МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

«ТЕОРІЯ НУКЛІАЦІЇ І Ф'ЮЧЕРСНА ОЦІНКА ПРОДАЖУ ТОВАРУ»

Виконала : ст. 2 курсу, групи НФ-61
Шипіцина В.Д.
Спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Освітня програма:
Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
Керівник: доц. Марущенко І.М.
Рецензент:

Харків - 2021 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр

Спеціальність 105 прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Кулик О.П.
підпис ініціали, прізвище

"____"_____2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

_____Шипіцина Валерія Денисівна_____

1. Тема роботи «ТЕОРІЯ НУКЛІАЦІЇ І Ф'ЮЧЕРСНА ОЦІНКА ПРОДАЖУ ТОВАРУ»

керівник роботи Марущенко Ілля Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент

затверджені наказом по університету від "__" _____ 20__ року №_____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Перелік питань, які потрібно розробити: Організація та проведення аналізу існуючих методів розрахунку попиту товару за допомогою економічної фізики, обробка отриманих результатів та формулювання висновків щодо існуючих методів, тобто визначення рівня практичної застосовності аналізованих методів до реального життя. Провести опис переваг та недоліків таких методів. Адаптація фізичної моделі нуклеації до ринкових відносин. Формулювання кінетичного рівняння для опису ф'ючерсного продажу.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вивчення науково-технічної літератури.
2	Організація та проведення аналізу існуючих методів розрахунку попиту товару за допомогою економічної фізики і обробка отриманих результатів.
3	Формулювання висновків щодо існуючих методів.
4	Адаптація фізичної моделі нуклеації до ринкових відносин.
5	Формулювання кінетичного рівняння для опису ф'ючерсного продажу

5. Дата видачі завдання_____

Студент _____ В. Д. Шипіцина

Керівник роботи _____ І.М. Марущенко

Реферат

Шипіцина Валерія Денисівна «ТЕОРІЯ НУКЛІАЦІЇ І Ф'ЮЧЕРСНА ОЦІНКА ПРОДАЖУ ТОВАРУ» (випускна робота магістру), - Харків: ХНУ. імені В.Н. Каразіна, 2021.- 47 с.

Робота складається з вступу, трьох розділів, висновків; містить 4 рисунки, список використаних джерел з 29 найменуваннями.

Організовано та проведенно аналіз існуючих методів розрахунку попиту товару (ф'ючерсів) за допомогою економічної фізики, оброблено отримані результати та сформулювано висновки щодо існуючих методів, тобто визначення рівня практичної застосовності аналізованих методів до реального життя. Проведено опис переваг та недоліків таких методів. Адаптовано фізичну модель нуклеації до ринкових відносин. Сформулювала кінетичне рівняння для опису ф'ючерсного продажу.

Ключові слова: теорія нукліації, ф'ючерсна оцінка товару, економфізика, Метод Хольта-Вінтерса, кінетичне рівняння

Abstract

Shipitsyna Valeria Denysivna "THEORY OF NUCLATION AND FUTURE EVALUATION OF SALE OF GOODS" (master's thesis), - Kharkiv: KhNU. named after VN Karazina, 2021.- 47 p.

The work consists of an introduction, three sections, conclusions; contains 4 figures, a list of used sources with 29 names.

The analysis of existing methods of calculating demand for commodities (futures) using economic physics is organized and processed, the results are processed and conclusions are formulated on existing methods, ie determining the level of practical applicability of the analyzed methods to real life. The advantages and disadvantages of such methods are described. The physical model of nucleation has been adapted to market relations. Formulated a kinetic equation to describe futures sales.

Keywords: nucleation theory, commodity futures valuation, econophysics, Holt-Winters method, kinetic equation

Зміст

Вступ..... 7
РОЗДІЛ І: Аналіз останніх досягнень та публікації за темою.....9
РОЗДІЛ ІІ: Метод Хольта-Вінтерса 19
РОЗДІЛ ІІІ: Теорія нуклеації 31
Висновки 42
Список використаних джерел 44

Вступ

Неспроможність існуючих підходів економічної теорії в передбаченні та поясненні розвитку реальної економіки за останні десятиліття [1, 2] призвело до формування нового альтернативного наукового напрямку, що отримав назву еконофізика (у літературі також використовується термі економічна фізика).

Термін еконофізика запропонував у 1995 р. Юджин Стенлі для загальної назви дослідницьких робіт, у яких методи статистичної фізики використовувалися для аналізу поведінки фінансових ринків [3].

В даний час еконофізика охоплює ряд підходів, які застосовують методологію фізики до дослідження економічних явищ. Основними з них є такі [4]:

- еволюційна економіка, в рамках якої економіка розглядається не як статична, а як система, що розвивається;

- математичне моделювання (на основі теорії динамічних систем) як макроекономічних, так і мікроекономічних процесів;

- фізико-математичний аналіз тимчасових рядів біржових активів та вивчення їх властивостей.

Предметом дослідження робіт з еконофізики насамперед виступає природа явища, його властивості, закони – досліджуються фундаментальні характеристики процесів.

Значне збільшення кількості наукових статей, монографій, конференцій у цій сфері за останні кілька років демонструє стрімко зростаючий інтерес до еконофізики [1 - 11, 13, 15]. Починаючи з 2002 р. роботи з даної тематики регулярно публікуються в таких визначних виданнях як Reviews of Modern

Physics, Physical Review E, Physical Review Letters та інші. Курси з єконофізики включені до програми найпрестижніших університетів по всьому світу, а відповідні секції стали невід'ємною частиною міжнародних та національних конференцій: наприклад ESHIA (Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents), AKSOE (Arbeitskreis Physik Sozio-Okonomischer Systeme) та ін. [5].

Однак слід зазначити, що сучасна єконофізика знаходиться на стадії розвитку. Ще недостатньо розроблені теоретичні положення та методи фізичного опису економічних явищ у макро- та мікроекономіці, відсутні детальні рекомендації про шляхи та способи прогнозування економічних подій, а також немає такої єдності думок при зіставленні економічних категорій з аналогами, які у фізиці.

Метою даної роботи є організація та проведення аналізу існуючих методів розрахунку попиту товару (ф'ючерсів) за допомогою економічної фізики, обробка отриманих результатів та формулювання висновків щодо існуючих методів, тобто визначення рівня практичної застосовності аналізованих методів до реального життя. Провести опис переваг та недоліків таких методів. Адаптація фізичної моделі нуклеації до ринкових відносин. Формулювання кінетичного рівняння для опису ф'ючерсного продажу.

Матеріали і методи досліджень. Аналіз існуючих методів розрахунку попиту товару (ф'ючерсів) за допомогою економічної фізики проводились за допомогою аналізу наукових робіт в даної галузі фізики і економіки. Так як дана область науки знаходиться лише в стані розвитку і нараховує не так багато наукових робіт, то у ході виконання дипломної роботи була змога проаналізувати значну їх частину.

1. Аналіз останніх досягнень та публікацій, в яких розпочато вирішення цієї проблеми і на які спирається автор. Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Одним із напрямків економфізичних досліджень є математичне моделювання процесів розвитку та еволюції, яке може привести до побудови економічних систем за точними принципами природничих наук. Особливість цього напряму полягає в тому, що фізичні та економічні поняття не зіставляються, а в економіці використовуються методи математичного моделювання, що були розроблені для моделювання фізичних процесів.

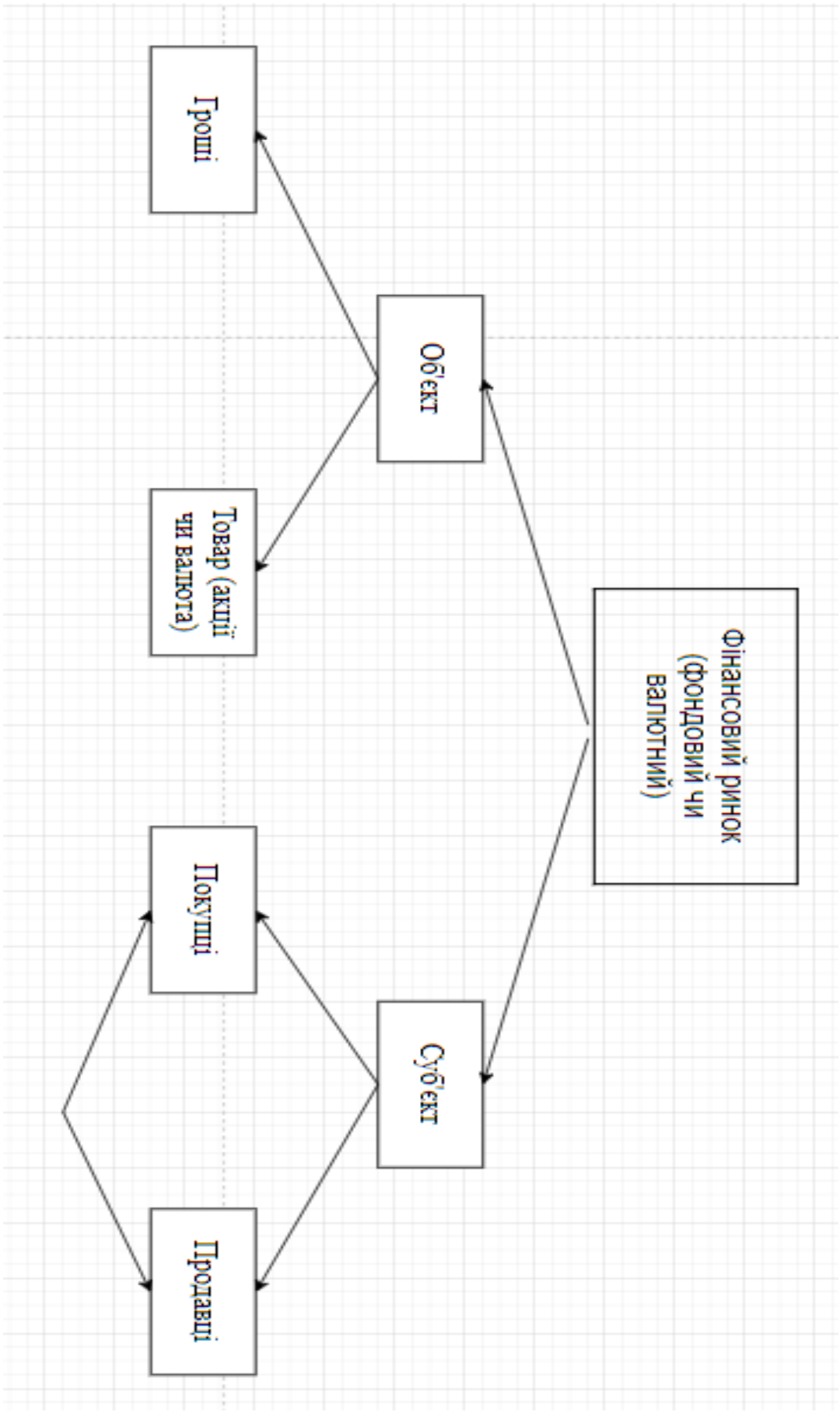
Академік РАН В.П. Маслов у своїй роботі [6] припустив, що закони фінансових ринків підпорядковуються лінійної чи нелінійної математиці. У певні періоди часу відбуваються «фазові переходи» від однієї арифметики до іншої. Під лінійною арифметикою автор розуміє класичну теорію ймовірностей. Задавшись питанням оцінки математичного очікування значення величини, В.П. Маслов наводить докази про те, що класичний розрахунок середньої величини не відображає реального результату явища, оскільки моральна втрата від програшу може незрівняно перевищувати задоволення від виграшу. Вводяться додаткові обмеження, на підставі яких вибудовується «нелінійна арифметика», згідно з якою математичне очікування отримується із інших формул, які суттєво відрізняються від класичного математичного очікування.

Так, згідно з дослідженнями В.П. Маслова, виявилося, що під час виконання кількох природних аксіом для доходів існує єдине сімейство нелінійних додавань, що безпосередньо переходить в аксіому Гіббса для квантової статистики (напівкільце Гіббса-Маслова). Крім того, грошові купюри підпорядковуються квантовій статистиці Бозе-Ейнштейна, тому цілий ряд законів квантової рідини виявився близьким до законів, виведених В.П. Масловим з пред'явленої їм аксіоматики.

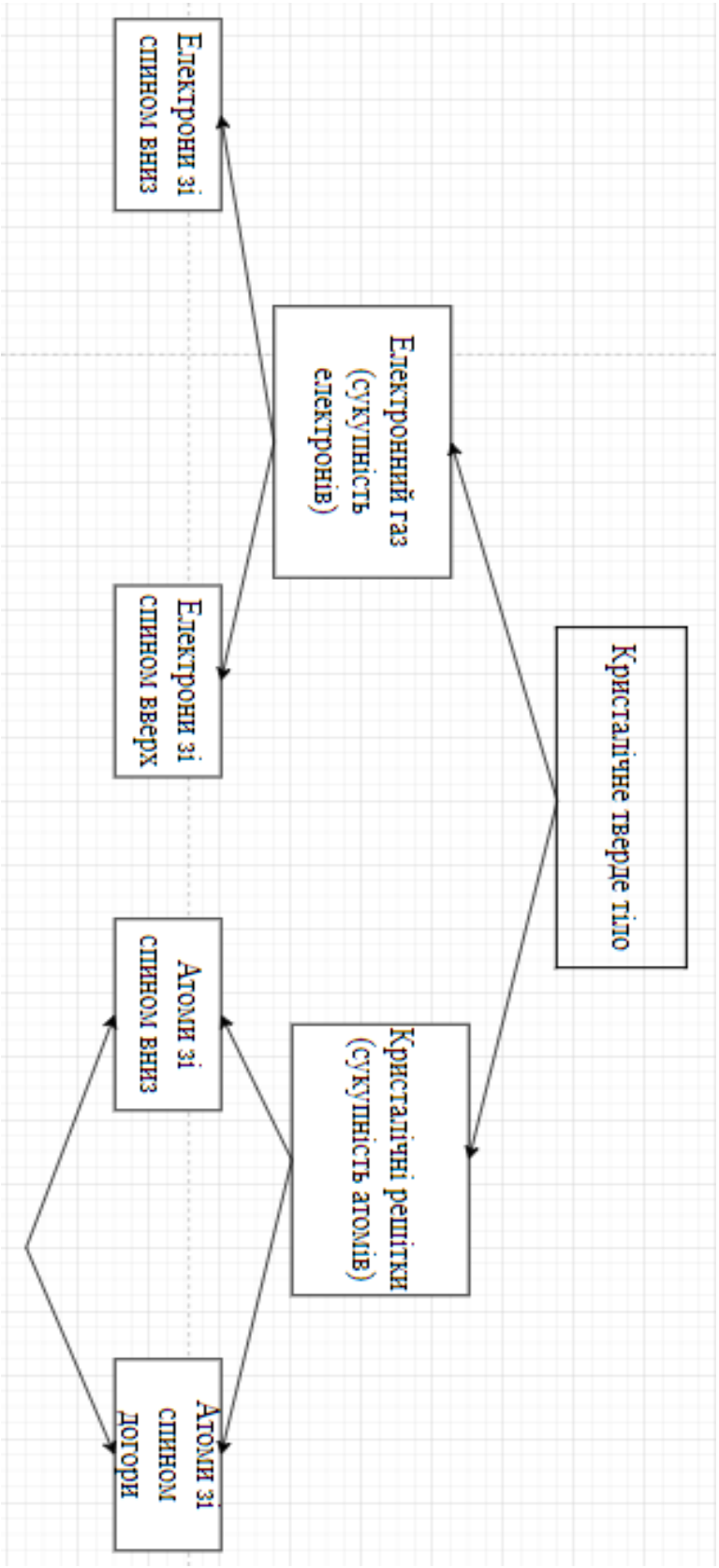
За допомогою квантової теорії рідини (а саме ефекту фонтанування) автор зміг пояснити відомі ефекти в економіці (дефолт, пробой курсу акцій), які не може за прогнозувати сучасна економічна теорія.

В.П. Маслов у своїх роботах приділяє велику увагу законам, що діють в економіці та фізиці. Однак це, швидше, не зіставлення явищ, а перевірка параметрів явища на відповідність певної моделі. Наприклад, в роботі [7] пов'язуються поняття ентропії, температури, вільної енергії та Гамільтона в задачах теорії ймовірності для тотожних об'єктів таким чином, щоб існуючі методи квантової статистики могли бути задіяні у вирішенні фінансових завдань.

Дещо відмінний підхід використовували Є.В. Шипіцин та В.В. Попків у [8, 9]. Вони успішно зіставили структуру та закономірності кристалічного твердого тіла (типовий фізичний об'єкт) та фінансового ринку (типовий економічний об'єкт): структури динамічних мереж ізоморфні одна одній (див. рис. 1), електрони рухаються кристалічним твердим тілом шляхом перескоків з одного атома на інший, а гроші та товари переміщуються по фінансовому ринку через переходи від одного покупця або продавця до іншого.


Фінансовий ринок (фондовий чи валютний)
Об'єкт
Гроші
Товар (акції чи валюта)
Суб'єкт
Покупці
Продавці

А)



Б)

Рис. 1 - Ізоморфні структури динамічних мереж: а) фінансовий ринок (економічний об'єкт); 6) кристалічне тверде тіло (фізичний об'єкт) [10]

Кристалічна решітка твердого тіла є статичною мережею, а додавання до неї електронного газу «збуджує» цю мережу та перетворює її із статичної в динамічну (що характеризується процесом, що безперервно протікає у її структурі).

Основними фундаментальними теоретичними моделями твердої фізики тіла є *t-J-A* модель [11], в рамках якої передбачається, що переміщення електронів з одного атома на інший відбувається стрибками (у будь-якій фіксований момент часу всі наявні в аналізованому кристалічному твердому тілі електрони знаходяться на атомах, а не в міжатомному просторі), причому на кожному атомі існує лише один електронний енергетичний рівень, на якому може бути не більше одного електрона.

В рамках t-J-A моделі можливі лише три різні електронні стани атома: $|0\rangle$ - відсутній електрон; $|\downarrow\rangle$ - присутній електрон зі спином "вниз"; $|\uparrow\rangle$ – є електрон зі спином «вгору».

Виходячи з ізоморфізму динамічних мереж фінансового ринку та кристалічного твердого тіла, електрони зі спинами «вниз» та «вгору» можна ототожнити відповідно з грошима та товаром (під яким розуміються акції або валюта), а атоми зі спином «вниз» і «вгору» — з покупцями та продавцями. Таким чином, враховуючи запропоновані ототожнення, покупець — це той суб'єкт фінансового ринку, що має гроші, а продавець - той, що має товар. При цьому одночасна наявність грошей та товару в одного суб'єкта не допускається. Атом без електронів (суб'єкт фінансового ринку без грошей та товару) — можна вважати статичним елементом динамічної мережі (або пасивним учасником ринку), а атоми з одним електроном зі спином «вниз» або «вгору» (суб'єктів фінансового ринку з грошима або товаром - покупців і продавців, відповідно) – вважати динамічними елементами мережі (або активними учасниками ринку). Збільшення кількості електронів у аналізованому кристалічному твердому тілі (приплив на фінансовий ринок

грошей та товару) призводить до «активізації» пасивних учасників та, як наслідок, зменшення числа статичних елементів динамічної мережі. Модель t-J-A характеризується трьома основними фізичними параметрами, кожному з яких можна дати економічну інтерпретацію:

а) обмінна енергія J - є характеристикою процесу обміну електронами зі спином «вниз» та «вгору» між двома атомами; чим більше величина J, тим легше і швидше відбувається такий обмін. З точки зору економіки параметр J це ліквідність;

б) ширина зони розкиду енергій - є характеристикою безладу кристалічної решітки. Аналогом даного поняття в економіці є волатильність, що описує ступінь зміни ринкової ціни товару;

в) електронна концентрація n (змінюється в межах від 0 до 1) - є відношенням числа електронів у твердому тілі (N_e) до числа атомів у ньому (N): $n = \frac{N_e}{N}$

З економічної точки зору параметру n можна дати подвійне взаємодоповнювальне тлумачення. З одного боку, величина n представляє собою відношення сукупної кількості ресурсів фінансового ринку (сумарного числа грошей і товару, що обертаються на ньому) до всіх учасників цього ринку (як активних, так і пасивних), що дозволяє інтерпретувати її як концентрацію ресурсів. З іншого боку, оскільки в рамках $t - J - A$ моделі електрони можуть бути лише на атомах, а величина n є концентрацією атомів з електронами, то параметр n показує яка частина елементів динамічної мережі втягнута у взаємодію один з одним.

У процесі подальших зіставлень Є.В. Шипіцин та В.В. Попків показали добре узгоджені результати зі спекулятивним характером фінансового ринку.

Різні аналогії між явищами та величинами економіки та фізики описуються й у інших роботах [12, 13 — 15], проте І.Г. Поспєлов у [16] зазначає, що із спільності підходів не завжди випливає якісна подібність поведінки моделей фізичних та економічних систем. Зокрема, у фізиці, як відомо, екстенсивними (адитивними) величинами є маси різних речовин, різні типи зарядів, всі види енергії, ентропія, імпульс, момент імпульсу та ін. Їх зміна описується рівняннями перенесення (наприклад реакції дифузії).

В економіці екстенсивними величинами є запаси матеріальних благ та фінансових інструментів. Їх рух описується рівняннями балансу, але відбувається він не у просторі, а на множині економічних агентів.

У фізиці найбільш важливі екстенсивні величини, що зберігаються. Для сучасних фінансових систем формально зберігається алгебраїчна сума запасів будь-якого фінансового інструменту. Сукупне зростання оборотів інструментів відбувається виключно за рахунок так званої кредитної емісії - одночасного зростання активів (позитивних запасів) та пасивів (негативних запасів). Внаслідок цього формальні закони збереження фінансових інструментів виявляються менш корисними, ніж фізичні закони збереження. Наприклад, наївно очікувати, що у випадку краху одного ринку гроші з нього перейдуть до іншого. При краху пасиви взаємно знищуються з активами та обороти падають на всіх ринках.

Для фізичних систем характерні трансляційні та обертальні симетрії, а економіки — масштабні. Найкращим доказом цього служить той факт, що зміни у фізичному світі ми зазвичай характеризуємо швидкостями, а зміни економічних показників – темпами (логарифмічними похідними за часом). Це означає, що у першому випадку і абсолютні масштаби величин істотні, тоді як у другому — навпаки. У наслідок цього, у фізиці найкращими рішеннями є рівномірні рухи з постійними швидкостями, а в економіці - автомодельні рішення, в яких екстенсивні величини зростають по експоненті, тобто із

постійними темпами. Переважна більшість висновків економічної теорії отримано порівняльним аналізом автомодельних рішень для найпростіших моделей.

Однак не тільки фізичні аналогії використовуються в еконофізиці, широко задіяним є і інший інструментарій, зокрема фрактальний аналіз, що використовується для вивчення структури фінансового ринку. Рух цін більшості фінансових інструментів на різних масштабах часу та ціни зовні схожі. Па вигляду графіка спостерігач не зможе визначити, чи належать дані до тижневих, денних або вартових вимірів.

Фінансові часові ряди, що мають вказану самоподібність, називаються фракталами [6]. Основною характеристикою таких структур є фрактальна розмірність. Для хаотичних часових рядів використовується показник Херста *H*, що характеризує персистентність (здатності зберігати певну тенденцію) часового ряду. При цьому, якщо H>0,5, то ряд є персистентним (рух ряду у певний бік на деякому інтервалі, швидше за все, викличе рух у той же бік на наступному інтервалі). Якщо $H < 0,5$, то ряд є антиперсистентним (рух ряду в певну сторону на деякому інтервалі, швидше за все, викличе рух у протилежний бік на наступному інтервалі). При $H \approx 0,5$ ряд має нульову персистентність (рух ряду на будь-якому інтервалі не залежить від його руху на попередньому інтервалі). Однак для надійного обчислення показника Херста необхідна досить велика вибірка вимірювань, що виключає можливість використовувати його як локальну характеристику динаміки тимчасового ряду.

У роботі [6], М.М. Дубовіков та Н.В. Старченко вводять нові фрактальні показники: розмірність мінімального покриття та пов'язаний з нею індекс фрактальності. На прикладі фінансових часових рядів показано, що мінімальна кількість даних, необхідна для визначення введених показників з

прийнятною точністю, є на два порядки меншою, ніж потрібно при розрахунку показника Херста.

На основі індексу фрактальності представлено емпіричне обґрунтування концепції рівноваги на фінансовому ринку, а також виявлено ефект збільшення великомасштабних коливань при придушенні дрібномасштабних коливань. П.В. Видів та М.Ю. Романовський у [5], поряд із дослідженнями про закон розподілу прибутковостей біржових активів, також відзначають існування мікрофлуктуацій у тимчасових рядах логарифмічних доходностей акцій та фондових індексів Крім того, у вище згаданих роботах дослідники зачіпають важливий підхід, що використовується в еконофізиці для вивчення фінансових ринків - імітаційне моделювання, засноване на агентном моделюванні (від англ. agent-based-model).

Французький фізик Жан-Філіп Бушо [7] запропонував досліджувати процеси в економіці за допомогою моделювання поведінки натовпу. Згодом багатьма колективами вчених використовувався цей підхід для моделювання фінансових ринків [1, 3, 4, 7, 11]. Зокрема, у роботі [12] Т. Лаксом та М. Марчезі учасники ринку були представлені трьома видами агентів: реалістами, песимістами, оптимістами. У побудованій імітаційній моделі були встановлені ймовірності переходу учасників із однієї групи до іншої. Сама ж модель ґрунтувалася на уявленнях статистичної фізики про взаємодії частинок під впливом внутрішніх факторів системи. Модель Лакса-Марчезі передбачає постійність кількості акцій на ринку. Таке припущення типово для всіх моделей, запозичених з фізики. Воно пов'язане з тим, що моделювання фізичних явищ ґрунтується на законі збереження енергії. Проведені дослідження показали, що стабільний стан ринку настає після значних коливань ринку.

Крім того, Т. Лаксом і М. Марчезі наголошується на важливості моделювання поведінки людей у кризових ситуаціях через те, що паніка натовпу суттєво впливає на діяльність фінансових ринків у період кризи.

2. Метод Хольта-Вінтерса

Експоненціальне згладжування — це звичайна техніка для згладжування даних часових рядів за допомогою функції експоненціального вікна. У той час як у простому ковзному середньому минулі спостереження зважуються однаково, експоненціальні функції використовуються для призначення вагових коефіцієнтів, що експоненціально зменшуються з часом. Це легко засвоювана та легко застосовувана процедура для прийняття певного визначення на основі попередніх припущень користувача, наприклад, сезонності. Експоненціальне згладжування часто використовується для аналізу даних часових рядів.

Експоненціальне згладжування є однією з багатьох віконних функцій, які зазвичай застосовуються для згладжування даних при обробці сигналу, діючи як фільтри нижніх частот для видалення високочастотного шуму. Цьому методу передувало використання Пуассоном рекурсивних експоненціальних віконних функцій у згортках у 19 столітті, а також використання Колмогоровим і Зурбенком рекурсивних ковзних середніх у дослідженнях турбулентності в 1940-х роках.

Послідовність необроблених даних часто представлена $\{x_t\}$, що починається з моменту $t=0$, і вихідним результатом алгоритму експоненціального згладжування зазвичай записується як $\{s_t\}$, що можна розглядати як найкращу оцінку того, яким буде наступне значення x. Коли послідовність спостережень починається в момент часу t=0, найпростіша форма експоненціального згладжування задається формулами:

$$s_0 = x_0$$

$$s_t = \alpha x_t + (1-\alpha)s_{t-1}, t > 0$$

Де α є коефіцієнтом згладжування, і $0 < \alpha < 1$.

Використання експоненціальної віконної функції вперше приписується Пуассону [2] як розширення техніки чисельного аналізу з 17 століття, і пізніше прийнято науковою спільнотою для обробки сигналів у 1940-х роках. Тут експоненціальне згладжування є застосуванням експоненційної, або Пуассоновської, віконної функції. Експоненціальне згладжування було вперше запропоновано в статистичній літературі без посилань на попередню роботу Роберта Гуделла Брауна в 1956 році [3], а потім розширено Чарльзом К. Холтом у 1957 році [4]. Формулювання нижче, що зазвичай використовується, приписується Брауну і відоме як «просте експоненціальне згладжування Брауна» [5]. Усі методи Холта, Вінтерса та Брауна можна розглядати як просте застосування рекурсивної фільтрації, вперше знайденої в 1940-х роках [2] для перетворення фільтрів кінцевої імпульсної характеристики (КІХ) у фільтри нескінченної імпульсної характеристики.

Найпростіший вид експоненційного згладжування задається формулою:

$$s_t = \alpha x_t + (1-\alpha)s_{t-1} = s_{t-1} + \alpha(x_t - s_{t-1})$$

Де α є коефіцієнтом згладжування, і $0 \leq \alpha \leq 1$. Іншими словами, згладжена статистика s_t є простим середнім зваженим поточного спостереження x_t і попередньо згладженої статистики s_{t-1}. Просте експоненціальне згладжування легко застосовується, і воно дає гладку статистику, якщо доступні два спостереження. Термін «коефіцієнт згладжування» застосовується до α не зовсім інтуїтивно, оскільки, більші значення α фактично зниглують рівень згладжування, а в граничному випадку с $\alpha = 1$ вихідний ряд — це лише поточне спостереження. Значення α, близькі до одиниці, мають менший ефект згладжування та надають більшої ваги останнім змінам у даних, тоді як значення α ближче до нуля мають більший ефект згладжування і слабкіше реагують на останні зміни. Формально правильної процедури вибору α немає. Іноді для вибору відповідного фактора використовується судження статиста. В якості альтернативи, для оптимізації

значення можна використовувати статистичний метод α. Наприклад, для його визначення можна використовувати метод найменших квадратів α або яка зведення до мінімуму суми кількостей $(s_t - x_{t+1})^2$.

На відміну від деяких інших методів згладжування, таких як просте ковзне середнє, цей метод не вимагає мінімальної кількості спостережень, перш ніж він почне давати результати. На практиці, однак, «хороше середнє» не буде досягнуто, поки кілька вибірок не будуть усереднені разом; наприклад, постійний сигнал займе приблизно $3/\alpha$ етапів, щоб досягти 95% фактичного значення. Щоб точно відновити вихідний сигнал без втрати інформації, всі етапи експоненціального ковзного середнього також повинні бути доступними, оскільки старі зразки зменшують вагу експоненціально. Це суттєво відрізняється від простого ковзного середнього, в якому деякі вибірки можна пропустити без великої втрати інформації через постійне зважування вибірок у межах середнього. Якщо відома кількість вибірок буде пропущена, можна також налаштувати середньозважене значення, надавши однакову вагу новому зразку та всім тим, які потрібно пропустити.

Ця проста форма експоненціального згладжування також відома як експоненціально зважене ковзне середнє (EWMA). Технічно її також можна класифікувати як модель авторегресійної інтегрованої ковзної середньої (ARIMA) (0,1,1) без постійного члена.

Постійна часу

Постійна часу експоненціального ковзного середнього — це кількість часу, протягом якого згладжена реакція одиничної крокової функції досягає $1 - 1^e \approx 63.2\%$ вихідного сигналу. Зв'язок між цією постійною часу, T і коефіцієнт згладжування, α задається формулою:

$\alpha = 1 -$e^(-ΔT⁄τ) , таким чином

$$\tau = -\frac{\Delta T}{\ln(1-\alpha)}$$

де ΔT – інтервал часу вибірки реалізації дискретного часу. Якщо час вибірки швидкий порівняно з постійною часу, $\Delta T \ll$Т, $\alpha \approx \frac{\Delta T}{T}$

Зауважте, що у визначенні вище, s_0 ініціалізується до x_0. Оскільки експоненціальне згладжування вимагає, щоб на кожному етапі ми мали попередній прогноз, незрозуміло, як запустити метод. Можна вважати, що початковий прогноз дорівнює початковому значенню попиту; однак цей підхід має серйозний недолік. Експоненціальне згладжування надає значну вагу минулим спостереженням, тому початкове значення попиту матиме невиправдано великий вплив на ранні прогнози. Цю проблему можна подолати, дозволивши процесу розвиватися протягом розумної кількості періодів (10 або більше) і використовувати середнє значення попиту за ці періоди як початковий прогноз. Існує багато інших способів встановлення цього початкового значення, але важливо зазначити, що чим менше значення α, тим більш чутливим буде ваш прогноз щодо вибору цього початкового більш плавного значення s_0.

Для кожного методу експоненціального згладжування нам також потрібно вибрати значення параметрів згладжування. Для простого експоненціального згладжування існує лише один параметр згладжування (α), але для наступних методів зазвичай існує більше одного параметра згладжування.

Існують випадки, коли параметри згладжування можуть бути обрані суб’єктивно – прогнозист визначає значення параметрів згладжування на основі попереднього досвіду. Однак більш надійний та об’єктивний спосіб отримати значення для невідомих параметрів, включених до будь-якого

методу експоненціального згладжування, — це оцінити їх на основі спостережуваних даних.

Невідомі параметри та початкові значення для будь-якого методу експоненціального згладжування можна оцінити шляхом мінімізації суми квадратів помилок (SSE). Помилки вказуються як $e_t = y_t - \hat{y}_{t|t-1}$ для

t=1,.., T (помилки прогнозу на один крок вперед у межах вибірки). Отже, знаходимо значення невідомих параметрів і початкові значення, які мінімізуються:

SSE = $\sum_{t=1}^{T} (y_t - \hat{y}_{t|t-1})$ ^2 = $\sum_{t=1}^{T} e_t^2$

На відміну від випадку регресії, де у нас є формули для безпосереднього обчислення коефіцієнтів регресії, що мінімізують SSE, тут виникає проблема нелінійної мінімізації, і для цього нам потрібно використовувати інструмент оптимізації.

«Експоненційне» іменування

Назва «експоненціальне згладжування» пов’язано з використанням експоненційної віконної функції під час згортки. Його більше не приписують Хольт, Вінтерс, Браун.

За допомогою прямої заміни визначального рівняння для простого експоненціального згладжування назад у себе ми знаходимо, що

s_t = αx_t+$(1-\alpha) S_{t-1}$

= αx_t+$\alpha(1-\alpha) x_{t-1} + (1-\alpha)$^2 s_{t-2}

=α [x_t+$(1-\alpha) x_{t-1} + (1-\alpha)^2 x_{t-2} + (1-\alpha)^3) x_{t-3} + \cdots + (1-\alpha)^{t-1}) x_1$] + $(1-\alpha)$^t) x_0

Іншими словами, з плином часу статистика s_t згладжується і стає середньозваженою для все більшої і більшої кількості минулих спостережень s_{t-1}, …, s_t–, і ваги, призначені попереднім спостереженням, пропорційні умовам геометричної прогресії

$$1, (1-\alpha), (1-\alpha)^2, \dots (1-\alpha)^n, \dots$$

Геометрична прогресія є дискретною версією експоненціальної функції, тому, відповідно до статистики, виникла назва цього методу згладжування.

Експоненціальне згладжування та ковзне середнє мають подібні дефекти внесення відставання щодо вхідних даних. Хоча це можна виправити шляхом зсуву результату на половину довжини вікна для симетричного ядра, такого як ковзне середнє або гаусів, незрозуміло, наскільки це було б доцільно для експоненційного згладжування. Вони обидва мають приблизно однаковий розподіл помилки прогнозу, коли $\alpha = 2/(k + 1)$. Вони відрізняються тим, що експоненціальне згладжування враховує всі минулі дані, тоді як ковзне середнє враховує лише k минулих точок даних. З точки зору обчислень, вони також відрізняються тим, що ковзне середнє вимагає, щоб попередні k точок даних або точка даних із запізненням $k + 1$ плюс останнє прогнозне значення зберігалися, тоді як експоненційне згладжування потребує збереження лише останнього прогнозованого значення.

У літературі з обробки сигналів використання непричинних (симетричних) фільтрів є звичним явищем, і експоненціальна віконна функція широко там використовується таким чином, але при цьому застосовується інша термінологія: експоненціальне згладжування еквівалентне нескінченному імпульсу першого порядку, фільтр відгуку (IIR) і ковзне середнє еквівалентні фільтру кінцевої імпульсної характеристики з однаковими ваговими коефіцієнтами.

Просте експоненціальне згладжування погано працює, коли в даних є тенденція. У таких ситуаціях було розроблено кілька методів під назвою «подвійне експоненціальне згладжування» або «експоненціальне згладжування другого порядку», що є рекурсивним застосуванням експоненційного фільтра двічі, тому його назвали «подвійним експоненційним згладжуванням». Ця номенклатура схожа на чотирикратне експоненціальне згладжування, яке також посилається на глибину рекурсії. Основна ідея подвійного експоненціального згладжування полягає в тому, щоб ввести термін, щоб врахувати можливість ряду, що демонструє певну форму тенденції. Цей компонент нахилу сам оновлюється за допомогою експоненційного згладжування.

Один метод працює наступним чином

Знову ж таки, послідовність необроблених даних спостережень представлена x_t починаючи з часу *t*=0. Ми використали S_t для представлення згладженого значення для часу t і b_t це наша найкраща оцінка тенденції на час *t*. Вихід алгоритму тепер записується як F_{t+m}, оцінка вартості x_{t+m} вчасно $m > 0$ на основі необроблених даних до часу *t*. Подвійне експоненціальне згладжування задається формулами:

$S_0 = x_0$

$b_0 = x_1 - x_0$

І для $t > 0$ за

$s_t = \alpha x_1 + (1 - \alpha)(s_{t-1} + b_{t-1})$

$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1}$

Де α $(0 \leq \alpha \leq 1)$ – коефіцієнт згладжування даних, і β $(0 \leq \beta \leq 1)$ є фактором згладжування тенденції.

$F_{t+m} = S_t + m * b_t$

Встановлення початкового значення b є питанням переваг. Є варіант, відмінний від перерахованого вище $\frac{x_n - x_0}{n}$ для деяких *n*.

Зверніть увагу, що b_0 не визначено (немає оцінки для часу 0), і відповідно до визначення $F_1 = s_0 + b_0$, яке є чітко визначеним, таким чином можна оцінювати інші значення.

Другий метод, який називається лінійним експоненційним згладжуванням Брауна (LES) або подвійним експоненційним згладжуванням Брауна, працює наступним чином.

$s'_0 = x_0$

$s''_0 = x_0$

$s'_t = \alpha x_t + (1 - \alpha)\, s'_{t-1}$

$s''_t = \alpha s'_t + (1 - \alpha)\, s''_{t-1}$

$F_{t+m} = a_t + m b_t$

де *at*, оцінений рівень у момент t і *bt*, оцінений тренд у момент часу *t*:

$a_t = 2s'_t - s''_t$

$b_t = \frac{\alpha}{1-\alpha}(s'_t - s''_t)$

Потрійне експоненціальне згладжування тричі застосовує експоненційне згладжування, яке зазвичай використовується, коли є три високочастотні сигнали, які потрібно видалити з досліджуваного часового ряду. Існують різні типи сезонності: «множинна» та «адитивна» за своєю

природою, так само, як додавання і множення є основними операціями в математиці.

Якщо кожного місяця в грудні ми продаємо на 10 000 квартир більше, ніж у листопаді, то сезонність носить адитивний характер. Однак, якщо в літні місяці ми продаємо на 10% більше квартир, ніж у зимові місяці, сезонність має мультиплікаційний характер. Мультиплікативна сезонність може бути представлена як постійний фактор, а не абсолютна величина.

Потрійне експоненціальне згладжування було вперше запропоновано учнем Холта, Пітером Вінтерсом, у 1960 році, після прочитання книги з обробки сигналів 1940-х років про експоненційне згладжування.

Нова ідея Холта полягала в тому, щоб повторити фільтрацію непарну кількість разів (більше 1 і менше 5), що було популярно серед вчених попередніх епох [16]. Хоча раніше використовувалася рекурсивна фільтрація, вона застосовувалася двічі і чотири рази, щоб збігтися з гіпотезою Адамара, тоді як потрійне застосування вимагало більш ніж вдвічі більше операцій сингулярної згортки. Використання потрійної аплікації вважається практичним методом, а не таким, що ґрунтується на теоретичних засадах. Припустимо, у нас є послідовність спостережень x_t, починаючи з часу t=0 з циклом сезонної зміни довжини L.

Метод обчислює лінію тренду для даних, а також сезонні індекси, які зважують значення в лінії тренду на основі того, де ця точка часу потрапляє в цикл довжини L.

Дозволяє s_t представляють згладжене значення постійної частини за час t, b_t – послідовність найкращих оцінок лінійного тренда, які накладаються на сезонні зміни, і C_t – послідовність сезонних поправочних коефіцієнтів. Ми хочемо оцінити C_t кожного разу t мод L у циклі спостережень. Як правило, не

менше двох повних сезонів (або *2L* періоди) історичних даних необхідні для ініціалізації набору сезонних факторів.

Вихід алгоритму знову записується як F_{t+m} оцінка вартості X_{t+m} в часі $t + m > 0$ на основі необроблених даних до часу *t*. Потрійне експоненціальне згладжування з мультиплікативною сезонністю задається формулами

$$s_0 = x_0$$

$$s_t = \alpha \frac{x_t}{C_t - L} + (1-\alpha)(s_{t-1} + b_{t-1})$$

$$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1-\beta) b_{t-1}$$

$$C_t = \gamma^{x_t / S_t} + (1 - \gamma) C_{t-L}$$

$$F_{t+m} = (S_t + m b_t)\, C_{t-L+1+(m-1)}$$

Тут $\alpha(0 \le \alpha \le 1)$ є коефіцієнтом згладжування даних, $\beta(0 \le \beta \le 1)$ є фактором згладжування тенденції, і $\gamma(0 \le \gamma \le 1)$ є фактором згладжування сезонних змін. Загальна формула для початкової оцінки тенденції *b* виглядає так:

$$b_0 = \frac{1}{L}\left(\frac{x_{L+1} - x_1}{L} + \frac{x_{L+2} - x_2}{L} + \cdots + \frac{x_{L+L} - x_L}{L}\right)$$

Встановлення початкових оцінок для сезонних індексів C_i для i = 1,2, …, *L* трохи більше задіяний. Якщо *N* - це кількість повних циклів, присутніх у ваших даних, тоді:

$$C_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N} \frac{x_{L(j-1)+i}}{A_j} \text{ для } i = 1,2,\ldots,L,$$

де

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^{L} x_{L(j-1)+i}}{L} \text{ для } j = 1,2,\ldots,N.$$

Зверніть увагу, що A_J– це середнє значення *x* у j^{th} циклу ваших даних.

Потрійне експоненціальне згладжування з адитивною сезонністю визначається:

$s_0 = x_0$

$s_t = \alpha(x_t - c_{t-l}) + (1-\alpha)(s_{t-1} + b_{t-1})$

$b_t = \beta(s_t - s_{t-1}) + (1-\beta)b_{t-1}$

$C_t = \gamma(x_t - S_{t-1} - b_{t-1}) + (1-\gamma)C_{t-L}$

$F_{t+m} = S_t + mb_t + C_{t-L+1+(m-1)}$

Ключові переваги методу складаються у можливості урахування ваг вихідної інформації, в простоті обчислювальних операцій, гнучкості опису різних динамік процесів. Метод експоненціального згладжування дає можливість отримати оцінку параметрів тренда, що характеризують не середній рівень процесу, а тенденцію, що склалася на момент останнього спостереження. Найбільше застосування метод знайшов для реалізації середньострокових прогнозів. Для методу експоненційного згладжування основним моментом є вибір параметра згладжування (згладжує константи) і початкових умов. Але для того щоб зробити прогноз, наприклад, на 1 рік, вам знадобляться дані мінімум за 2 повні роки, а краще за 3 - 5 повних років.

З появою нових даних прогноз за методом Хольта - Вінтерса бажано перерахувати для уточнення ряду, тренду та сезонності. Також при підготовці даних для прогнозу завжди варто очищати дані від факторів, які в прогнозному періоді не повторяться (наприклад, приріст продажів за великою акцією) або враховувати заплановані фактори, які дадуть додатковий приріст продажів (наприклад, введення продукції в мережу або проведення заходів щодо стимулювання збуту).

Просте експоненційне згладжування часових рядів, що містять тренд, призводить до систематичної помилки, пов'язаної з відставанням згладжених значень фактичних рівнів часового ряду. Для урахування тренду у нестаціонарних рядах використовується спеціальне двопараметричне лінійне експоненційне згладжування. На відміну від простого експонентного згладжування з однією константою (параметром) згладжування, ця процедура згладжує як випадкові обурення, так і тенденцію, використовуючи дві різні константи (параметри).

Метод Хольта - Вінтерса використовується для прогнозування часових рядів, коли в структурі даних є тренд і сезонність, що склалися.

З усього вище переліченого можна зробити висновок, що даний метод має один суттєвий недолік, який свідчить про недоцільність використання даного методу в прикладних задачах. Метод Хольта-Вінтерса (експоненційного згладжування) є чисто статистичним і не має фізичного обґрунтування. Це призводить до складнощів підчас його використання.

3. Теорія нуклеації

Нуклеація - це перша за часом настання стадія фазового переходу. На ній утворюється основна кількість зародків нової, стабільної фази, що стійко ростуть, з вихідної метастабільної фази (пересичена пара). Початок цієї стадії викликано зовнішніми факторами, що створюють метастабільність, а закінчення - зниженням ступеня метастабільності через перехід частини речовини метастабільної фази в зародки стабільної фази. Наступною за стадією нуклеації є стадія колапсу, де відбувається подальше зростання зародків нової фази при практично незмінному їх кількості. Нуклеація буває двох типів - гомогенна (що протікає за гомогенним механізмом) і гетерогенна.

Фазове перетворення 1 роду в ринкових відносинах

Визначення:

D - коефіцієнт дифузії товару

1 - довжина вільного пробігу товару

η- динамічна в'язкість виробничої сфери [*кг·м/сек*]

σ - коефіцієнт поверхневого натягу – поверхня між потребою ринку і пропозицією виробника

$\sigma = \frac{w}{s}$, де

W - енергія ринку товару

S - виробництво (площа ринку)

T – температура товарного ринку

p^s- зовнішній тиск ринку (попит)

p^L-внутрішній тиск ринку (пропозиція)

Основне рівняння динаміки торгівельних пузирів на ринку товарів

Вважатимемо, що розподіл газових бульбашок у в'язких рідинах і розплавах в даний момент часу визначається функцією розподілу
$f(\vec{r}(t), (\vec{v}(t), V(t), N(t), t)$
в якій змінними є:

$\vec{r}(t)$ і $\vec{v}(t)$ - відповідно координата та швидкість бульбашки, співвіднесена з його геометричним центром;

$V(t)$ - обсяг бульбашки з координатою $\vec{r}(t)$ та швидкістю $\vec{v}(t)$;

$N(t)$ - число атомів газу в ньому.

При отриманні рівняння, що описує динаміку функції розподілу бульбашок у просторі восьми змінних $\{\vec{r}(t), (\vec{v}(t), V(t), N(t)\}$ і в часі t, зручно ввести безрозмірне число $N_1(t) = V(t)|\, v_0$, де

v_0 - зміна об'єму бульбашки за час δ_t, причому вважаємо δ_t настільки малим, що при зміні обсягу на v_0 число атомів газу змінюється на одиницю. За цей же проміжок часу δ_t координата центру бульбашки $\vec{r}(t)$ зміститься на малу величину $\delta_t \overrightarrow{r_0}$ з модулем $3 \cdot v_0^{1/3} \,/\, 4\pi$ і швидкість зміниться на малу величину $\delta\vec{v}(t) = \delta\vec{r}_0 \,/\, \delta_t$ з модулем $3v_0^{1/3} \,/\, (4\pi \cdot \delta t)$.

Необхідно відзначити, що введенням числа $N_1(t)$ для функції розподілу газових бульбашок справедливе перетворення подібності:
$f(\vec{r}(t), (\vec{v}(t), V(t), N(t), t)dV = \bar{f}\,(\vec{r}(t), (\vec{v}(t), N_1(t), N(t), t)dN_1$
або

$v_0 * f(\vec{r}(t), (\vec{v}(t), V(t), N(t), t) = \bar{f}\,(\vec{r}(t), (\vec{v}(t), N_1(t), N(t), t).$

З урахуванням вищевикладеного, зміна у часі функції розподілу

$\bar{f}(\vec{r}(t)$, ($\vec{v}(t)$, $N_1(t)$, $N(t)$,t) = $\bar{f}$ ($\vec{Q}_i(t)$,$N_1(t)$, $N(t)$,t), де: i=1,2, а набор векторів $\vec{Q}_i$, котрий позначає координату (i=1) і швидкість (i=2) центра бульбашки відповідно, можна уявити у вигляді:

$$\frac{d\bar{f}}{dt} = -(I_N - I_{N_{-1}}) - (I_N - I_{N_{-1}}) = -\frac{\partial I_N}{\partial N} - \frac{\partial I_{N_1}}{\partial N_1} \quad (1)$$

де: I_N - потік у просторі N;

I_{N_1} - потік у просторі N_1;

$I_N = \nu_{N\cdot N+1}\, \bar{f}\left(\vec{Q}_i, N_1, N, t\right) - \nu_{N+1.N}\bar{f}\left(\vec{Q}_i, N_1, N+1, t\right)$;

$I_{N_1} = \nu_{N_1,N_1+1}\bar{f}\,(\vec{Q}_i, N_1, N, t) - \nu_{N_1+1.N_1}\bar{f}\,(\vec{Q}_i, N_1+1, N, t)$;

$\nu_{K,K+1}$ - частота переходу зі стану K у стан $K+1$, де $K = \{N, N_1\}$;

$\nu_{K+1,K}$ - частота зворотного переходу зі стану $K+1$ у стан K.

У подальших викладках спростимо викладки, вводячи таке позначення $\bar{f}\,(\vec{Q}_i, N_1+1, N, t) \to f$. У лівій частині виразу (1), на відміну від [3], записана повна похідна за часом від функції розподілу $\bar{f}$. Таку заміну необхідно виконати, так як вона дозволяє врахувати у вихідному рівнянні (1) конвективні доданки, пропорційні $\frac{\partial N}{\partial t}$ и $\frac{\partial V}{\partial t}$.

Дотримуючись роботи [3], можна показати, що рівняння (1) перетворюється на рівняння дифузії у просторі $\{N, V\}$:

$$\frac{df}{dt} = -\frac{\partial I_N}{\partial N} - \frac{\partial I_V}{\partial V} \quad (2)$$

де:

$I_N = \frac{dN}{dt}\cdot f\left(\vec{Q}_i, N_1+1, N, t\right) - D_N \cdot \frac{\partial f\,(\vec{Q}_i, N_1+1, N, t)}{\partial N}$;

$I_V = \frac{dV}{dt}\cdot f\left(\vec{Q}_i, N_1+1, N, t\right) - D_V \cdot \frac{\partial f\,(\vec{Q}_i, N_1+1, N, t)}{\partial V}$;

$\frac{dN}{dt} = D_N \frac{1}{T}\frac{\delta F(V,N)}{\delta N}$, $D_N = \nu_{N.N+1} = 4\pi\alpha R^2 \frac{D}{2l} n^L$;

$\frac{\delta F(V,N)}{\delta N} = T \cdot \ln \frac{p^v}{p}$;

$\frac{dV}{dt} = D_V \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{\delta F(V,N)}{\delta V}, \quad D_V = \nu_{N_1,N_1+1} \cdot v_0^2 = \frac{3VT}{4\eta};$

$\frac{dV}{dt} = -D_V \cdot \frac{1}{T} \cdot \frac{\delta F(V,N)}{\delta V}, \quad D_V = \nu_{N_1,N_1+1} \cdot V_0^2 = \frac{3VT}{4\eta}$;

$\frac{\delta F(V,N)}{\delta V} = p^L - p^v + \frac{2\sigma(R)}{R};$

$F(V, N) = V(p^L - p^v) + N(\mu^V - \mu^L) + \int_o^v \frac{2\sigma(R')}{R'} dV';$

$F(V, N)$ - різницю вільної енергії середовища з бульбашкою об'єму $V = \frac{4\pi}{3} R^3$ та числом атомів N та вільної енергії середовища з розчиненим газом без бульбашки;

T - температура середовища;

n^L- густина газу в рідині;

μ^V- хімічний потенціал атома газу у бульбашці;

μ^L - хімічний потенціал атомів газу в рідині;

p - насичений тиск газу;

p^v - тиск газу у бульбашці;

p^L - тиск у в'язкій рідині;

$\sigma(R)$ - коефіцієнт поверхневого натягу на кордоні рідина - вакуум, який може залежати від радіуса бульбашки $R(t)$ (думаємо, що газ у бульбашці не впливає на поверхневий натяг);

η- динамічна в'язкість рідини;

$0 \leq \alpha \leq 1$ - коефіцієнт, що враховує додатковий бар'єр, який може існувати для останнього стрибка атома газу в бульбашку;

D - коефіцієнт дифузії атомів газу в середовищі;

l - довжина елементарного переміщення атома газу в середовищі.

Права частина рівняння (2) повністю визначена через параметри середовища. Однак у лівій частині стоїть повна похідна функції розподілу бульбашок за часом. Послідовне диференціювання за часом лівої частини рівняння (2) дає чотири додаткові конвективні доданки: два – у звичайному координатному просторі, два – у просторі розмірів бульбашок N, V. У результаті рівняння дифузії газових бульбашок (2) набуває наступного вигляду:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{r}} + \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} \cdot \frac{\partial f}{\partial \vec{v}} - \frac{\partial f}{\partial \vec{N}} \frac{\partial N}{\partial t} - \frac{\partial f}{\partial V} \frac{\partial V}{\partial t} = - \frac{\partial I_N}{\partial N} - \frac{\partial I_v}{\partial V} \qquad (3)$$

У лівій частині рівняння (3) останні два доданки мають негативний знак внаслідок того, що у (1) розглядаються переходи функції розподілу $\nu_{K,K+1} f(K) - \nu_{K+1,K} f(K+1)$, у той час як за визначенням похідна $\frac{\partial f(k)}{\partial k}$ оперує зі зворотним напрямком переходу: $f(K+1) - f(K)$. Крім того, (3) часткові похідні за часом від змінних $\vec{r}(t)$, $\vec{v}(t)$, $V(t)$ і $N(t)$ можна, слідуючи логіці роботи [3,3.1], розглядати як повні. У цьому випадку маємо:

$$\frac{d\vec{r}(t)}{dt} = \vec{v}(t); \quad \frac{d\vec{v}(t)}{dt} = \frac{\vec{F}(t)}{m(t)}, \qquad (4)$$

де $\vec{F}(t)$ - сила, діюча на бульбашку;

$m(t) = m_a N(t)$ - маса зосереджених у бульбашці атомів газу, вага кожного з яких дорівнює m_a.

Тут необхідно відзначити, що третій доданок в лівій частині рівняння (3) описує силову взаємодію газових бульбашок, яка пов'язана з збудженням бульбашками звуку в середовищі, взаємодією газових бульбашок під дією сил Бьоркнеса [6], їх коалесценцією та радіаційним тиском, що чиниться на них з сторони власних та зовнішніх акустичних хвиль [7].

Якщо припустити, що середовище однорідне і на газові бульбашки не діють зовнішні сили, то рівняння (3) спрощується і набуває наступного вигляду:

$$\frac{\partial f}{\partial t} = -\Gamma(N,V)\cdot f + \frac{\partial}{\partial N}\left(D_N \frac{\partial f}{\partial N}\right) + \frac{\partial}{\partial V}\left(D_V \frac{\partial f}{\partial V}\right) \tag{5}$$

де: $\Gamma(N,V) = \frac{\partial}{\partial N}\left(\frac{dN}{dt}\right) + \frac{\partial}{\partial V}\left(\frac{dV}{dt}\right) \equiv \frac{d}{dt}\ln\left(\left|\frac{dV}{dt}\right|\left|\frac{dN}{dt}\right|^{sign(S)}\right),\ S \equiv \frac{dN}{dt}\frac{dV}{dt}.$

Запис доданку $\Gamma(N,V)$ у вигляді повної похідної за часом відповідає приладу похідних знаків $\frac{dN}{dt}$ и $\frac{dV}{dt}$, а також їх похідних по N и V.

Таким чином, урахування конвективних доданків у рівнянні дифузії газових бульбашок у рідині перетворює кінетичне рівняння з чисто дивергентної форми у просторі розмірів бульбашок (дивитися [3.1]) в аналогічну форму, але з додаванням у правій частині пропорційної функції розподілу бульбашок доданку.

Рівняння (5) має бути доповнено рівнянням, що описує збереження числа атомів газу в одиничному обсязі, що включає атоми газу у бульбашках та атоми газу, розчинені в рідині [3, 3.1]:

$$n^L(0)\left(1 - \int_0^\infty\int_0^\infty Vf(V,N,t)dVdN\right) = n^L(t)\left(1 - \int_0^\infty\int_0^\infty Vf(V,N,t)dVdN\right) + \int_0^\infty\int_0^\infty Nf(V,N,t)dVdN \tag{6}$$

Або в інший записи

$$1\cdot n^L(t) + \int_0^\infty\int_0^\infty f(V,N,t)dVdN\left(\int_0^\infty\int_0^\infty Nf(V,N,t)dVdN\right) = 1\cdot n^L(0) \tag{7}$$

При переході від виразу (6) до виразу (7) використаний той факт, що зміна об'єму рідини в одиничному обсязі пропорційна кількості газових бульбашок в останньому:

$$1=\int_0^\infty\int_0^\infty f(V,N,t)dVdN\left(1-\int_0^\infty\int_0^\infty Vf(V,N,t)dVdN\right) \quad (8)$$

Рівняння (5) та одне із рівнянь (6),(7) складає фундаментальну систему рівнянь, яка описує динаміку їх параметрів $f(V,N,t)$ и $n^L(t)$. Для повного опису часової динаміки цих параметрів у середовищі система рівнянь має бути доповнена початковими та граничними умовами.

Виходячи з виду першого доданку правої частини рівняння (5) можна зробити висновок про можливість існування рівноважних розподілів газових бульбашок у рідині. Зрозуміло, такі стани визначаються умовою $Q\left(\frac{dV}{dt},\frac{dN}{dt}\right)\equiv\left|\frac{dV}{dt}\right|\left|\frac{dN}{dt}\right|^{sign(S)}=const$ (тривіальна умова $const=0$ - опускаємо).

З умови $Q\left(\frac{dV}{dt},\frac{dN}{dt}\right)=const$ і з рівняння (5) випливає, що $\Gamma(N,V)=0$, тобто функція розподілу $f(V,N)$ однорідна, а кількість газових бульбашок у рідині $N_b=\iint_\Omega f(V,N)dNdV$ постійно. Тут:

Ω - область інтегрування у просторі розмірів бульбашок $\{N,V\}$.

Далі розглянемо можливі режими існування рівноважних бульбашок у рідині.

Створено коливання пропозиції та попиту

Виробнича сфера (ринок товару) — виготовлення та транспортування товару на склади

Фаза 1. Товар (виготовлений) - одиничний виріб, який виготовляється виробником у виробничій сфері

Фаза 2. Товар (проданий) - нова фаза товару, що позначає його продаж та виконання ним своїх функціональних призначень.

Товарорух - переміщення товарів в економічному та географічному просторі.

Економічне переміщення - процес переходу товару від одного власника до іншому.

Фізичне переміщення - транспортування товару від місця його створення до місця кінцевого використання.

Економічне переміщення

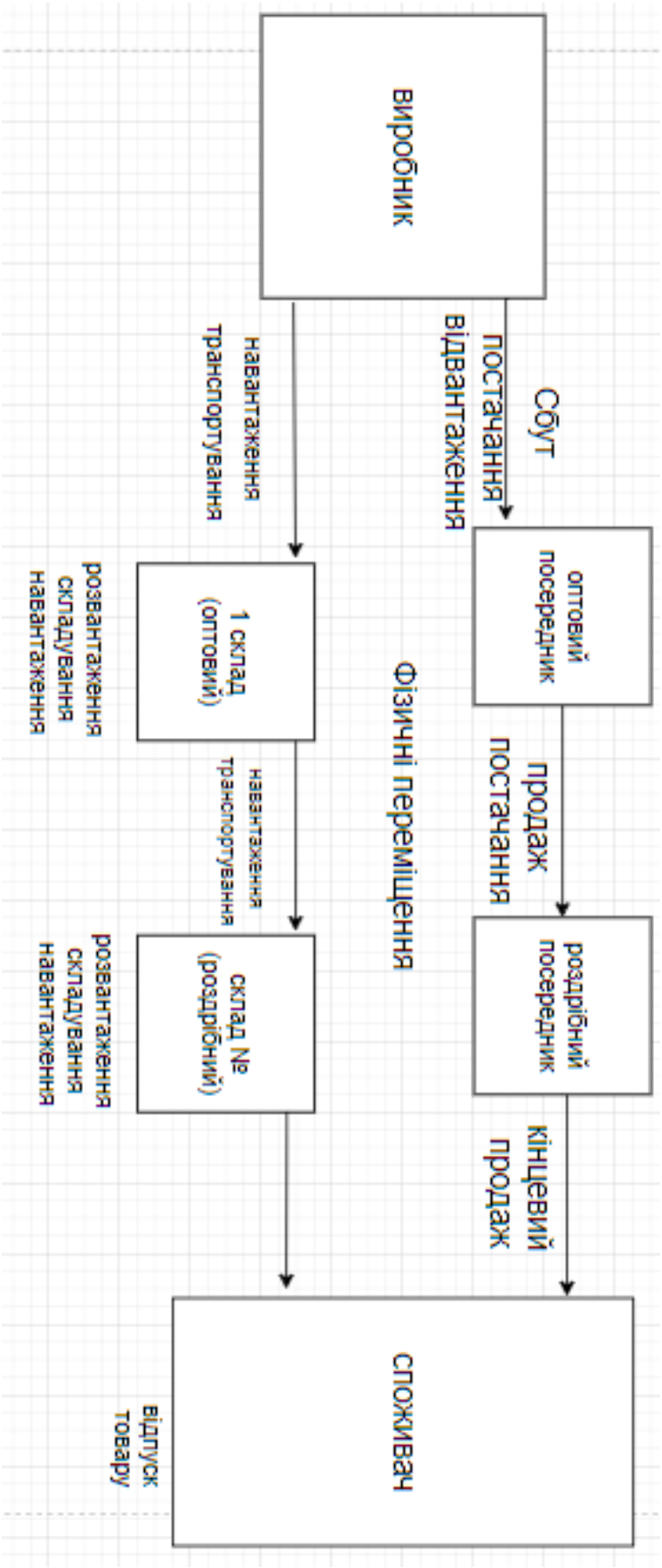


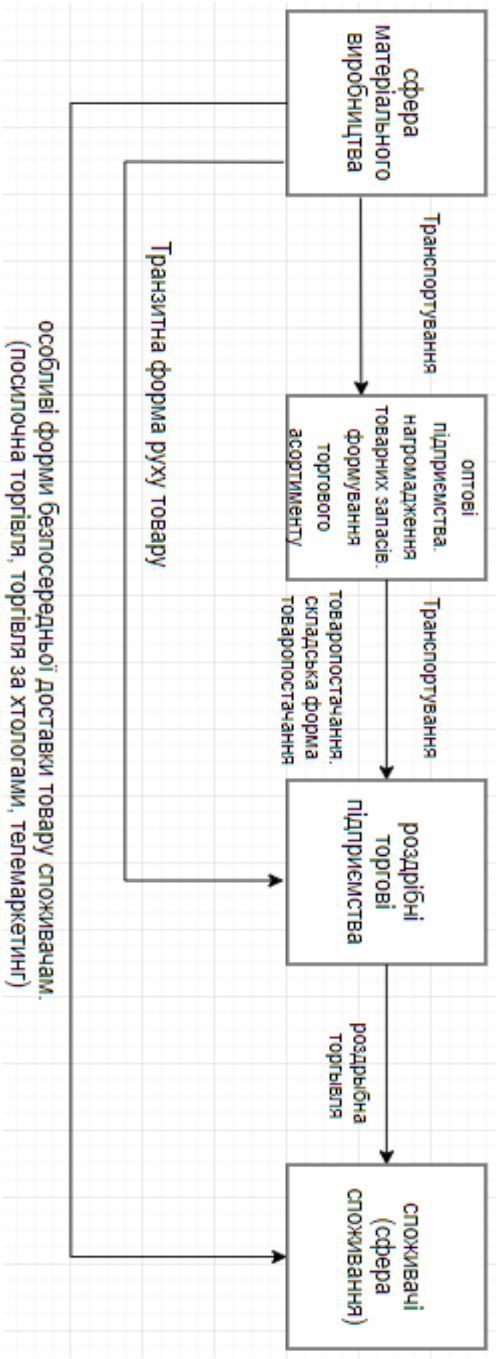
Рис. 6.1 схема паралельних потоків товароруху

Економічний рух товару пов'язані з поняттями продаж, збут.

Продаж – обмін товару на гроші зі зміною власника товару.

Збут - продаж, що часто розуміється вузько як продаж товару його власником чи, навпаки, широко — як політика руху товару.

Поняття та сутність механізму руху товарів в умовах ринкових відносин [Електронний ресурс].



Ринок товару - визначається попитом (величина $0 < \alpha < 1$ у формулах)

Довжина вільного пробігу (переміщення) товару - середня відстань переміщення товару від виробника на склад у виробничій сфері.

Коефіцієнт дифузії товару – характеризує відстань переміщення товару від виробника склад залежно від часу існування товару. Розмірність коефіцієнта: (довжина вільного пробігу)² / час існування товару.

Температура виробничої сфери - визначається через середню енергію руху товару $\overrightarrow{W} = \frac{3}{2} kT$ де k - постійна Больцмана.

Динамічна в'язкість виробничої сфери - сила опору зсуву F, яка виникає при відносному русі двох шарів виробничої сфери. Пропорційна градієнту швидкості V у напрямку нормалі до потоку рідини.

$F = \eta \frac{dv}{dn}$, де η – нормаль.

З усього вище переліченого можна зробити висновок, що даний метод має одну суттєву перевагу над методом Хольта-Вінтерса, який свідчить про більшу доцільність використання даного методу в прикладних задачах. Метод нукліації має фізичне обґрунтування і не є суто статистичним. Це призводить до більшої зручності підчас його використання.

Висновки

У ході виконання дипломної роботи був проведений аналіз існуючих методів розрахунку попиту товару (ф’ючерсів) за допомогою економічної фізики, виконано обробку отриманих результатів, опис переваг та недоліків таких методів, адаптацію фізичної моделі нуклеації до ринкових відносин, сформулювано кінетичне рівняння для опису ф'ючерсного продажу та сформульовані висновки щодо існуючих методів відносно визначення рівня практичної застосовності проаналізованих методів до реального життя.

Було проаналізовано основні методи ф’ючерсного аналізу товару і виявлено, що найбільш розвинутий із цих методів, а саме метод Хольта-Вінтерса (або метод експоненційного згладжування), має один суттєвий недолік: він є емпірічним методом, основаним виключно на статистичному аналізі, і не має фізичного обґрунтування. Це призводить до складнощів підчас його практичного застосування, і в кінцевому рахунку до недоцільності його використання у прикладних задачах еконофізики.

Для вирішення цієї проблеми в ході виконання дипломної роботи було сформульовано метод нукліації для ф’ючерсної оцінки продажу товару. Метод полягає в застосуванні кінетичного рівняння і методу кінетичних моментів для обчислення основних економічних параметрів, що відносяться до розглянутої задачі, на основі глибокої аналогії між основними економічними процесами і релаксацією фізичних систем до стану рівноваги.

Після аналізу економічних процесів методом нукліації за допомогою відповідної фізичної моделі можна зробити висновок, що використання даного методу в прикладних задачах більш доцільне, ніж використання методу Хольта-Вінтерса, завдяки його глибокому фізичному обгрунтуванню, що призводить до більшої зручності під час його використання.

Таким чином, у результаті проведеного дослідження можна зробити висновок, що дані ф’ючерсної оцінки продажу товару, отримані з

використанням методу нукліації, виявляються більш обґрунтованими і об’єктивними, ніж дані, отримані при використанні методу Хольта-Вінтерса.

Література

1. Маєвський, В.І. Перехід від простого відтворення до економічного зростання [Текст]/В.І. Маєвський, С.Ю. Малков // Успіхи фізичних наук. - 2011. -Т. 181. -№7.-С. 753 - 757.

2. Юданов, А.Ю. Швидкорослі фірми в Росії: експериментальні дані та перспективи еконофізичного моделювання модернізації економіки [Текст]/А.Ю. Юданов// Успіхи фізичних наук. - 2011. - Т. 181. - №7. -С. 758 - 762.

3. Поспєлов, І.Г. Рівноважні моделі економіки у період світового фінансової кризи [Текст]/І.Г. Поспєлов // Успіхи фізичних наук. - 2011. - Т. 181. - №7. - С. 762 - 767.

4. Про еконофізику та її місце в сучасній економіці [Текст] / Д.С. Чернавський, Н.І. Старков, С.Ю. Малков та ін// Успіхи фізичних наук. - 2011.-Т. 181. - №7. – С. 767 – 773.

5. Видов, П.В. Некласичні випадкові блукання та феноменологіяфлуктуацій прибутковості цінних паперів на фондовому ринку [Текст]/П.В. Видів, М.Ю. Романовський / / Успіхи фізичних наук. - 2011. - Т. 181. = № 7. - С. 774 - 778.

6. Crum L.A. Bjerknes forces on bubbles in a stationary sound field. // J. Acoust. Soc. Am. - 1975, - V. 57, No 6. - P. 1363–1370.

7. Капустина О.А. Дегазация жидкостей. В кн. Физика и техника мощного ультразвука. Т. III Физические основы ультразвуковой технологии. Под. ред. Л.Д. Розенберга. - М.: Наука, 1970, - С. 254 - 336.]

8. Дубовіков, М.М. Економфізика та фрактальний аналіз фінансових тимчасових рядів [Текст]/М.М. Дубовіков, Н.В. Старченко // Успіхи фізичних ° наук. - 2011. -Т. 181. - №7. - С. 779 - 786.

9. Віклюк, Я.Л. Економ!зика як складова інформаційних систем автоматизації соціально-економічних структур (огляд) [Текст] / Я.1. Виклюк, Н.М. Гванущак // Науковий вісник Чернвецького університету. - 2008. Віп. 423. - С. 130 - 137.

10. Маслов В.П. Економфізика та квантова статистика [Текст] / В.П. Маслов / / Математичні нотатки. - 2002. - Т. 72. Вії. 6. – С. 883 – 891.

11. Економфізика. Сучасна фізика у пошуках економічної теорії [Текст]/За ред. В.В. Харитонова та А.А. Єжова. - М.: МІФІ, 2007. - С. 307 - ЗЬ.

12. Нусратуллін, В.К. Нерівноважна економіка: монографія [Текст]/В.К. Нусратуллін. - М.: Компанія Супутник +, 2006. - 355 с.

13. Чернавський, Д.С. Про проблеми фізичної економіки [Текст] / Д.С. Чернавський, Н.І. Старков, А.В. Щербаков // Успіхи фізичних наук. - 2002. -Т. 172. – № 9. – С. 1045 – 1066.

14. Гах, Т. Зсаніє апа СійсаШу ш а З'освазйс Мі-авепЕ Моді! оЕ а Ешапс1а| Маше [Тех/Т. Глх, М. МагсВез1// Мавге. - 1999. - \о1. 397. -Р. 498.

15. Маслов, В.П. Квантова економіка [Текст]/В.П. Маслов. - М: Наука, - 2006. - 96 с.

16. Шіпіцин, Є.В. Подвійність і золотий переріз у твердій фізиці тіла [Текст]/Є.В. Шипіцин, В.В. Попков // Вісник Міжнародного інституту О. Богданова. - 2000. - №4. - С. 6-27.

17. 1 Всеросійська Інтернет-конференція з проблем еконофізики та еволюційної економіки «Життєві цикли економічних систем» [Електронний ресурс]/За ред. В.В. Попков, Д.Б. Берг, А.Ф. Сидоренко. - Єкатеренбург: Міжнародний інститут А.Богданова. - 2004. - 120 с. - Режим доступу: Вр://Лм\иу .ерБез.гаЛть/ехеЛесВ.рНр?теа=зБоги 2004 1.р@. -— Заголовок з екрану.

18. Цацулін А.М. Ціни та ціноутворення в системі маркетингу / О.М. Цацулін. - М.: Інформаційно-видавничий будинок «Філін», 1998 - 448 с.

19. Агапова Т.А. Макроекономіка/Т.А. Агапова, С.Ф. Серегіна // За ред. А. В. Сидоповича. - М.: МДУ ім. М.В. Ломоносова, Видавництво «ДІС», 1997. - 416 с.

20. Кірєєв А.П. Міжнародна економіка. У 2-х ч. - Ч. П. Міжнародна макроекономіка: відкрита економіка та макроекономічне програмування. - М.: Міжнар. Відносини, 2000. - 488 с.

21. "NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods". NIST. Retrieved 23 May 2010.

22. Oppenheim, Alan V.; Schafer, Ronald W. (1975). Digital Signal Processing. Prentice Hall. p. 5. ISBN 0-13-214635-5

23. Brown, Robert G. (1956). Exponential Smoothing for Predicting Demand. Cambridge, Massachusetts: Arthur D. Little Inc. p. 15.

24. Holt, Charles C. (1957). "Forecasting Trends and Seasonal by Exponentially Weighted Averages". Office of Naval Research Memorandum. 52. reprinted in Holt, Charles C. (January–March 2004). "Forecasting Trends and Seasonal by Exponentially Weighted Averages". International Journal of Forecasting. 20 (1): 5–10. doi:10.1016/j.ijforecast.2003.09.015.

25. Brown, Robert Goodell (1963). Smoothing Forecasting and Prediction of Discrete Time Series. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

26. "NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods, 6.4.3.1. Single Exponential Smoothing". NIST. Retrieved 5 July 2017.

27. Nau, Robert. "Averaging and Exponential Smoothing Models". Retrieved 26 July 2010.

28.Слезов В.В. Метод віртуальних середовищ у теорії фазових перетворення першого роду. // ФТТ. - 2000, - Т. 45, Вып. 4. - С. 733-740.

29. Борц Б.В., Скоромная С.Ф., Ткаченко В.И. Стаціонарні стани та автомодельна динаміка газових бульбашок у рідких середовищах при зменшенні зовнішнього тиску. Вестник ХНУ, № 946, 2011, серия: физическая “Ядра, частицы, поля”, Вып. 1/49/, С. 81 - 89.

30. Режим доступу - http://www.jourclub.ru/7/742/