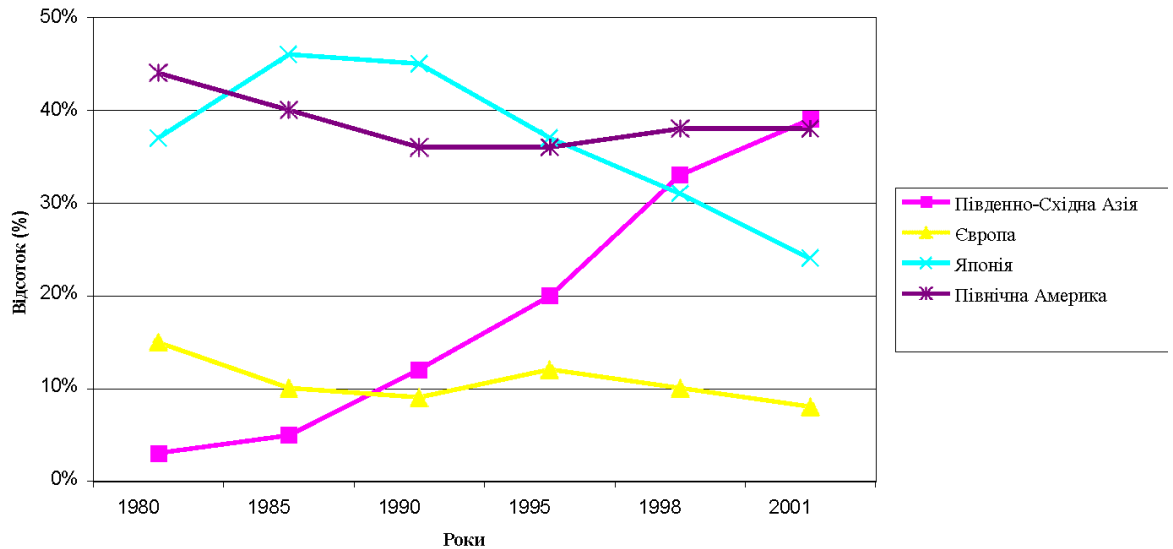


Рис. 1.3: Виробничі потужності за регіонами власності

Джерело : [16]

Зростання вертикально спеціалізованого виробництва напівпровідників без фабричних та ливарних заводів може мати значні наслідки для географічного розташування та складу зайнятих у галузі. Проектні фірми fabless, ймовірно, залишаться зосередженими в Північній Америці, тоді як найдосконаліші ливарні підприємства переважно розташовані в Сінгапурі та Тайвані. Якщо Тайвань залишиться провідним місцем для ливарних цехів чистого виробництва, продовження розширення моделі фабричних та ливарних може призвести до деякої міграції робочих місць у виробництві напівпровідників із Сполучених Штатів на Тайвань, тоді як спеціалісти з конструкцій США залишаться повністю зайнятими. Однак кілька тайванських фірм відкрили ливарні заводи в Сполучених Штатах, і домінуюче становище Тайваню в ливарній промисловості стикається з конкуренцією з боку дешевих виробничих майданчиків в інших регіонах Південно-Східної Азії та інших місцях [16].

Малайзія та Китайська Народна Республіка розглядаються як важливі майбутні місця для ливарних виробництв. Довгостроковий вплив розширення моделі fabless та ливарних на географічне розташування виробничих потужностей і зайнятість невизначений, але ймовірно, що зростання ливарних

цехів призведе до переміщення більшої потужності та робочих місць із Сполучених Штатів, Японії, і Європи до Тайваню, Сінгапуру та материкового Китаю. Вплив змін у регіональному розподілі виробничої діяльності на глобальний розподіл проектування та розвитку технологій напівпровідників ще більш невизначений. Сильна агломераційна економіка, яка сприяла регіональній концентрації цієї діяльності в кількох регіонах по всьому світу, залишається сильною, але ці ефекти агломерації можуть слабшати, оскільки все більше й більше діяльності з виробництва напівпровідників є географічно віддаленим.

1.2 Сектори напівпровідникової промисловості

Напівпровідникова промисловість поділяється на різні сектори.

Матеріали та хімікати: Цей сектор зосереджений на розробці та виробництві основних матеріалів і хімікатів, необхідних для виробництва напівпровідникових пристроїв. Ключові сфери включають кремнієві та складні напівпровідникові матеріали, виготовлення пластин, легуючі речовини, діелектричні та провідні матеріали, фоторезистивні хімічні речовини та інші технологічні хімічні речовини [18].

Виробництво кремнію у 2020 році становило близько 2,1 мільйона метричних тон із середньорічним темпом зростання 4,5% [13].

Обсяг світового ринку напівпровідникових матеріалів у 2020 році оцінювався в 56,3 мільярда доларів США, і очікується, що з 2021 по 2028 рік він зростатиме на 4,1% [42].

Сектор матеріалів і хімікатів переживає зростання через зростання попиту на напівпровідники в різних галузях промисловості, включаючи споживчу електроніку, автомобілебудування та Інтернет речей.

Застосування нових матеріалів, таких як нітрид галію (GaN) і карбід кремнію (SiC), стимулювало інновації у застосуваннях високої потужності та високої частоти.

Виробниче обладнання: Цей сектор включає проектування, розробку та виробництво спеціалізованого обладнання, що використовується для виготовлення та упаковки напівпровідникових пристроїв. Ключові сфери включають фотолітографічне обладнання, системи травлення, системи осадження, системи іонної імплантації, метрологічне та контрольне обладнання, а також обладнання для збирання та пакування.

У 2020 році світовий ринок обладнання для виробництва напівпровідників оцінювався в 63,4 мільярда доларів США, і очікується, що з 2021 по 2026 рік він зростатиме на 9,8% [30].

Сектор виробничого обладнання зростає через зростаючу складність напівпровідникових пристроїв, що вимагає більш досконалого та точного обладнання.

Основні тенденції включають перехід на менші технологічні вузли, такі як 5 нм і 3 нм, і впровадження екстремальної ультрафіолетової (EUV) літографії для вдосконаленого виробництва мікросхем.

Розробка та виробництво інтегральних схем (IC): Цей сектор займається проектуванням і виготовленням інтегральних схем або мікросхем. Він включає різні етапи, такі як проектування схеми, компонування, перевірка та тестування. Розробку IC можна далі розділити на аналогові, цифрові, змішані сигнали та радіочастотні (RF) конструкції. Виробничий процес включає виготовлення пластин, підготовку матриці та пакування.

У 2020 році світовий ринок інтегральних схем оцінювався в 353,2 мільярда доларів США, і очікується, що з 2021 по 2026 рік він зростатиме на 7,4% [42].

Сектор проектування та виробництва IC керується зростаючим попитом на потужніші та енергоефективні чіпи в побутовій електроніці, автомобілях і центрах обробки даних.

Основні тенденції включають розвиток передових технологій упаковки, таких як 3D стекування чіпів і архітектур на основі чіплетів, а також зростаюче значення спеціалізованих чіпів для додатків штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML).

Пам'ять і рішення для зберігання: Цей сектор зосереджений на розробці та виробництві напівпровідникової пам'яті та пристроїв зберігання даних, таких як динамічна оперативна пам'ять (DRAM), статична оперативна пам'ять (SRAM), флеш-пам'ять і твердотільні накопичувачі (SSD). Ці пристрої є ключовими компонентами сучасної електроніки, забезпечуючи зберігання даних і доступ для різних програм.

У 2020 році світовий ринок напівпровідникової пам'яті оцінювався в 111,6 мільярдів доларів США, і очікується, що з 2021 по 2026 рік він зростатиме на 6,1% [42].

Сектор пам'яті та зберігання даних розвивається завдяки зростаючому попиту на більш ємні та швидкі рішення для зберігання даних у побутовій електроніці, центрах обробки даних та пристроях Інтернету речей.

Основні тенденції включають перехід до передових технологій пам'яті, таких як флеш-пам'ять 3D NAND і DDR5 DRAM, а також зростаюче впровадження енергонезалежної експрес-пам'яті (NVMe) для високопродуктивних рішень для зберігання.

Напівпровідникові програми: Цей сектор охоплює різноманітний спектр програм і галузей, які використовують напівпровідникові пристрої. Ключові галузі включають побутову електроніку, автомобільну, аерокосмічну та оборонну промисловість, телекомунікації, промислову автоматизацію, медицину та енергетику.

У 2020 році світовий ринок напівпровідників оцінювався в 441,2 мільярда доларів США, і очікується, що з 2021 по 2026 рік він зростатиме на 6,5% [13].

Сектор напівпровідникових додатків обумовлений зростаючим попитом на передову електроніку та оцифрування в різних галузях.

Основні тенденції включають зростання Інтернету речей і периферійних обчислень, які вимагають спеціальних напівпровідникових пристроїв для вимірювання, підключення та обробки; зростаюча важливість автомобільної електроніки, особливо для електромобілів (EV) і вдосконалених систем допомоги водієві (ADAS); а також попит на енергоефективні та високопродуктивні чіпи в центрах обробки даних і додатках ШІ.

Таким чином, напівпровідникова промисловість переживає значне зростання та інновації різних його секторів. Зростаючий попит на вдосконалену електроніку, оцифровку та енергоефективність стимулює розробку нових матеріалів, виробничого обладнання, інтегральних схем,

рішень для пам'яті та зберігання даних, а також спеціалізованих програм. Основні тенденції включають перехід до менших вузлів процесів, передові технології упаковки, високопродуктивні рішення пам'яті та зростаючу важливість спеціалізованих чіпів для додатків AI та IoT.

1.3 Транснаціональні логістичні зв'язки напівпровідникової промисловості

Напівпровідники є четвертим у світі продуктом, що найбільше продається після сирої нафти, нафтопродуктів і автомобілів.

Розмір ринку, необхідність використання високих технологій і рішень у виробничому процесі великої кількості складних, але вузькоспеціалізованих завдань є чинниками, які визначають створення глобального ланцюга створення вартості напівпровідників (ГЛС). Компанії з різних регіонів і країн світу, включені в цей ланцюжок, перебуваючи в жорсткій взаємозалежності, виконують різні ролі і функції відповідно до своєї спеціалізації, використовуючи свої порівняльні переваги. Глобальний ланцюг створення вартості напівпровідників фактично є глобальною екосистемою. Наприклад, для виробництва одного комп'ютерного чіпа необхідно здійснити більше 1000 процедур і більше 70 переміщень через міжнародні кордони, перш ніж він потрапить до кінцевого споживача. Після проходження цих ланок напівпровідникова продукція переходить до стадії кінцевого використання, яка включає розповсюдження мікросхем для інтеграції в продукти.

Особливістю світового ринку напівпровідників є його висока концентрація, що можна побачити на таблиці 1. Південнокорейська компанія Samsung за рахунок більш ніж 30% приросту виручки в 2021 р. перемістилася на перше місце, витіснивши з цієї позиції американську компанію Intel. Три компанії продемонстрували більш ніж 60% річний приріст – американські Nvidia і AMD і тайванська Media Tek. Загалом обсяг виручки напівпровідникових компаній світу за рік збільшився на 19,1% – з \$465,4 млрд у 2020 р. до \$554,1 млрд. Що було зумовлено початком пандемії та попитом на електронні прилади [10].

Роки співпраці в поєднанні з конкурентоспроможними інноваціями призвели до формування сучасного, глобально розподіленого, високоефективного та інноваційного ланцюжка створення вартості

напівпровідників. Цей ланцюжок вартості характеризується високим ступенем спеціалізації та поділу праці, що призводить до консолідації ринків, а в деяких напрямках – до олігополій і монополій. Прагнення до економічної ефективності напівпровідникового бізнесу призвело до формування глобального ланцюжка вартості напівпровідників (ГЛС), в якому неможливо автономно здійснити повний цикл виробництва в межах однієї компанії чи навіть одного регіону. Зараз 99% ринку зосереджено в шести територіальних зонах. Таких як США, Південна Корея, Японія, Європа, Китай та Тайвань. І саме висока концентрація гравців зробила даний ринок потенційно нестабільним.

Таблиця 1.1

Топ найбільших напівпровідникових компаній світу за обсягом виручки,
2021р

Місце	Компанія	Бізнес- модель	Країна	Прибуток, \$ млрд	Річний приріст, %	Доля в світі, %
1	Samsung	IDM	Південна Корея	81,3	30,5	14,7
2	Intel	IDM	США	79,0	1,5	14,3
3	SK Hynix	IDM	Південна Корея	37,1	36,0	6,7
4	Micron	IDM	США	30,0	33,3	5,4
5	Qualcomm	Fabless	США	29,2	52,0	5,3
6	Nvidia	Fabless	США	26,0	61,9	4,7
7	Broadcom	Fabless	США	20,9	18,0	3,8
8	Texas Instruments	IDM	США	18,3	26,9	3,3
9	MediaTek	Fabless	Тайвань	17,7	60,5	3,2
10	AMD	Fabless	США	16,2	66,0	2,9
11	Apple	Fabless	США	15,1	23,0	2,7
12	Infineon	IDM	Німеччина	13,5	25,0	2,4
13	Kioxia (Toshiba Memory)	IDM	Японія	13,4	21,8	2,4
14	TMicro electronics	IDM	Швейцарія	12,8	24,9	2,3
15	NXP	IDM	Нідерланди	11,0	28,0	2,0
Інші				132,6	-1,3	23,9
Всього				554,1	19,1	100

Джерело [49]

Щоб пом'якшити ризики, пов'язані зі збоями в ланцюгах поставок, і краще використовувати глобальні ресурси, напівпровідникові компанії все частіше співпрацюють через кордони. Ця співпраця включає спільні підприємства, ліцензійні угоди на технології та дослідницькі партнерства.

Деякі приклади: TSMC та її партнерство з глобальними виробниками напівпровідників, такими як Apple, NVIDIA та Qualcomm, для ливарних послуг.

Співпраця ASML з такими компаніями, як Intel, Samsung і TSMC, для розробки та виробництва машин для літографії з екстремальним ультрафіолетом (EUV).

Співпраця GlobalFoundries з Bosch у виробництві автомобільних напівпровідників на її заводі в Дрездені, Німеччина.

Таблиця 1.2

Регіональна структура світового ринку напівпровідників за спеціалізацією на сегментах ланцюжка поставок, 2022 р.

Область	Частка світового ринку, у відсотках	Спеціалізація в сегментах ланцюгів поставок
США	47	Домінують у галузі досліджень та розробок, проектування та технологій виробничих процесів, беруть участь у різних сегментах ланцюжка поставок, але не мають власних передових заводів з виробництва напівпровідників (Foundry) та фотолітографічного обладнання (найдорожчого та складного обладнання напівпровідникової галузі)
Південна Корея	20	Усі етапи виробництва, а також виробництво значної частки матеріалів та деякого обладнання для виробництва напівпровідників
Японія	10	Спеціалізується на устаткуванні для виробництва напівпровідників та матеріалів, виробляє напівпровідникову продукцію в основному за технологіями, що не є передовими.

Продовження таблиці 1.2

Європа	10	Головним чином – це Нідерланди, Великобританія та Німеччина, що спеціалізуються на устаткуванні для виробництва напівпровідників (в т. ч. на фотолітографічному устаткуванні), матеріалах та ключовій інтелектуальній власності
Тайвань	7	Домінує в передовому виробництві напівпровідників (Foundry) і в сегменті «Складання, тестування, упаковка», також виробляє деякі матеріали
Китай	5	Спеціалізується на етапі «Складання, тестування, упаковка», на устаткуванні для збирання та пакування, а також на вихідній сировині

Джерело: [49]

Найбільш значущим фактором, який сприяв глобальній напівпровідниковій кризі, є сегменти ринку з високою концентрацією, які були сформовані сучасним глобальним ланцюгом вартості напівпровідників (ГЛС).

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ КРИЗИ НАПІВПРОВІДНИКІВ ТА ФАКТОРІВ ВПЛИВУ

2.1 Вплив напівпровідникової промисловості на різні електронні пристрої

Напівпровідникова промисловість є важливою складовою світової електронної промисловості, і її продукція використовується в широкому діапазоні електронних пристроїв. Слід зазначити продукти на які найбільш впливає напівпровідниковий сектор:

- **Смартфони.** Підвищення цін на напівпровідники безпосередньо впливає на вартість виробництва смартфонів, оскільки напівпровідники є важливими компонентами процесора, графічного процесора та мікросхем пам'яті телефону [23]. Коли ціни на напівпровідники зростають, виробники стикаються з вищими витратами на виробництво, що може призвести до підвищення роздрібних цін на смартфони або змусити виробників зменшити норму прибутку, щоб підтримувати конкурентоспроможні ціни. Крім того, виробники можуть використовувати напівпровідники нижчої якості, щоб скоротити витрати, що може негативно вплинути на загальну продуктивність і досвід користувача смартфонів. У довгостроковій перспективі це може призвести до зниження лояльності до бренду, посилення конкуренції та більшого акценту на оптимізації витрат у галузі.
- **Персональні комп'ютери та ноутбуки.** Виробництво персональних комп'ютерів і ноутбуків значною мірою залежить від напівпровідників, зокрема у вигляді процесорів, графічних процесорів і мікросхем пам'яті. Зростання цін на напівпровідники може призвести до зростання роздрібних цін на ці пристрої, оскільки виробники намагаються компенсувати збільшення витрат на виробництво. Крім того, виробники можуть використовувати компоненти нижчої якості, щоб зберегти ціну, що може призвести до зниження продуктивності або скорочення терміну служби продукту. Це також може напружити ланцюжок постачання, призводячи до

довшого часу очікування нових пристроїв і потенційного незадоволення споживачів.

- Планшети та ігрові консолі. Так само на планшети та ігрові консолі значно впливають зміни цін на напівпровідники. Вищі витрати на напівпровідники можуть призвести до підвищення роздрібних цін або зниження якості продукції через використання більш дешевих компонентів [30]. Це може негативно вплинути на продуктивність і взаємодію з користувачем планшетів і ігрових консолей, а також призвести до довшого часу очікування нових продуктів. У довгостроковій перспективі це може вплинути на сприйняття споживачами якості продукції та змусити виробників впроваджувати інновації або знаходити економічно ефективні рішення, щоб зберегти свої позиції на ринку.
- Автомобільна промисловість. Сучасні транспортні засоби значною мірою покладаються на напівпровідники для різних електронних систем, зокрема ADAS, інформаційно-розважальних систем та електричних компонентів [45]. Із зростанням цін на напівпровідники зростають витрати на виробництво транспортних засобів, що може бути перекладено на споживачів у формі вищих роздрібних цін. Намагаючись зберегти ціни, автовиробники можуть зменшити кількість електронних функцій у своїх автомобілях, що потенційно вплине на загальне враження від водіння та функції безпеки. Це також може призвести до посилення конкуренції серед автовиробників у пошуку інноваційних рішень для включення основних функцій за нижчою ціною та збереження частки ринку.
- Пристрої Інтернету речей (IoT). Пристрої IoT, такі як розумна побутова техніка, переносні пристрої та інфраструктура розумного міста, залежать від напівпровідників для обробки та підключення [23]. Коли ціни на напівпровідники зростають, вартість виробництва цих пристроїв зростає, що потенційно може призвести до підвищення роздрібних цін або зниження якості продукції. Виробники можуть використовувати напівпровідники

нижчої якості, що може вплинути на продуктивність, надійність і безпеку пристроїв IoT. У довгостроковій перспективі це може уповільнити впровадження технології IoT і змусити виробників шукати альтернативні рішення для задоволення потреб споживачів.

- Центри обробки даних і мережеве обладнання. Вартість напівпровідників також впливає на виробництво та ціни обладнання для центрів обробки даних і мережевого обладнання, включаючи сервери, комутатори та маршрутизатори [24]. Із зростанням цін на напівпровідники зростає вартість виробництва цього обладнання, що може призвести до підвищення цін для підприємств і споживачів або до зменшення інвестицій у нову інфраструктуру. Крім того, збільшення вартості напівпровідників може підштовхнути виробників до використання компонентів нижчої якості, що потенційно негативно вплине на продуктивність і надійність центрів обробки даних і мережевого обладнання. Це може призвести до збільшення часу простою, зниження ефективності та підвищення операційних витрат для підприємств, які покладаються на ці технології.

Підсумовуючи, зміни в цінах на напівпровідники мають значний вплив на вартість виробництва різноманітних електронних виробів, що може призвести до підвищення роздрібних цін, зниження якості продукції або довшого часу очікування нових продуктів. Вплив цих змін залежить від конкретного продукту та його залежності від напівпровідників. Виробники та галузі повинні адаптуватися та знаходити інноваційні рішення для підтримки якості, продуктивності та доступності продукції в умовах коливання вартості напівпровідників.

Для майбутнього аналізу впливу майнінгу потрібно використати найбільш значущі компанії, які створювали електроніку для даних товарів.

2.2 Виявлення факторів які впливають на формування кризи напівпровідникової промисловості

Глобальний дефіцит напівпровідників суттєво вплинув на доступність та вартість різних електронних пристроїв, зокрема відеокарт, смартфонів, комп'ютерів та автомобілів. Дане дослідження має на меті з'ясувати основні фактори, що сприяють цьому дефіциту, та його далекосяжні наслідки для галузей, що залежать від напівпровідникових технологій.

За даними аналітиків Goldman Sachs 169 галузей промисловості постраждали від глобального дефіциту чіпів, причому найбільше втрат зазнала автомобільна промисловість [46]. Важливо відзначити, що поточна ситуація створює всі передумови для збереження дефіциту мікросхем, оскільки проблеми глобального ланцюга створення вартості напівпровідників (ГЛС) продовжують накопичуватися. Виникаюча ситуація дала імпульс реалізації державами політики щодо локалізації виробництв для забезпечення самодостатності та конкурентоспроможності у напівпровідниковій галузі. Це вже відбувається у таких країнах, як США, Південна Корея, Японія та Китай.

Світовий дефіцит напівпровідникових мікросхем можна пояснити багатьма факторами, серед яких першочерговою причиною є довготривала пандемія COVID-19. Перехід на віддалену роботу та зростання залежності від електроніки призвели до сплеску попиту на персональні комп'ютери, мережеву периферію та інші електронні пристрої, що спричинило завищення цін на них. Злочинці скористалися ситуацією, накопичуючи чіпи та перепродуючи їх за непомірно високими цінами, що ще більше загострило проблему.

Пандемія COVID-19 сильно вплинула на різні галузі промисловості в усьому світі, і ринок напівпровідників не став винятком. Криза призвела до збоїв у всьому ланцюжку постачання, створивши дисбаланс між попитом і пропозицією, що зрештою призвело до глобального дефіциту

напівпровідників. Наступний аналіз висвітлює ключові фактори, які сприяли кризі на ринку напівпровідників під час пандемії.

Коли вперше виникла пандемія, були введені карантин та обмеження пересування, щоб стримати поширення вірусу. Ці заходи призвели до тимчасового закриття виробничих підприємств і зупинки виробництва в багатьох регіонах, зокрема в Азії, де відбувається значна частина виробництва напівпровідників. У результаті було значно порушено виробництво напівпровідників, що призвело до дефіциту поставок [35].

Пандемія також призвела до нестачі робочої сили через масові захворювання, карантин і обмеження на подорожі. Через цей дефіцит виробникам напівпровідників було важко підтримувати регулярний рівень виробництва, що ще більше призвело до перебоїв у постачанні.

Оскільки було введено глобальні обмеження на подорожі та зменшено пропускну здатність повітряних вантажів, напівпровідникова промисловість зіткнулася зі значними логістичними проблемами.

Хоча пандемія порушила пропозицію на ринку напівпровідників, вона також призвела до різкого зростання попиту на електронні пристрої. Оскільки дистанційна робота, онлайн-навчання та все більша залежність від цифрових послуг стали нормою, попит на персональні комп'ютери, смартфони та інші електронні пристрої стрімко зріс.

До пандемії багато напівпровідникових компаній та їхні клієнти підтримували мінімальний рівень запасів, щоб мінімізувати витрати. Однак із розгортанням кризи, поєднання перебоїв у постачанні та різкого зростання попиту швидко вичерпало ці запаси, зробивши ринок вразливим до дефіциту.

Пандемія суттєво вплинула на автомобільну промисловість: спочатку зупинили заводи та різко впали продажі автомобілів. У результаті багато автовиробників скоротили свої замовлення на напівпровідники в очікуванні зниження попиту. Однак, коли продажі автомобілів відновилися швидше, ніж

очікувалося, через зростання попиту на особистий транспорт і електромобілі, автовиробники зіткнулися з гострою нестачею напівпровідників.

Тривалі терміни виконання: виробництво напівпровідників – це складний, трудомісткий процес із довгим часом виконання. Як наслідок, для галузі було складно швидко наростити виробництво та вирішити проблему дефіциту поставок, спричинену пандемією.

Підсумовуючи, пандемія COVID-19 стала значним фактором кризи на ринку напівпровідників. Поєднання збоїв у ланцюзі постачання, нестачі робочої сили, проблем з логістикою, стрімкого попиту, виснаження запасів і тривалого часу виконання призвело до дисбалансу між попитом і пропозицією, що призвело до глобального дефіциту напівпровідників. Оскільки галузь працює над вирішенням цих викликів, надзвичайно важливо витягти уроки з пандемії та розробити більш стійкі, гнучкі та диверсифіковані ланцюги поставок, щоб краще підготуватися до майбутніх криз [22].

Торговельна війна 2020 року між США та Китаєм – це тривалий економічний конфлікт між двома найбільшими економіками світу. Ця торговельна війна розпочалася на початку 2018 року, коли адміністрація Трампа ініціювала низку тарифів на китайські товари, посиляючись на занепокоєння щодо величезного торговельного дефіциту, ймовірної крадіжки інтелектуальної власності та промислової політики Китаю, яка надає перевагу вітчизняним компаніям. У відповідь Китай запровадив відповідні тарифи на американські товари, що призвело до подальшої ескалації конфлікту [30].

Ключові події та аспекти торговельної війни 2020 року між США та Китаєм включають:

- Початкові тарифи: у березні 2018 року адміністрація Трампа запровадила тарифи на імпорт китайської сталі та алюмінію, посиляючись на міркування національної безпеки. До липня 2018 року США запровадили 25% мита на китайські товари вартістю 34 млрд. доларів, включно з машинобудуванням, електронікою та аерокосмічними компонентами. Китай у відповідь

запровадив 25% тарифи на американські товари на суму 34 млрд. доларів, зокрема соєві боби, автомобілі та морепродукти.

- Ескалація тарифів: Протягом наступних місяців обидві країни продовжували запроваджувати тарифи на додаткові товари, що призвело до ескалації "око за око". До вересня 2018 року США запровадили тарифи на китайський імпорт на суму 250 млрд. доларів, а Китай – на американські товари на суму 110 млрд. доларів.
- Торговельні переговори та тимчасове перемир'я: У грудні 2018 року обидві країни погодилися на 90-денне перемир'я для переговорів щодо торговельної угоди. Однак переговори не привели до задовільної угоди, і в травні 2019 року США підвищили тарифи на китайські товари вартістю 200 млрд. доларів з 10% до 25%. Китай у відповідь підвищив тарифи на американські товари на суму 60 млрд. доларів.
- Технології та телекомунікації: Торговельна війна вийшла за рамки тарифів і націлилася на китайські технологічні та телекомунікаційні компанії. У травні 2019 року Міністерство торгівлі США додало Huawei, китайського телекомунікаційного гіганта, до свого списку юридичних осіб, фактично заборонивши американським компаніям вести бізнес з Huawei без дозволу уряду. Цей крок зумовлений занепокоєнням щодо потенційних зв'язків Huawei з китайським урядом та потенційними ризиками шпигунства.
- Перша фаза торговельної угоди: У січні 2020 року США та Китай підписали Першу торговельну угоду, яка частково деескалувала торговельну війну. Згідно з угодою, Китай зобов'язався протягом двох років закупити американських товарів і послуг на суму 200 млрд. доларів і провести структурні реформи, спрямовані на вирішення проблем інтелектуальної власності. Натомість США погодилися знизити деякі тарифи на китайські товари, але зберегли тарифи на імпорт на суму близько 360 млрд. доларів.
- Вплив на напівпровідникову промисловість: Торговельна війна порушила глобальний ланцюг постачання напівпровідників. США наклали обмеження

на найбільшого китайського виробника мікросхем, Міжнародну корпорацію з виробництва напівпровідників (Semiconductor Manufacturing International Corporation, SMIC), обмеживши її доступ до передового обладнання та технологій виробництва напівпровідників. Ці обмеження ще більше ускладнили і без того напружений ланцюжок постачання напівпровідників, що призвело до глобального дефіциту мікросхем [35].

Торговельна війна між США та Китаєм мала значні економічні наслідки для обох країн та світової економіки. Промисловість зіткнулася з розривом ланцюгів постачання, обмеженням доступу до ринків і зростанням витрат. Хоча перша фаза торговельної угоди принесла певне полегшення, постійна напруженість і невирішені питання продовжують залишати невизначеність щодо майбутніх торговельних відносин між США і Китаєм.

Майнінг, особливо в контексті видобутку криптовалют, має значний вплив на ринок напівпровідників кількома способами. Майнінг криптовалют спирається на спеціалізоване обладнання та обчислювальну потужність для вирішення складних математичних задач, що, в свою чергу, генерує нові монети та підтверджує транзакції. Цей процес зазвичай вимагає потужних графічних процесорів (GPU) і спеціалізованих інтегральних схем (ASIC), які є критично важливими компонентами напівпровідникової промисловості. Вплив майнінгу на ринок напівпровідників можна проаналізувати з різних точок зору, зокрема з точки зору динаміки попиту та пропозиції, інновацій та екологічних проблем [22].

Зростання майнінгу криптовалют призвело до сплеску попиту на графічні процесори та ASIC. Майнери змагаються за найпотужніше обладнання, що призводить до значного збільшення продажів для виробників напівпровідників. Однак такий високий попит також спричинив напруження в ланцюгах поставок і призвів до глобального дефіциту напівпровідникових чіпів. Це вплинуло не лише на гірничодобувну промисловість, а й на інші

сектори, які покладаються на напівпровідникові компоненти, такі як автомобільна промисловість, побутова електроніка та телекомунікації.

Через високий попит і обмежену пропозицію ціни на графічні процесори і ASIC значно зросли. Майнери часто готові платити надбавку за ці компоненти, що призводить до зростання витрат для інших галузей та споживачів. Ця інфляція цін також призвела до появи вторинного ринку, на якому приватні особи купують і перепродають графічні процесори та ASIC за завищеними цінами, що ще більше загострює проблему.

Майнінг криптовалют став каталізатором інновацій у напівпровідниковій промисловості. Компанії постійно працюють над розробкою більш ефективних і потужних графічних процесорів і ASIC, щоб задовольнити зростаючі потреби майнерів. Це призвело до вдосконалення архітектури чіпів, виробничих процесів та енергоефективності, що приносить користь не лише майнінг-індустрії, а й іншим галузям, які використовують ці компоненти.

Швидкий темп інновацій та постійна потреба в більш потужному обладнанні в гірничодобувному секторі сприяють утворенню електронних відходів (e-waste). Старі та менш ефективні графічні процесори та ASIC утилізуються, що призводить до екологічних проблем та складнощів в управлінні відходами. Крім того, енергоємний характер майнінгу криптовалют викликає занепокоєння щодо його впливу на навколишнє середовище, а дехто стверджує, що ресурси та енергію, які використовуються для майнінгу, можна було б краще використати в інших сферах.

Ринок напівпровідників зазнав підвищеної волатильності через коливання на ринку криптовалют. Ціни на криптовалюти можуть різко змінюватися, впливаючи на попит на обладнання для майнінгу і, в свою чергу, на ринок напівпровідників. Така волатильність може ускладнити виробникам напівпровідників планування виробництва та ефективний розподіл ресурсів.

Таким чином, майнінг, зокрема, видобуток криптовалют, справив значний вплив на ринок напівпровідників. Це призвело до зростання попиту

та цін на графічні процесори та ASIC, напруження ланцюгів поставок та підвищеної волатильності ринку. Хоча гірничодобувна промисловість стимулювала інновації в напівпровідниковому секторі, вона також викликала занепокоєння з приводу стану довкілля та сприяла утворенню електронних відходів.

Ринок напівпровідників почав демонструвати ознаки стабілізації після періоду значних потрясінь, спричинених такими факторами, як пандемія COVID-19, торговельні війни, майнінг та стихійні лиха [45]. Про стабілізацію свідчить зниження цін на напівпровідникову продукцію та збільшення виробничих потужностей у галузі. Нижче наведено детальний огляд цієї стабілізації:

- Розширення виробничих потужностей: найбільші виробники напівпровідників, такі як Taiwan Semiconductor Manufacturing Company (TSMC) та Samsung, інвестують значні кошти у розширення своїх виробничих потужностей. Наприклад, TSMC оголосила про плани інвестувати \$100 млрд протягом трьох років у збільшення своїх виробничих потужностей, тоді як Samsung має намір інвестувати \$151 млрд до 2030 року у свій напівпровідниковий бізнес. Ці інвестиції спрямовані на задоволення високого попиту на мікросхеми та пом'якшення обмежень у постачанні.
- Диверсифікація ланцюжка поставок: напівпровідникова промисловість працює над диверсифікацією свого ланцюжка поставок, щоб зменшити ризики, пов'язані з надмірною залежністю від кількох ключових гравців або регіонів. Такі країни, як США, Японія та країни Європейського Союзу, вивчають шляхи збільшення внутрішнього виробництва напівпровідників, зменшуючи залежність від виробників, розташованих переважно у Східній Азії.
- Державна підтримка та ініціативи: уряди в усьому світі визнали стратегічну важливість напівпровідників і впроваджують політику та надають фінансові стимули для підтримки внутрішнього виробництва. Наприклад, уряд США

розглядає закон "CHIPS для Америки", який має на меті виділити 52 мільярди доларів США на стимулювання вітчизняного виробництва напівпровідників та досліджень у цій галузі.

- Зниження попиту з боку майнерів криптовалют: попит на графічні процесори (GPU) з боку майнерів криптовалют, особливо тих, хто видобуває Ethereum, знизився, оскільки мережа Ethereum перейшла на менш ресурсоємний алгоритм консенсусу "доказ частки". Цей перехід сприяв зменшенню тиску на ринок графічних процесорів, зробивши їх більш доступними для геймерів та інших користувачів із законними потребами.
- Покращення управління ланцюжком поставок: компанії зосередилися на підвищенні стійкості своїх ланцюжків поставок, прийнявши різні стратегії, такі як утримання більш високих рівнів запасів, забезпечення довгострокових контрактів з постачальниками та тісна співпраця з партнерами для забезпечення своєчасної доставки компонентів.
- Адаптація до нових умов: напівпровідникова промисловість адаптується до нових умов, спричинених пандемією COVID-19, впроваджуючи заходи безпеки для мінімізації перебоїв у виробництві та забезпечуючи безпечну роботу працівників на виробничих об'єктах.

Оскільки пропозиція напівпровідників поступово зростає, а ринок пристосовується до нових рівнів попиту, очікується зниження цін, що зробить напівпровідникову продукцію більш доступною як для споживачів, так і для бізнесу.

Хоча ці фактори вказують на позитивну тенденцію до стабілізації на ринку напівпровідників, важливо зазначити, що певні регіони та галузі все ще можуть стикатися з проблемами через геополітичну напруженість та інші зовнішні фактори. Постійні зусилля, спрямовані на збільшення виробничих потужностей, підвищення стійкості ланцюгів поставок та розвиток альтернативних технологій, матимуть вирішальне значення для забезпечення довгострокової стабільності та зростання напівпровідникової галузі.

Незважаючи на ці позитивні зміни, деякі регіони, такі як Україна, продовжують страждати від постійного дефіциту напівпровідників через геополітичну напруженість і триваючі конфлікти.

Українсько-російська війна 2022-2023 років мала кілька значних впливів на світовий ринок напівпровідників, оскільки конфлікт порушує ланцюги поставок, посилює регіональну нестабільність і створює додаткові виклики для галузей, які вже борються з глобальним дефіцитом мікросхем [46]. Деякі ключові наслідки війни для ринку напівпровідників включають:

- **Порушення ланцюжка поставок:** конфлікт в Україні призвів до широкомасштабних перебоїв у роботі транспортних і логістичних мереж, що ускладнило транспортування напівпровідникових компонентів в регіон і з нього. Внаслідок цього затримки та збільшення транспортних витрат ще більше ускладнили і без того напружений глобальний ланцюг поставок напівпровідників.
- **Регіональна нестабільність:** війна посилила геополітичну напруженість у Східній Європі та прилеглих регіонах, додавши невизначеності до загального бізнес-середовища та негативно вплинувши на довіру інвесторів. Ця нестабільність може перешкоджати зростанню напівпровідникової промисловості в регіоні та стримувати майбутні інвестиції.
- **Санкції та торговельні обмеження:** у відповідь на конфлікт багато країн запровадили економічні санкції та торговельні обмеження проти Росії, що може опосередковано вплинути на ринок напівпровідників. Наприклад, обмеження на експорт певних технологій або матеріалів до Росії можуть вплинути на російські компанії, задіяні в напівпровідниковій промисловості, або перешкоджати співпраці між російськими та міжнародними напівпровідниковими компаніями.
- **Зростання попиту на напівпровідники військового та оборонного призначення:** конфлікт підвищив попит на передові військові та оборонні технології, які часто покладаються на складні напівпровідникові

компоненти. Цей підвищений попит може ще більше загострити глобальний дефіцит мікросхем через відволікання ресурсів і виробничих потужностей від цивільних застосувань.

- Вплив на регіональні ринки: війна безпосередньо вплинула на доступність і вартість напівпровідників на українському ринку, а також на інших ринках регіону. Конфлікт ускладнив постачання напівпровідникових компонентів для компаній на цих ринках, що призвело до затримок у виробництві та збільшення витрат для споживачів.

Українсько-російська війна сприяла зростанню невизначеності у світовій економіці, що може опосередковано вплинути на ринок напівпровідників. Наприклад, конфлікт призвів до коливань цін на енергоносії, що може вплинути на собівартість виробництва напівпровідникових компонентів, а також вплинути на споживчий попит на електронні пристрої.

Отже, українсько-російська війна 2022-2023 років мала значний вплив на світовий ринок напівпровідників, загостривши існуючі проблеми в ланцюгах поставок, створивши регіональну нестабільність та сприяючи ширшій економічній невизначеності. Конфлікт підкреслює важливість збереження стабільних геополітичних умов та сприяння міжнародному співробітництву для забезпечення стійкості та подальшого зростання напівпровідникової галузі.

Ситуація між Тайванем і Китаєм залишається нестабільною, що додає невизначеності в ланцюжок поставок. Проте, покращення Індексу відстеження ланцюгів постачання напівпровідників Gartner за останній рік свідчить про прогрес у вирішенні глобальної напівпровідникової кризи.

РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ РЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛІЗУ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

3.1 Вплив майнінгу криптовалют на ціни акцій напівпровідникових компаній за допомогою регресійної моделі

Щоб довести, що ціна криптовалюти впливає на ринок напівпровідників за допомогою регресійної моделі, ми будемо використовувати модель векторної авторегресії (VAR), яка підходить для аналізу зв'язку між кількома змінними часових рядів.

Математичне значення моделі VAR полягає в її здатності оцінювати складні зв'язки між декількома змінними часових рядів, забезпечуючи тверду основу для аналізу їх взаємозалежностей і дослідження потенційних причинно-наслідкових зв'язків.

Модель векторної авторегресії (VAR) — це модель багатовимірного часового ряду, яка фіксує лінійні зв'язки між кількома змінними [47]. Вона складається з системи K лінійних рівнянь, де K — кількість змінних у моделі. Загальна форма моделі VAR(p), де p — порядок відставання, виглядає наступним чином:

$$Y_t = A_1 Y_{t-1} + A_2 Y_{t-2} + \dots + A_p Y_{t-p} + B + \varepsilon_t, \quad (3.1)$$

де Y_t — вектор-стовпець K , що представляє значення K змінних у момент часу t .

A_1, A_2, \dots, A_p — матриці $K \times K$, що представляють коефіцієнти лагових значень змінних у моделі. Кожен елемент $a_{i,j}^k$ матриці A_k представляє вплив j -ї змінної в момент часу $t-k$ на i -ту змінну в момент часу t .

$Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots, Y_{t-p}$ — вектори-стовпці K , що представляють значення K змінних у момент часу $t-1, t-2, \dots, t-p$, відповідно.

B — це вектор-стовпець K , що представляє постійні члени (відрізки) у моделі.

ε_t — це вектор-стовпець K , що представляє умови помилки в момент часу t , які, як припускається, відповідають багатовимірному нормальному розподілу із середнім 0 і постійною коваріаційною матрицею.

Метою моделі VAR є оцінка матриць A_1, A_2, \dots, A_p і вектора B з використанням спостережених даних для K змінних. Зазвичай це робиться за допомогою звичайного методу найменших квадратів (OLS) або інших методів оцінки.

Після оцінки коефіцієнтів модель VAR можна використовувати для аналізу динамічних зв'язків між змінними та виконання тестів причинності Грейнджера, проведення аналізу імпульсної реакції.

Вибрані компанії- NVIDIA Corporation (NVDA), Intel Corporation (INTC), QUALCOMM Incorporated (QCOM) та Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC34.SA) – підходять для аналізу, оскільки вони є основними гравцями в напівпровідниковій галузі, і ціни їхніх акцій відображають тенденції, зміни на ринку. А також, потрібно зазначити, що кожна і з цих компаній є вузько направленою в сфері напівпровідників. Ось чому кожна з цих компаній є важливою для аналізу:

- NVIDIA Corporation (NVDA): NVIDIA – провідна світова технологічна компанія, яка розробляє та виробляє графічні процесори (GPU) для ігор, професійної візуалізації, центрів обробки даних та автомобільного ринку. Графічні процесори є важливими компонентами для майнінгу криптовалют, особливо для алгоритмів підтвердження роботи. Таким чином, попит на продукцію NVIDIA може залежати від коливань цін на криптовалюту.
- Intel Corporation (INTC): Intel – транснаціональна корпорація і один з найбільших світових виробників напівпровідників. Вона виробляє широкий спектр продукції, включаючи мікропроцесори, набори мікросхем та інтегральні схеми, що використовуються в різних галузях, таких як обчислювальна техніка, комунікації та побутова електроніка. Ринок криптовалют може опосередковано впливати на продукцію Intel через

потенційний вплив цін на криптовалюту, загальний попит та електронні пристрої та компоненти.

- **QUALCOMM Incorporated (QCOM):** QUALCOMM є провідним розробником і виробником напівпровідників, систем бездротового зв'язку та програмного забезпечення. Компанія спеціалізується на виробництві продуктів System-on-Chip (SoC) та інтегральних схем для мобільних пристроїв та іншої електроніки. З розширенням використання криптовалют і технології блокчейн попит на більш потужні та енергоефективні мобільні пристрої може зрости, що потенційно вплине на бізнес QUALCOMM.
- **Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC34.SA):** TSMC є найбільшим у світі виробником напівпровідників, що надає виробничі послуги для широкого спектру галузей, включаючи обчислювальну техніку, засоби зв'язку та побутову електроніку. Виробничі потужності та досвід TSMC роблять її важливим гравцем на ринку напівпровідників. На її продуктивність може впливати загальний попит на напівпровідники, в тому числі ті, що використовуються в додатках, пов'язаних з криптовалютами.

Побудуємо модель VAR для визначення причинно-наслідкових зв'язків між цінами на акції компанії та цінами криптовалют. Для цього будемо використовувати мову програмування Python.

Для реалізації моделі використаємо програмне середовище Google Colab – безкоштовне хмарне середовище Jupyter Notebook, розроблене компанією Google. Воно дозволяє користувачам писати, запускати та ділитися кодом безпосередньо у веб-браузері без необхідності встановлювати будь-яке програмне чи апаратне забезпечення. Colab особливо популярний для задач машинного навчання, аналізу даних та наукових обчислень, оскільки пропонує доступ до потужних апаратних прискорювачів, таких як GPU та TPU, для швидшої обробки даних [44].

Першим кроком імпортуємо всі необхідні бібліотеки для побудови моделі VAR, тесту на стаціонарність даних та тесту Грейнджера.

```
import numpy as np
import pandas as pd
from statsmodels.tsa.vector_ar.var_model import VAR
from statsmodels.tsa.stattools import grangercausalitytests, adfuller
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from google.colab import files
```

Рис. 3.1. Імпорт бібліотек

Джерело: побудовано автором

Для виконання поставленого завдання нам необхідні наступні бібліотеки:

1. NumPy, що розшифровується як Numerical Python, є фундаментальною бібліотекою для наукових обчислень на Python. Вона надає підтримку для роботи з великими багатовимірними масивами і матрицями, а також набір математичних функцій для виконання операцій над цими масивами. За домовленістю, його часто імпортують з використанням псевдоніма 'np'. NumPy добре оптимізована для продуктивності і є основою багатьох інших бібліотек Python, особливо тих, що займаються числовими та науковими задачами.

2. pandas - потужна бібліотека для маніпулювання та аналізу даних для Python, побудована на основі NumPy. Вона надає структури даних, такі як Series та DataFrame, які призначені для гнучкої та ефективної обробки складних даних. Зазвичай pandas імпортується з псевдонімом "pd". pandas популярний серед науковців та аналітиків даних для очищення, дослідження та перетворення даних.

3. statsmodels - це бібліотека Python, створена спеціально для статистики та економетрики. Вона надає широкий спектр статистичних моделей, тестів гіпотез та інструментів для дослідження даних. Бібліотека призначена для використання з NumPy, pandas та іншими науковими обчислювальними бібліотеками.

4. Модуль VAR (Vector AutoRegression - векторна авторегресія) є частиною підпаketу Time Series Analysis (tsa) і працює з багатовимірними даними часових рядів. VAR моделює взаємозв'язок між кількома змінними

часового ряду та їхніми лаговими значеннями, що робить його корисним для аналізу динамічного впливу шоків на систему.

5. Тести причинності Грейнджера та функції `adfuller` є частиною модуля `stattools`. Тести причинності Грейнджера допомагають визначити, чи може один часовий ряд передбачити інший часовий ряд, тоді як розширений тест Дікі-Фуллера (`adfuller`) - це статистичний тест на наявність одиничних коренів, який допомагає оцінити стаціонарність даних часових рядів.

6. `scikit-learn` - популярна бібліотека машинного навчання на Python, побудована на основі `NumPy`, `SciPy` та `matplotlib`. Вона надає прості та ефективні інструменти для інтелектуального аналізу даних, включаючи класифікацію, регресію, кластеризацію, зменшення розмірності та методи вибору моделей.

7. `MinMaxScaler` - це модуль попередньої обробки в `scikit-learn`, який масштабує ознаки, перетворюючи їх у певний діапазон, зазвичай $[0, 1]$. Це корисно при роботі з даними, які мають різні масштаби, або коли алгоритм чутливий до величини значень ознак.

8. Модуль файлів у бібліотеці `google.colab` надає набір утиліт для взаємодії з файловою системою `Google Colab`. Це дозволяє користувачам завантажувати і вивантажувати файли з середовища `Colab`, полегшуючи роботу з локальними файлами і обмін даними з колегами.

Наступним кроком є завантаження бази даних до програмного середовища. Ми маємо 4 набори даних, а саме залежні змінні – ціни на акції компаній, що розглядалися вище, та незалежні змінні – ціни на криптовалюти `Bitcoin` та `Ethereum`. Розглянемо реалізацію коду на прикладі одного набору даних (`NVDA-BTC-ETH`). Повну реалізацію коду можна побачити у додатку А.

```

uploaded = files.upload()

df = pd.read_csv('VAR.csv', sep=',')
df = df.set_index(['Date'])
df.drop(['INTC', 'QCOM', 'TSMC34.SA'], axis = 1, inplace = True)
df = df.sort_values('Date')
df.head()

```

Рис. 3.2. Імпорт даних у програмне середовище

Джерело: побудовано автором

Наступним кроком перевіримо дані на стаціонарність. Для цього використаємо тест Дікі-Фуллера.

```

def adfuller_test(series, signif=0.05, name='', verbose=False):
    r = adfuller(series, autolag='AIC')
    output = {'test_statistic':round(r[0], 4), 'pvalue':round(r[1], 4), 'n_lags':round(r[2], 4), 'n_obs':r[3]}
    p_value = output['pvalue']
    def adjust(val, length= 6): return str(val).ljust(length)
    print(f'Augmented Dickey-Fuller Test on "{name}"', "\n ", '-'*47)
    print(f'Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.')
    print(f'Significance Level = {signif}')
    print(f'Test Statistic = {output["test_statistic"]}')
    print(f'No. Lags Chosen = {output["n_lags"]}')

    for key,val in r[4].items():
        print(f' Critical value {adjust(key)} = {round(val, 3)}')
        if p_value <= signif:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Rejecting Null Hypothesis.")
            print(f" => Series is Stationary.")
        else:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.")
            print(f" => Series is Non-Stationary.")

# ADF test on each column
for name, column in df.iteritems():
    adfuller_test(column, name = column.name)

```

Рис. 3.3. Перевірка даних на стаціонарність

Джерело: побудовано автором

Покроково це відбувалося так:

1. Функція починає роботу з виконання тесту ADF за допомогою функції `adfuller` з модуля `statsmodels.tsa.stattools`. Результати зберігаються у змінній `r`.
2. Функція обробляє результати і зберігає їх у словнику з іменем `output`, який містить статистику тесту, `p`-значення, кількість використаних лагів і кількість спостережень.

3. Функція визначає допоміжну функцію `adjust` для форматування вихідних значень шляхом їх вирівнювання по лівому краю та встановлення фіксованої довжини.
4. Функція виводить результати тесту, включаючи нульову гіпотезу, рівень значущості, статистику тесту та критичні значення. Залежно від p -значення, функція або відхиляє нульову гіпотезу (вказуючи на стаціонарність ряду), або надає слабкі докази для відхилення нульової гіпотези (вказуючи на нестаціонарність ряду).
5. Нарешті, код повторює кожен стовпець у `DataFrame df` за допомогою циклу `for`. Для кожного стовпчика він викликає функцію `adfuller_test` з даними стовпчика та його назвою як аргументами. Це призведе до друку результатів тесту ADF для кожного часового ряду у `DataFrame`.

```

Augmented Dickey-Fuller Test on "NVDA"
-----
Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.
Significance Level = 0.05
Test Statistic = -1.5413
No. Lags Chosen = 10
Critical value 1%      = -3.44
=> P-Value = 0.513. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 5%      = -2.866
=> P-Value = 0.513. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 10%     = -2.569
=> P-Value = 0.513. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Augmented Dickey-Fuller Test on "BTC"
-----
Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.
Significance Level = 0.05
Test Statistic = -1.6174
No. Lags Chosen = 20
Critical value 1%      = -3.44
=> P-Value = 0.4741. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 5%      = -2.866
=> P-Value = 0.4741. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 10%     = -2.569
=> P-Value = 0.4741. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Augmented Dickey-Fuller Test on "ETH"
-----
Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.
Significance Level = 0.05
Test Statistic = -1.4213
No. Lags Chosen = 13
Critical value 1%      = -3.44
=> P-Value = 0.572. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 5%      = -2.866
=> P-Value = 0.572. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 10%     = -2.569
=> P-Value = 0.572. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.

```

Рис. 3.4. Результати перевірки на стаціонарність

Джерело: побудовано автором

Після перевірки ми виявили, що дані є нестаціонарними, тому проведемо стаціонаризацію.

```

nobs = int(15) # number of future steps to predict
# differenced train data
data_diff = df.diff()
data_diff.dropna(inplace=True)
print('Glimpse of differenced data:')
print(data_diff.head())
# plotting differenced data
data_diff.plot(figsize=(10,6), linewidth=5, fontsize=20)

```

Рис. 3.5. Стаціонаризація даних для нашої моделі

Джерело: побудовано автором

Покроково це відбувалося так:

1. Застосовуємо різницю першого порядку до даних у DataFrame `df` за допомогою методу `.diff()`. Ця операція обчислює різницю між послідовними значеннями в кожному часовому ряді. Диференціювання є поширеною технікою, яка використовується в аналізі часових рядів, щоб зробити нестационарний ряд стаціонарним, видаливши тенденції або сезонність. Результат зберігається у змінній `data_diff`.
2. Вилучаємо будь-які відсутні значення (наприклад, NaN) з фрейму даних `data_diff` за допомогою методу `.dropna(inplace=True)`. Це необхідно, оскільки операція `.diff()` генерує відсутні значення для першого рядка, оскільки немає попередніх значень для обчислення різниці.
3. Друкуємо перші п'ять рядків різницевої дані за допомогою оператора `print(data_diff.head())`, що дає змогу отримати уявлення про перетворені дані.

Після цього створюємо модель VAR.

```
# Create the VAR model using the stationary data
var_model = VAR(data_diff)

# Fit the model using the optimal lag order
maxlags = 15
results = var_model.fit(maxlags=maxlags, ic="aic")

# Print the VAR model summary
print(results.summary())
```

Рис. 3.6. Налаштування моделі

Джерело: побудовано автором

```
Summary of Regression Results
=====
Model:                VAR
Method:               OLS
Date:                 Fri, 28, Apr, 2023
Time:                 23:08:25
-----
No. of Equations:    3.00000    BIC:                36.2108
Nobs:                 715.000    HQIC:               35.8104
Log likelihood:      -15653.8    FPE:                 2.77311e+15
AIC:                  35.5585    Det(Omega_mle):     2.41234e+15
-----
```

Рис. 3.7. Опис побудованої моделі

Джерело: побудовано автором

Ці результати моделювання надають ключову інформацію про ефективність та характеристики VAR моделі.

Кількість рівнянь: Показує кількість змінних (часових рядів), включених у VAR модель. У цьому випадку це три змінні.

Nobs: Позначає кількість спостережень, використаних в аналізі. Є 715 спостережень, що означає, що модель базується на 715 точках даних для кожної з трьох змінних.

Логістична ймовірність: Логістична ймовірність вимірює ступінь відповідності моделі. Вона являє собою логарифм функції правдоподібності, яка кількісно визначає, наскільки ймовірними є спостережувані дані за оціненими параметрами моделі. У цьому випадку лог-правдоподібність дорівнює -15653,8. Вищі значення лог-правдоподібності вказують на кращу відповідність моделі даним.

Далі йдуть інформаційні критерії які нам не знадобляться для нашого дослідження.

Останнім кроком є перевірка на наявність причинно-наслідкових зв'язків. Проведемо тест Грейнджера.

```
# Perform Granger causality tests
max_lag_granger = 4
granger_tests = results.test_causality("NVDA", ["BTC", "ETH"], kind="f")
print(granger_tests.summary())
```

Рис. 3.8. Виявлення причинно-наслідкових зв'язків

Джерело: побудовано автором

Тест причинності Грейнджера - це тест статистичних гіпотез, який використовується для визначення того, чи має один часовий ряд передбачувану силу над іншим. Він заснований на концепції причинності Грейнджера, запропонованій Клайвом Грейнджером, який отримав Нобелівську премію з економіки в 2003 році за свій внесок в аналіз даних часових рядів[44].

Тест причинності Грейнджера ґрунтується на припущенні, що якщо змінна X викликає іншу змінну Y, то минулі значення X повинні містити

інформацію, яка допоможе передбачити Y . Важливо зазначити, що причинність Грейнджера не означає справжньої причинності в сенсі причини і наслідку; скоріше, вона вказує на прогностичний зв'язок між двома змінними.

Нульова гіпотеза стверджує, що X не є причиною Y , тобто коефіцієнти минулих значень X у першій моделі статистично не відрізняються від нуля. Альтернативна гіпотеза стверджує, що X спричиняє Y за Грейнджером, тобто принаймні один з коефіцієнтів минулих значень X у першій моделі статистично відмінний від нуля.

```
Granger causality F-test. H_0: ['BTC', 'ETH'] do not Granger-cause NVDA. Conclusion: reject H_0 at 5% significance level.
=====
Test statistic Critical value p-value      df
-----
      2.290         1.547   0.001 (22, 2043)
-----
```

Рис. 3.9. Результати тесту Грейнджера

Джерело: побудовано автором

За результатами проведеного тесту, можна сказати що для всіх наборів даних було відхилено нульову гіпотезу, тобто між цінами на акції компанії та цінами криптовалют існують причинно-наслідкові зв'язки.

3.2 Аналіз впливу майнінгу на електронні пристрої за допомогою регресійної моделі

У наступному аналізі, який також буде створено за допомогою моделі векторної авторегресії (VAR) досліджується зв'язок між динамікою цін на iPad 2020 від Apple і Playstation 5 від Sony та ціною біткоїна. Хоча самі продукти (iPad 2020 і Playstation 5) не можуть майнитись, їх ціна може бути опосередковано пов'язана з напівпровідниками, які є важливими компонентами для обох пристроїв. Напівпровідники, в свою чергу, пов'язані з ринком криптовалют через їх використання у майнінгу. Метою цього аналізу є визначення того, якою мірою ціна біткоїна, як основний фактор для ринку криптовалют, впливає на ціноутворення цих популярних продуктів побутової електроніки.

Виробництво напівпровідників має важливе значення для виготовлення електронних пристроїв, таких як iPad 2020 і Playstation 5. Якщо попит на напівпровідники зросте через індустрію майнінгу криптовалют це може призвести до обмеження пропозиції, що потенційно призведе до зростання вартості цих пристроїв.

Аналізуючи взаємозв'язок між цінами на біткойн та цінами на iPad 2020 і Playstation 5, можна отримати уявлення про складні ринкові зв'язки між криптовалютами та напівпровідниковою галуззю. Таке розуміння може допомогти бізнесу, інвесторам та політикам приймати більш обґрунтовані рішення.

Аналіз може дати уявлення про вплив цін на криптовалюту на тенденції ціноутворення на споживчу електроніку. Якщо буде виявлено значний зв'язок, це може свідчити про те, що споживчий попит на ці товари залежить від динаміки ринку криптовалют, що може мати наслідки для маркетингових і цінових стратегій.

Аналіз може допомогти визначити, якою мірою фактори макrorівня, такі як ринок криптовалют, впливають на динаміку цін на товари побутової електроніки.

Загалом, цей аналіз може допомогти пролити світло на потенційний вплив цін на криптовалюту на ціноутворення на популярні товари споживчої електроніки, такі як iPad 2020 і Playstation 5. Використовуючи VAR-модель, можна зафіксувати динамічні взаємозв'язки між цими змінними та дослідити потенційні причинно-наслідкові зв'язки, пропонуючи цінну інформацію про складну взаємодію між ринками криптовалют та напівпровідників.

Дані електронних пристроїв було взято з сайту ek.ua. На сайті статистика даних відбувається щотижнево з трьома різними варіантами мінімальна, максимальна та середня ціна, а також в гривневій валюті. Для аналізу було взято середню динаміку цін в грн. з 26 квітня 2021 року до 25 квітня 2023 року. Дані криптовалют було взято з сайту <https://www.investing.com>. На сайті представлений конвертатор для різних валют. Для аналізу було взято курс цін біткоіна в грн. з 26 квітня 2021 року до 25 квітня 2023 року.

Після формування бази побудуємо модель VAR за таким же принципом як і минулу модель VAR.

Наступним кроком є завантаження бази даних до програмного середовища. Ми маємо 2 набори даних, а саме залежні змінні – ціни на електронні пристрої, що розглядалися вище, та незалежні змінні – ціни на криптовалюту Bitcoin. Розглянемо реалізацію коду на прикладі одного набору даних (PS5-BTC). Повну реалізацію коду можна побачити у додатку Б.

```
df = pd.read_csv('База_VAR.csv', sep=',')
df = df.set_index(['Date'])
df.drop(['PS5'], axis = 1, inplace = True)
df = df.sort_values('Date')
df.head()
```

Рис.3.10. Імпорт даних у програмне середовище

Джерело: побудовано автором

Наступним кроком перевіримо дані на стаціонарність. Для цього використаємо тест Дікі-Фуллера.

```
def adfuller_test(series, signif=0.05, name='', verbose=False):
    r = adfuller(series, autolag='AIC')
    output = {'test_statistic':round(r[0], 4), 'pvalue':round(r[1], 4), 'n_lags':round(r[2], 4), 'n_obs':r[3]}
    p_value = output['pvalue']
    def adjust(val, length= 6): return str(val).ljust(length)
    print(f'Augmented Dickey-Fuller Test on "{name}"', "\n ", '-'*47)
    print(f'Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.')
    print(f'Significance Level = {signif}')
    print(f'Test Statistic = {output["test_statistic"]}')
    print(f'No. Lags Chosen = {output["n_lags"]}')

    for key,val in r[4].items():
        print(f' Critical value {adjust(key)} = {round(val, 3)}')
        if p_value <= signif:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Rejecting Null Hypothesis.")
            print(f" => Series is Stationary.")
        else:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.")
            print(f" => Series is Non-Stationary.")

# ADF test on each column
for name, column in df.iteritems():
    adfuller_test(column, name = column.name)
```

Рис.3.11. Перевірка даних на стаціонарність

Джерело: побудовано автором

```
Augmented Dickey-Fuller Test on "PS5"
-----
Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.
Significance Level = 0.05
Test Statistic = -3.9691
No. Lags Chosen = 1
Critical value 1% = -3.495
=> P-Value = 0.0016. Rejecting Null Hypothesis.
=> Series is Stationary.
Critical value 5% = -2.89
=> P-Value = 0.0016. Rejecting Null Hypothesis.
=> Series is Stationary.
Critical value 10% = -2.582
=> P-Value = 0.0016. Rejecting Null Hypothesis.
=> Series is Stationary.
Augmented Dickey-Fuller Test on "BTC"
-----
Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.
Significance Level = 0.05
Test Statistic = -2.3278
No. Lags Chosen = 0
Critical value 1% = -3.495
=> P-Value = 0.1632. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 5% = -2.89
=> P-Value = 0.1632. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
Critical value 10% = -2.582
=> P-Value = 0.1632. Weak evidence to reject the Null Hypothesis.
=> Series is Non-Stationary.
<ipython-input-4-497d38d91d0f>:22: FutureWarning: iteritems is deprecated and will be removed in a future version. Use .items instead.
for name, column in df.iteritems():
```

Рис. 3.12. Результати перевірки на стаціонарність

Джерело: побудовано автором

Після перевірки ми виявили, що дані є нестаціонарними для PS5 та біткоїна, тому проведемо стаціонаризацію.

```
[ ] nobs = int(15) # number of future steps to predict
# differenced train data
data_diff = df.diff()
data_diff.dropna(inplace=True)
print('Glimpse of differenced data:')
print(data_diff.head())
# plotting differenced data
data_diff.plot(figsize=(10,6), linewidth=5, fontsize=20)
```

Рис. 3.13. Стаціонаризація даних для нашої моделі

Джерело: побудовано автором

Після цього створюємо модель VAR.

```
# Create the VAR model using the stationary data
var_model = VAR(data_diff)

# Fit the model using the optimal lag order
maxlags = 15
results = var_model.fit(maxlags=maxlags, ic="aic")

# Print the VAR model summary
print(results.summary())
```

Рис. 3.14. Налаштування моделі

Джерело: побудовано автором

```
Summary of Regression Results
=====
Model:                VAR
Method:               OLS
Date:                 Tue, 02, May, 2023
Time:                 15:24:02
-----
No. of Equations:    2.00000    BIC:                    39.9094
Nobs:                102.000    HQIC:                   39.7562
Log likelihood:     -2301.72    FPE:                    1.66235e+17
AIC:                 39.6520    Det(Omega_mle):        1.51062e+17
-----
```

Рис. 3.15. Опис побудованої моделі

Джерело: побудовано автором

Ці результати моделювання надають ключову інформацію про ефективність та характеристики VAR моделі.

Кількість рівнянь це дві змінні.

Є 102 спостережень, що означає, що модель базується на 102 точках даних для кожної з двох змінних.

Логістична ймовірність у цьому випадку дорівнює -2301,72. Вищі значення лог-правдоподібності вказують на кращу відповідність моделі даним.

Використання тесту Грейнджера для перевірки причино наслідкових зв'язків.

```
[ ] # Perform Granger causality tests
    max_lag_granger = 4
    granger_tests = results.test_causality("PS5", "BTC", kind="f")
    print(granger_tests.summary())
```

Рис. 3.16. Виявлення причинно-наслідкових зв'язків

Джерело: побудовано автором

```
Granger causality F-test. H_0: BTC does not Granger-cause PS5. Conclusion: fail to reject H_0 at 5% significance level.
=====
Test statistic Critical value p-value   df
-----
          0.4492          3.042   0.639 (2, 194)
-----
```

Рис. 3.17. Результати тесту Грейнджера

Джерело: побудовано автором

За результатами тесту ми бачимо, що тест Гренджера на основі VAR-моделі не виявив жодних причинно-наслідкових зв'язків між змінами ціни біткоїна, ціною iPad 2020 та ціною Playstation 5. Це, свідчить про наступне, що зміни цін на біткойн, iPad 2020 та Playstation 5 відбуваються незалежно одна від одної. Минулі значення однієї змінної не дають жодної корисної інформації для прогнозування поточних значень інших змінних після контролю за їхніми минулими значеннями.

3.3 Прогнозування цін на електронні пристрої за допомогою регресійних моделей

Для прогнозування цін на електронні пристрої було обрано дані з минулого розділу, а саме ціни в грн. на iPad 2020 і Playstation 5 з 26 квітня 2021 по 25 квітня 2023 року.

Буде використано поліноміальну регресійну модель третього порядку - це тип моделі множинної лінійної регресії [47], яка використовує поліноміальні члени предикторних змінних для моделювання зв'язку між незалежною змінними (x) та залежною змінною (y). У цьому випадку поліноміальна модель третього порядку може бути математично представлена у вигляді

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \varepsilon \quad (3.2)$$

y - залежна змінна (ціна iPad 2020 та Playstation 5)

x - незалежна змінна (релевантний предиктор)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$ та β_3 - коефіцієнти моделі, які потрібно оцінити

x^2 та x^3 - квадратичне та кубічне значення x , відповідно

ε - член похибки, що представляє не пояснену варіацію y .

Поліноміальна регресійна модель третього порядку відображає нелінійний зв'язок між предиктором і змінною відгуку, що дозволяє більш складно і гнучко моделювати дані порівняно з простою лінійною регресійною моделлю.

Авторегресійна модель третього порядку (AR(3)) - це тип моделі часового ряду, яка використовує минулі значення самої залежної змінної для прогнозування її майбутніх значень [47]. Авторегресійна модель 3-го порядку може бути математично представлена наступним чином:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1y_{t-1} + \alpha_2y_{t-2} + \alpha_3y_{t-3} + \varepsilon_t \quad (3.3)$$

y_t - залежна змінна (ціна iPad 2020 та Playstation 5) у момент часу t

α_0 - постійний член

α_1, α_2 та α_3 - коефіцієнти авторегресії, які потрібно оцінити

y_{t-1} , y_{t-2} та y_{t-3} - лагові значення y (ціна iPad 2020 та Playstation 5) у моменти часу $t-1$, $t-2$ та $t-3$ відповідно

ε_t - член помилки в момент часу t

Авторегресійна модель третього порядку відображає послідовну кореляцію в даних часового ряду, припускаючи, що поточне значення залежної змінної можна передбачити на основі трьох попередніх значень.

Створюємо дані моделі в Excel за допомогою пакету аналізу даних.

Висновок								
Регресійна статистика								
Множинний R	0,990997							
R-квадрат	0,982075							
Нормований R-кв	0,981526							
Стандартна поми	444,2263							
Спостереження	102							
Дисперсійний аналіз								
	df	SS	MS	F	Значимість F			
Регресія	3	1059519521	353173173,8	1789,696	2,07509E-85			
Залишок	98	19339022,48	197336,9641					
Висновок	101	1078858544						
Коефіцієнти стандартна помилка t-статистика P-Значення Нижні 95% Верхні 95% Нижні 95% Верхні 95%								
Y-перетин	431,2886	257,4341606	1,675335706	0,097056	-79,58107223	942,1584	-79,5811	942,1584
Змінна X 1	1,341943	0,100966881	13,2909216	1,17E-23	1,141577411	1,542308	1,141577	1,542308
Змінна X 2	-0,40556	0,164049875	-2,472193167	0,015152	-0,731114619	-0,08001	-0,73111	-0,08001
Змінна X 3	0,042606	0,099836114	0,426755692	0,670493	-0,155515888	0,240727	-0,15552	0,240727

Рис 3.18. Авторегресійна модель третього порядку для iPad 2020

Джерело: побудовано автором

Висновок								
Регресійна статистика								
Множинний R	0,50092777							
R-квадрат	0,25092863							
Нормований R-кв	0,22799788							
Стандартна по	3274,70218							
Спостереженн	102							
Дисперсійний аналіз								
	df	SS	MS	F	Значимість F			
Регресія	3	352043815	117347938,2	10,94288528	2,915E-06			
Залишок	98	1050920086	10723674,35					
Висновок	101	1402963901						
Коефіцієнти стандартна помилка t-статистика P-Значення Нижні 95% Верхні 95% Нижні 95% Верхні 95%								
Y-перетин	10175,7603	3189,32215	3,190571489	0,001907863	3846,6543	16504,8663	3846,6543	16504,87
Змінна X 1	0,33970007	0,10211484	3,326647515	0,001238342	0,1370565	0,54234365	0,1370565	0,542344
Змінна X 2	0,17252772	0,10625491	1,623715284	0,107648961	-0,0383317	0,38338714	-0,0383317	0,383387
Змінна X 3	0,12518657	0,10245261	1,221897296	0,224677459	-0,0781273	0,32850044	-0,0781273	0,3285

Рис 3.19. Авторегресійна модель третього порядку для Playstation 5

Джерело: побудовано автором

ВИСНОВОК								
<i>Регресійна статистика</i>								
Множинний R	0,4934473							
R-квадрат	0,2434903							
Нормований R	0,2210197							
Стандартна по	3259,5809							
Спостереженн	105							
<i>Дисперсійний аналіз</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимість F</i>			
Регресія	3	3,45E+08	1,15E+08	10,83596	3,11342E-06			
Залишок	101	1,07E+09	10624868					
Висновок	104	1,42E+09						
<i>Коефіцієнти стандартна по статистичні значення Нижні 95% Верхні 95% Нижні 95% Верхні 95%</i>								
Y-перетин	25852,477	1319,241	19,59648	3,43E-36	23235,45848	28469,4962	23235,4585	28469,4962
Змінна X 1	-76,60439	107,2728	-0,71411	0,476808	-289,40483	136,196057	-289,40483	136,196057
Змінна X 2	3,2609708	2,34558	1,390262	0,167506	-1,39202926	7,91397096	-1,39202926	7,91397096
Змінна X 3	-0,020951	0,01455	-1,43994	0,152978	-0,04981333	0,00791206	-0,04981333	0,00791206

Рис 3.20. Поліноміальна регресія модель третього порядку для Playstation 5

Джерело: побудовано автором

ВИСНОВОК								
<i>Регресійна статистика</i>								
Множинний R	0,970048761							
R-квадрат	0,940994598							
Нормований R	0,939241963							
Стандартна по	822,775244							
Спостереження	105							
<i>Дисперсійний аналіз</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимість F</i>			
Регресія	3	1,09E+09	3,63E+08	536,9026	6,67416E-62			
Залишок	101	68372869	676959,1					
Висновок	104	1,16E+09						
<i>Коефіцієнти стандартна по статистичні значення Нижні 95% Верхні 95% Нижні 95% Верхні 95%</i>								
Y-перетин	14294,6922	332,9995	42,92707	1,13E-66	13634,11085	14955,27	13634,11	14955,27
Змінна X 1	-65,86026537	27,07754	-2,43228	0,016763	-119,5748199	-12,1457	-119,575	-12,1457
Змінна X 2	5,080111442	0,592065	8,58032	1,18E-13	3,905612817	6,25461	3,905613	6,25461
Змінна X 3	-0,03689609	0,003673	-10,0463	7,09E-17	-0,044181539	-0,02961	-0,04418	-0,02961

Рис 3.21. Авторегресійна модель третього порядку для Playstation 5

Джерело: побудовано автором

Після побудування моделей оцінимо за основними критеріями, а саме АІС, ВІС. А також по якості моделей. За всіма оцінками найбільш кращою моделлю є авторегресійна модель. Тому будемо прогноз саме по ній.

Результати прогнозу даних.

Таблиця 3.1

Історичні та прогнозовані дані на вартість iPad 2020

Дати	Вартість iPad 2020
20.03.2023	22923
27.03.2023	22561
03.04.2023	21300
10.04.2023	18848
17.04.2023	18714
24.04.2023	18837
01.05.2023	18922,79
08.05.2023	18982,33
15.05.2023	19032,67
22.05.2023	19079,73
29.05.2023	19125
05.06.2023	19168,82
12.06.2023	19211,26
19.06.2023	19252,37
26.06.2023	19292,2
03.07.2023	19330,77

Джерело: побудовано автором

Таблиця 3.2

Історичні та прогнозовані дані на вартість Playstation 5

Дати	Вартість Playstation 5
20.03.2023	26341
27.03.2023	25613
03.04.2023	25296
10.04.2023	29189
17.04.2023	31823
24.04.2023	35799
01.05.2023	31481,1
08.05.2023	31030,03
15.05.2023	30629,58
22.05.2023	29875,18
29.05.2023	29493,36
05.06.2023	29183,36
12.06.2023	28917,74
19.06.2023	28726,23
26.06.2023	28576,54
03.07.2023	28459,4

Джерело: побудовано автором

Результати авторегресійної моделі третього порядку показують, що прогнозовані ціни на iPad 2020 року постійно зростатимуть з 18 837 грн до 19 330,77 грн, тоді як ціни на Playstation 5 постійно знижуватимуться з 35 799 грн до 28 459,4 грн.

Ці прогнози ґрунтуються на історичних даних про ціни на iPad 2020 та Playstation 5, а також на припущенні, що поточні ціни на ці продукти можна спрогнозувати на основі трьох попередніх значень. Іншими словами, модель AR(3) фіксує послідовну кореляцію в даних часового ряду і використовує цю інформацію для створення прогнозів майбутніх цін.

Причини спостережуваних тенденцій у прогнозованих цінах можуть бути пов'язані з ринковими попитом та виробничими витратами.

Важливо зазначити, що модель AR(3) базується на історичних даних і припускає, що минулі тенденції збережуться в майбутньому. Однак можуть відбутися непередбачувані події або зміни ринкових умов, які можуть вплинути на фактичні ціни на iPad 2020 і Playstation 5, наприклад, випуск нових продуктів, зміни в уподобаннях споживачів або макроекономічні фактори.

ВИСНОВКИ

У цьому дослідженні створено теоретичне підґрунтя для виникнення та еволюції напівпровідникової промисловості. У дослідженні розглядаються фактори, що впливають на дану галузь, а також різні електронні пристрої, ціноутворення яких залежить від даної галузі. А також був виконаний аналіз впливу майнінгу на напівпровідникову промисловість та створений прогноз цін на електронні пристрої за допомогою регресійних моделей.

За останні три десятиліття напівпровідникова промисловість стала свідком значного технологічного прогресу, що супроводжувався збільшенням виробничих витрат і зниженням собівартості продукції.

Як наслідок, напівпровідникова промисловість переживає значне зростання та інновації у своїх численних секторах. Зростаючий попит на складну електроніку, цифровізацію та енергоефективність стимулює створення нових матеріалів, виробничого обладнання, інтегральних схем, рішень для пам'яті та зберігання даних, а також спеціалізованих додатків. Серед помітних тенденцій – перехід до менших технологічних вузлів, новітні технології пакування, високопродуктивні рішення для пам'яті та зростаюче значення спеціалізованих мікросхем для додатків штучного інтелекту та Інтернету речей, що йдуть за нафтою, нафтопродуктами та автомобілями.

Розмір ринку, а також потреба в передових технологіях і рішеннях у виробничому процесі для вирішення численних складних, але вузькоспеціалізованих завдань є факторами, що сприяють формуванню глобального напівпровідникового ланцюжка доданої вартості (ГЛС). Компанії з різних регіонів і країн, що беруть участь у цьому ланцюжку, є дуже взаємозалежними, виконуючи різноманітні ролі та функції відповідно до своєї спеціалізації та використовуючи свої порівняльні переваги.

Коливання цін на напівпровідники суттєво впливають на собівартість виробництва різних електронних продуктів, що потенційно може призвести до зростання роздрібних цін, зниження якості продукції або збільшення термінів

виготовлення нових продуктів. Ступінь цього впливу залежить від конкретного продукту та його залежності від напівпровідників.

Глобальний дефіцит напівпровідникових мікросхем зумовлений багатьма факторами, основним з яких є триваюча пандемія COVID-19. Перехід до віддаленої роботи та зростаюча залежність від електроніки спричинили сплеск попиту на персональні комп'ютери, мережеву периферію та інші електронні пристрої, що призвело до зростання цін. Майнінг, особливо у зв'язку з видобутком криптовалют, суттєво впливає на ринок напівпровідників різними способами. Майнінг криптовалют залежить від спеціалізованого обладнання та обчислювальних потужностей для розв'язання складних математичних задач, що згодом генерують нові монети та перевіряють транзакції.

Війна між Україною та Росією помітно вплинула на світовий ринок напівпровідників, посиливши існуючі проблеми з ланцюжками поставок, посиливши регіональну нестабільність та сприяючи ширшій економічній невизначеності.

Щоб продемонструвати вплив цін на криптовалюту на ринок напівпровідників за допомогою регресійної моделі, було використано векторну авторегресійну модель (VAR), яка підходить для дослідження взаємозв'язків між кількома змінними часових рядів. Математична цінність VAR-моделі полягає в її здатності оцінювати складні взаємозв'язки між численними змінними часових рядів, пропонуючи надійну основу для аналізу їх взаємозалежності та дослідження потенційних причинно-наслідкових зв'язків.

Обрані компанії - NVIDIA Corporation (NVDA), Intel Corporation (INTC), QUALCOMM Incorporated (QCOM) та Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited (TSMC34.SA) - підходять для аналізу, оскільки вони є основними гравцями в напівпровідниковій галузі, а ціни їхніх акцій відображають ринкові тенденції та коливання. Результати тесту Грейнджера показують, що нульова гіпотеза була відхилена для всіх наборів даних, що

свідчить про наявність причинно-наслідкових зв'язків між цінами акцій цих компаній і цінами криптовалют.

У наступному аналізі, також із застосуванням VAR-моделі, було досліджено зв'язок між динамікою цін на iPad 2020 від Apple і Playstation 5 від Sony та ціною біткоїна. Хоча самі продукти (iPad 2020 і Playstation 5) не можна майнити, їхні ціни могли бути опосередковано пов'язані з напівпровідниками, необхідними компонентами для обох пристроїв. Напівпровідники пов'язані з ринком криптовалют через їхнє використання у майнінгу. Згідно з результатами тестування, тест причинності Грейнджера на основі VAR-моделі не виявив причинно-наслідкових зв'язків між зміною ціни біткоїна, ціною iPad 2020 та ціною Playstation 5, що свідчить про те, що зміни цін на ці товари відбуваються незалежно один від одного. Минулі значення однієї змінної не дають корисної інформації для прогнозування поточних значень інших змінних.

Для прогнозування цін на електронні пристрої було використано раніше згадані дані, а саме ціни в гривнях на iPad 2020 року та Playstation 5 з 26 квітня 2021 року по 25 квітня 2023 року. Ми застосуємо поліноміальну регресійну модель третього порядку, також відому як авторегресійна модель третього порядку (AR(3)). Результатами авторегресійної моделі третього порядку показують, що прогнозовані ціни на iPad 2020 року послідовно зростатимуть з 18 837 грн до 19 330,77 грн, тоді як ціни на Playstation 5 послідовно знижуватимуться з 35 799 грн до 28 459,4 грн. Ці прогнози ґрунтуються на історичних даних про ціни на iPad 2020 і Playstation 5.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Appleyard M. Managing the development and introduction of new manufacturing processes in the global semiconductor industry / M. Appleyard, N. Hatch, D.C. Mowery // The Nature and Dynamics of Organizational Capabilities / G. Dosi, R. Nelson, S. Winter. - Oxford: Oxford University Press, 2000.
2. Bajarin T. How the semiconductor shortage could be solved [Електронний ресурс] / Т. Bajarin // Creative Strategies. - 2021. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.creativestrategies.com/how-the-semiconductor-shortage-could-be-solved/>.
3. Braun E. Revolution in Minature: The history and impact of semiconductor electronics / E. Braun, S. MacDonald. - Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
4. Bresnahan T.F. General Purpose Technologies: Engines of Growth? // Journal of Econometrics. - 1995. - С. 83-108 ст.
5. Burkacky O. Coping with the auto-semiconductor shortage: Strategies for success [Електронний ресурс] / О. Burkacky, S. Lingemann, К. Pototzky // McKinsey & Company. - 2021. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/coping-with-the-auto-semiconductor-shortage-strategies-for-success>.
6. Chesbrough H.W. When is Virtual Virtuous? Organizing for Innovation // Harvard Business Review. - 1996. - С. 65-73 ст.
7. Collaborative robots market size, share & COVID-19 impact analysis, 2020–2027 [Електронний ресурс] // Fortune Business Insights. – 2021 - Режим доступу до ресурсу: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/collaborative-robots-market-101692>.
8. Deichmann J. Semiconductor shortage: How the automotive industry can succeed [Електронний ресурс] / J. Deichmann, P. Pfingstag, J. Werra //

- McKinsey & Company. – 2022. – Режим доступа до ресурсу:
<https://www.mckinsey.com/industries/semiconductors/our-insights/semiconductor-shortage-how-the-automotive-industry-can-succeed>.
9. EBAON. UMC introduces Remote Layout Viewer // Electronic Business Asia Online News Forward Concepts - 2001.- DSP Market Bulletin, Forward Concepts.
 10. Fajgelbaum P. THE ECONOMIC IMPACTS OF THE US-CHINA TRADE WAR [Электронный ресурс] / P. Fajgelbaum, A. Khandelwal // NATIONAL BUREAU OF ECONOMIC RESEARCH. – 2021. – Режим доступа до ресурсу:
https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29315/w29315.pdf.
 11. Fraone G. Chatting about chips // Electronic Business. - 2000.
 12. Frederik K. The Battle Over Semiconductors Is Endangering Taiwan [Электронный ресурс] / Kelter Frederik // FP ANALYTICS. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://foreignpolicy.com/2022/11/09/tsmc-taiwan-battle-semiconductors-water-resource-scarcity/>.
 13. Gelsinger P. Addressing the global semiconductor shortage [Электронный ресурс] / P. Gelsinger // Intel Corporation. - 2021. - Режим доступа до ресурсу: <https://blogs.intel.com/policy/2021/03/23/addressing-the-global-semiconductor-shortage/>.
 14. Global SCARA robots market 2019–2028. 198 p. [Электронный ресурс] // Triton Market Research. – 2020 - Режим доступа до ресурсу:
<https://www.tritonmarketresearch.com/reports/scara-robots-market>.
 15. Hatch N.W. Process Innovation and Learning by Doing in Semiconductor Manufacturing // Management Science. - 1998. - Vol. 44(1). - С. 1461-1477
 16. Hatch, N. W., & Mowery, D. C. E-Business and the Semiconductor Industry Value Chain: Implications for Vertical Specialization and Integrated Semiconductor Manufacturers [Электронный ресурс] // ResearchGate. – 2002. Режим доступа до ресурсу:

- https://www.researchgate.net/publication/5021332_E-Business_and_the_Semiconductor_Industry_Value_Chain_Implications_for_Vertical_Specialization_and_Integrated_Semiconductor_Manufacturers.
17. Hotline [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа до ресурсу: <https://hotline.ua/ua/computer-videokarty/msi-geforce-rtx-2060-ventus-6g-oc/?tab=about&chart=true>.
18. IFR Press Conference, 24th September 2020, Frankfurt [Электронный ресурс] // International Federation of Robotics. - Режим доступа до ресурсу: https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.
19. Industrial robotics market – growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2021–2026) [Электронный ресурс] // Research and Markets. - 2021. – 126 ст. - Режим доступа до ресурсу: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4756868/industrial-robotics-market-growth-trends>.
20. Investing.com. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://investing.com/>.
21. E-Katalog. [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://ek.ua/ua>.
22. John P. Slipping Graphics Chip Prices Could Signal Coming End of Semiconductor Shortages [Электронный ресурс] / P. John, J. Mello // ECT News Network. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.technewsworld.com/story/slipping-graphics-chip-prices-could-signal-coming-end-of-semiconductor-shortages-176696.html>.
23. Khan S.M. The Semiconductor Supply Chain: Assessing National Competitiveness [Электронный ресурс] / S.M. Khan, A. Mann, D. Peterson // Center for Security and Emerging Technology. - 2021. - Режим доступа до ресурсу: <https://cset.georgetown.edu/wp-content/uploads/The-Semiconductor-Supply-Chain-Issue-Brief.pdf>.

24. Kleinhans J.-P. The global semiconductor value chain [Электронный ресурс] / J.-P. Kleinhans, N. Baisakova // The Stiftung Neue Verantwortung. -2020.- Режим доступа до ресурсу: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/the_global_semiconductor_value_chain.pdf.
25. Langlois R.N. Strategy and Circumstance: The Response of American Firms to Japanese Competition in Semiconductors, 1980-1995 // Strategic Management Journal. - 2000. - Vol. 21(10/11). - С. 1163-1173 ст.
26. Leachman R.C. Globalization of Semiconductor Manufacturing - U.C. Berkeley Competitive Semiconductor Manufacturing Research Program Working Paper / R.C. Leachman, C.H. Leachman.
27. Linden G. System-on-a-Chip Integration in the Semiconductor Industry: Industry Structure and Firm Strategy - R.H. Smith School of Business Working Paper / G. Linden, D. Somaya. - College Park, MD, 2001. - С. 1-46 ст.
28. Macher J.T. Vertical Disintegration and Process Innovation in Semiconductor Manufacturing: Foundries vs. Integrated Producers - Georgetown University Working Paper / J.T. Macher. - Washington, DC, 2001. - С. 1-38 ст.
29. Macher J.T. Reversal of Fortune? The Recovery of the U.S. Semiconductor Industry / J.T. Macher, D.C. Mowery, D.A. Hodges // California Management Review. - 1998. - Vol. 41(1). - С. 107-136 ст.
30. Macher J. T. E-Business and the Semiconductor Industry Value Chain: Implications for Vertical Specialization and Integrated Semiconductor Manufacturers [Электронный ресурс] / J. T. Macher, D. C. Mowery, T. S. Simcoe // RePEc. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/5021332_E-Business_and_the_Semiconductor_Industry_Value_Chain_Implications_for_Vertical_Specialization_and_Integrated_Semiconductor_Manufacturers.
31. McClean B. IC Foundries: A Driving Force in the IC Industry // Semiconductor FabTech. - 2001. - Vol. 12. - С. 17-19 ст.

32. Mehra P. Exchanges in the New Economy: Transforming the World of Work // Perspectives on Business Innovation. - Cap Gemini Ernst & Young Center for Business Innovation. - 2001.. - С. 7-15 ст.
33. Mowery D.C. The History and Evolution of the Internet (forthcoming) // Technological Innovation and Economic Performance / B. Steil, R.R. Nelson, D. Victor. - Princeton: Princeton University Press.
34. Norris R. The Virtual Fab: A Foundry's Ultimate Goal // Fabless Forum. - 1997. - Vol. 4(2). - С. 18-19 сн.
35. Qin Y. The analysis of whole industrial chain of Samsung Semiconductor [Электронный ресурс] / Yueke Qin // BCP Business & Management. – 2022. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/366333005> The analysis of whole industrial chain of Samsung Semiconductor.
36. Research and Markets. Global semiconductor shortage: Impact analysis and growth opportunities [Электронный ресурс] / Research and Markets. - 2021. - Режим доступа до ресурсу: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5362207/global-semiconductor-shortage-impact-analysis-and>.
37. Roland Berger. The semiconductor crisis: Impact and outlook [Электронный ресурс] / Roland Berger. - 2021. - Режим доступа до ресурсу: <https://www.rolandberger.com/en/Point-of-View/The-semiconductor-crisis-impact-and-outlook.html>.
38. Semiconductor equipment revenue worldwide from 2017 to 2019, by supplier [Электронный ресурс] // Statista. – 2021 - Режим доступа до ресурсу: <https://www.statista.com/statistics/532224/worldwide-semiconductor-wafer-level-manufacturing-equipment-vendor-revenue/>.
39. Semico Research. Navigating the semiconductor shortage [Электронный ресурс] / Semico Research. - 2021. - Режим доступа до ресурсу:

- <https://www.semico.com/research-publications/navigating-semiconductor-shortage>.
40. Shuaib M. A Novel Optimization for GPU Mining Using Overclocking and Undervolting / M. Shuaib, S. Badotra, M. K. Irfan. // Sustainability. – 2022. – С. 13 ст.
41. State of The U.S. Semiconductor Industry [Електронний ресурс]// Semiconductor Industry Association. - 2021. - Режим доступу до ресурсу: <https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/09/2021-SIA-State-of-the-Industry-Report.pdf>.
42. Statista. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.statista.com/>.
43. Varas A. Strengthening The Global Semiconductor Supply Chain in an Uncertain Era [Електронний ресурс]/ A. Varas, R. Varadarajan, J. Goodrich, F. Yinug // Boston Consulting Group; Semiconductor Industry Association. - 2021. - Режим доступу до ресурсу: https://www.semiconductors.org/wp-content/uploads/2021/05/BCG-x-SIA-Strengthening-the-Global-Semiconductor-Value-Chain-April-2021_1.pdf.
44. Бідюк П.І. Принципи прогнозування часових рядів / Бідюк П.І., Шехтер Д.В., Клименко О.М. // Наукові вісті НТУУ „КПІ”. – 2005. – № 5. – С. 14-2 ст.
45. Зара А. Є. Світова автомобілебудівна індустрія в умовах дефіцитного становища напівпровідникової продукції: основні чинники та перспективи / А. Є. Зара. // Підприємництво та інновації. – 2021. – С. 4 ст.
46. Надводнюк О. В. Прогнозування та аналіз ринку графічних процесорів в умовах кризи напівпровідникової промисловості за допомогою регресійної моделі/ О. В. Надводнюк // Збірник наукових праць «Шевченківська весна» : зб. ст. молодих учених та студентів. – Київ : КНУ імені Тараса Шевченка, 2023. – 68 с.

- 47.Ставицький А.В. Навчально-методичний комплекс з курсів "Прогнозування" та "Фінансове прогнозування". - К., 2006. - 107 ст.
- 48.Черняк О.І. Теорія ймовірностей та математична статистика. Збірник задач: [навч. посібник] / О.І. Черняк, О.М. Обушна, А.В. Ставицький. – 2-ге вид. – К.: Знання, КОО, 2002. – 199 с.
- 49.Ильина С. А. (2009). Рынок полупроводников: глобальная цепочка создания стоимости и динамика в условиях кризиса [Электронный ресурс] // КиберЛенинка - 2022. - Режим доступа до ресурсу: <https://cyberleninka.ru/article/n/rynok-poluprovodnikov-globalnaya-tsepochka-sozdaniya-stoimosti-i-dinamika-v-usloviyah-krizisa>.

ДОДАТКИ

Додаток А

Реалізація моделі VAR за допомогою мови програмування Python на прикладі NVDA/BTC,ETH

```
import numpy as np
import pandas as pd
from statsmodels.tsa.vector_ar.var_model import VAR
from statsmodels.tsa.stattools import grangercausalitytests, adfuller
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from google.colab import files
```

```
df = pd.read_csv('VAR.csv', sep=',')
df = df.set_index(['Date'])
df.drop(['INTC', 'QCOM', 'TSMC34.SA'], axis = 1, inplace = True)
df = df.sort_values('Date')
df.head()
```

```
def adfuller_test(series, signif=0.05, name='', verbose=False):
    r = adfuller(series, autolag='AIC')
    output = {'test_statistic':round(r[0], 4), 'pvalue':round(r[1], 4),
'n_lags':round(r[2], 4), 'n_obs':r[3]}
    p_value = output['pvalue']
    def adjust(val, length= 6): return str(val).ljust(length)
    print(f'Augmented Dickey-Fuller Test on "{name}"', "\n  ", '-'*47)
    print(f'Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.')
    print(f'Significance Level = {signif}')
    print(f'Test Statistic = {output["test_statistic"]}')
    print(f'No. Lags Chosen = {output["n_lags"]}')

    for key,val in r[4].items():
        print(f' Critical value {adjust(key)} = {round(val, 3)}')
        if p_value <= signif:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Rejecting Null Hypothesis.")
            print(f" => Series is Stationary.")
        else:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Weak evidence to reject the Null
Hypothesis.")
            print(f" => Series is Non-Stationary.")

# ADF test on each column
for name, column in df.iteritems():
    adfuller_test(column, name = column.name)
```

Продовження додатку А

```
nobs = int(15) # number of future steps to predict
# differenced train data
data_diff = df.diff()
data_diff.dropna(inplace=True)
print('Glimpse of differenced data:')
print(data_diff.head())
# plotting differenced data
data_diff.plot(figsize=(10,6), linewidth=5, fontsize=20)
```

```
# ADF Test on each column
for name, column in data_diff.iteritems():
    adfuller_test(column, name=column.name)
```

```
# Create the VAR model using the stationary data
var_model = VAR(data_diff)

# Fit the model using the optimal lag order
maxlags = 15
results = var_model.fit(maxlags=maxlags, ic="aic")

# Print the VAR model summary
print(results.summary())
```

```
# Perform Granger causality tests
max_lag_granger = 4
granger_tests = results.test_causality("NVDA", ["BTC", "ETH"], kind="f")
print(granger_tests.summary())
```

Реалізація моделі VAR за допомогою мови програмування Python на прикладі AppleiPad /BTC

```
df = pd.read_csv('База_VAR.csv', sep=',')
df = df.set_index(['Date'])
df.drop(['AppleiPad'], axis = 1, inplace = True)
df = df.sort_values('Date')
df.head()
```

```
def adfuller_test(series, signif=0.05, name='', verbose=False):
    r = adfuller(series, autolag='AIC')
    output = {'test_statistic':round(r[0], 4), 'pvalue':round(r[1], 4),
'n_lags':round(r[2], 4), 'n_obs':r[3]}
    p_value = output['pvalue']
    def adjust(val, length= 6): return str(val).ljust(length)
    print(f'Augmented Dickey-Fuller Test on "{name}"', "\n  ", '-'*47)
    print(f'Null Hypothesis: Data has unit root. Non-Stationary.')
    print(f'Significance Level = {signif}')
    print(f'Test Statistic = {output["test_statistic"]}')
    print(f'No. Lags Chosen = {output["n_lags"]}')

    for key,val in r[4].items():
        print(f' Critical value {adjust(key)} = {round(val, 3)}')
        if p_value <= signif:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Rejecting Null Hypothesis.")
            print(f" => Series is Stationary.")
        else:
            print(f" => P-Value = {p_value}. Weak evidence to reject the Null
Hypothesis.")
            print(f" => Series is Non-Stationary.")

# ADF test on each column
for name, column in df.iteritems():
    adfuller_test(column, name = column.name)
```

Продовження додатку Б

```
nobs = int(15) # number of future steps to predict
# differenced train data
data_diff = df.diff()
data_diff.dropna(inplace=True)
print('Glimpse of differenced data:')
print(data_diff.head())
# plotting differenced data
data_diff.plot(figsize=(10,6), linewidth=5, fontsize=20)

# ADF Test on each column
for name, column in data_diff.iteritems():
    adfuller_test(column, name=column.name)

# Create the VAR model using the stationary data
var_model = VAR(data_diff)

# Fit the model using the optimal lag order
maxlags = 15
results = var_model.fit(maxlags=maxlags, ic="aic")

# Print the VAR model summary
print(results.summary())

# Perform Granger causality tests
max_lag_granger = 4
granger_tests = results.test_causality("AppleiPad", "BTC", kind="f")
print(granger_tests.summary())
```