

Кійко С.Г.<sup>1</sup>, д. техн. н., голова правління, Дейнега Л.Ю.<sup>2</sup>, ст. викладач, Басанець М.І.<sup>2</sup>, студент, Камєнський Д.В.<sup>2</sup>, студент, Діденко А.Є.<sup>2</sup>, студент

<sup>1</sup> *ПрАТ Електрометалургійний завод «Дніпроспецсталь»*

<sup>2</sup> *Національний університет «Запорізька політехніка»*

## УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЯМИ ПРОЄКТІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ МАРКОВЦА

**Ключові слова:** енергозбереження; сучасна портфельна теорія; методи оптимізації; диверсифікація; ребалансування; портфель проєктів; коефіцієнт Шарпа; волатильність портфелю.

Оптимізація інвестиційного портфеля є одним із поширених, типових і значимих фінансових завдань, яке виникає в практиці ресурсного забезпечення, енергозбереження, інвестування. Її рішення дозволяє знайти найбільш ефективний спосіб вкладення інвестором свого капіталу в акції декількох компаній. Основними принципами формування інвестиційного портфеля є надійність і дохідність активів, їх стабільне зростання і висока ліквідність. Метою оптимізації портфеля цінних паперів є формування такого портфеля цінних паперів, який би відповідав вимогам інвестора, підприємства, як по прибутковості, так і щодо можливого ризику, що досягається шляхом розподілом цінних паперів в портфелі.

Основне завдання портфельного інвестування – поліпшити умови інвестування, додавши сукупності цінних паперів такі інвестиційні характеристики, які недосяжні з позиції окремо взятого цінного паперу, і можливі тільки при їх комбінації.

Для промислових об'єктів в Україні в сучасних умовах існують суттєві проблеми, які пов'язані із фінансуванням енергозберігаючих заходів, вибором оптимальних способів вкладення коштів в інвестиційні проєкти з підвищення енергоефективності, відсутністю інформаційних систем та недосконалістю організаційно-економічного механізму забезпечення енергозбереження на промислових підприємствах. Для запобігання фінансових втрат при формуванні сукупності енергозберігаючих заходів (портфелів проєктів) потрібна розробка та вдосконалення методів оцінки ефективності програм енергозбереження, які враховують широкий вибір у використанні джерел інвестицій, призначених для їх реалізації.

Оскільки методи управління портфелями проєктів енергозбереження в основному розглядають методи оптимізації витрат на ці проєкти, то для розв'язання даної задачі доречно розглянути саме методи оптимізації інвестиційних портфелів. Роблячи таке узагальнення, потрібно враховувати специфіку предметної області та використовувати лише ті методи оптимізації, які дозволяють залишатися в заданих предметною областю обмеженнях.

Узагальнення до більш широкої теми дозволяє використовувати багато напрацьованих та теоретичних матеріалів в більш загальній сфері.

Портфельні інвестиції – інвестиції у цінні папери та різноманітні фінансові активи за кошти на фондовому ринку. Портфельна оптимізація – процес створення портфелю фінансових активів, для яких портфель має певні значення деяких параметрів. Зазвичай, власник портфелю бажає мінімізувати ризики та максимізувати віддачу [1].

Під інвестиційним портфелем розуміють декілька інвестиційних об'єктів – активів. Зазвичай для створення фінансового портфелю використовуються різноманітні активи різних компаній. Для усіх активів у інвестиційному портфелі власник отримує прибуток через певний проміжок часу. Цей прибуток у портфельній теорії називається віддачою.

Основним сценарієм отримання віддачі є зростання ринкової вартості акцій. Врахування можливості падіння вартості активів у портфелі є ризиком інвестування. Для створення надійнішого портфеля використовують різноманітні стратегії, вибір стратегії залежить від результату, якого хоче досягти інвестор.

До ключових елементів та стратегій створення ефективного інвестиційного портфелю належать:

- диверсифікація;
- ребалансування;
- активне управління портфелем;
- пасивне управління портфелем.

Розподіл активів базується на тому, що різні типи активів не є залежними один від одного. Одні активи є більш стабільними, інші – більш мінливими. Різноманітність таких активів у портфелі і дозволяє зберігати баланс та захищає від ризику. Основною проблемою інвестицій є те, що неможливо послідовно правильно прогнозувати, які активи принесуть прибуток, а які навпаки приносять збитки [2]. Диверсифікація вирішує цю проблему. Диверсифікація – розподіл інвестицій у дуже різні активи. Зазвичай вона здійснюється стосовно різних класів цінних паперів, різних галузей економіки, різних географічних регіонів [3]-[4]. Ребалансування використовується для відновлення балансу у розподілі вартості активів, з яких складається портфель [5]. Воно передбачає продаж цінних паперів з високою ціною та використання цих грошей у цінних паперах з нижчою ціною. Потрібно проводити ребалансування один раз у певний проміжок часу. При чому, цей проміжок часу не повинен бути занадто довгим чи занадто коротким. Занадто довгий проміжок часу для проведення ребалансування змінить початкове співвідношення ризику і віддачі. Занадто короткий проміжок часу для проведення ребалансування не дозволить інвестору отримати максимальний прибуток у секторах ринку з високим потенціалом. Активне управління портфелем передбачає швидку купівлю та продаж акцій на різні терміни, намагаючись перевершити деякий фондовий індекс. Для прийняття рішень про купівлю та продаж акцій використовують не лише менеджерів фондів або брокерів, але й поглиблені дослідження ринку, короткострокові прогнозування, зміни у політиці та навіть деякі неекономічні та неполітичні новини, що можуть вплинути на деякі компанії. Врахування такої великої кількості даних дозволяє отримувати більший прибуток, ніж пропонуються відомими індексними корзинами, проте такий підхід до керування портфелем включає додатковий ризик. Пасивне управління портфелем (або управління індексними фондами) має на меті повторити віддачу конкретної індексної корзини. Це досягається за рахунок купівлі тих самих акцій, що перераховані в індексі, з використанням тієї самої ваги (алокації), що використовується в індексі. Віддача від пасивного управління портфелем нижча, ніж віддача від активного управління, проте пасивне управління має значно нижчий ризик.

Враховуючи основні принципи інвестиційної теорії, задачею портфельного інвестування є формування інвестиційного портфелю з відомими частками певних активів для максимізації віддачі та мінімізації ризику. Для вирішення даної проблеми було обрано методика лауреата нобелівської премії з економіки Гарі Марковіца, відомої як сучасна портфельна теорія [6]. Це теорія фінансових інвестицій, у межах якої за допомо-

гою статистичних методів здійснюють якомога вигідніший розподіл ризику портфеля цінних паперів і оцінювання доходу, складовими елементами її є оцінювання активів, прийняття інвестиційних рішень, оптимізація портфеля, оцінювання отриманих результатів. З математичної точки зору задача з формування оптимального портфеля є задачею оптимізації квадратичної функції (пошук мінімуму) при лінійних обмеженнях аргументів функції. Цей клас задач є добре дослідженим та виділено найефективніші алгоритми.

Метою роботи є дослідження основних концепцій сучасної портфельної теорії та розробка програмного забезпечення для оптимізації портфельних інвестицій.

Гарі Марковіц створив теорію, яка дозволяє інвестору математично балансувати терпимість до ризику та очікування винагороди, що призводить до ідеального портфеля.

Ця теорія базувалася на двох основних концепціях:

- мета кожного інвестора – максимізувати прибутковість для будь-якого рівня ризику;
- ризик можна зменшити, диверсифікувавши портфель за допомогою окремих, не пов'язаних між собою цінних паперів.

Сучасна портфельна теорія (СПТ) працює, припускаючи, що інвестори не схильні до ризику, віддаючи перевагу портфелю з меншим ризиком для певного рівня прибутковості. Згідно з цим припущенням, інвестори будуть здійснювати інвестиції з високим ризиком лише тоді, коли вони можуть розраховувати на більшу винагороду [7].

Наприклад, “Раціональному інвестору” пропонується вибрати між двома інвестиціями: інвестицією А та інвестицією В. Очікується, що вартість обох зростатиме на 6 відсотків щороку. Однак інвестиція В вважається вдвічі більш мінливою, ніж інвестиція А, тобто її вартість коливається удвічі більше, ніж коливання вартості інвестиції А. СПТ пропонує, щоб раціональний інвестор завжди вибирав менш мінливий актив, в даному випадку інвестицію А, якщо обидва варіанти забезпечують рівноцінну очікувану прибутковість.

Загальний ризик портфеля обчислюється на основі функції дисперсії кожного активу разом із кореляцією між кожною парою активів. Кореляції активів впливають на загальний ризик портфеля, формулюючи менше середньоквадратичне відхилення, ніж можна було б знайти у зваженій сумі.

Згідно з аналізом СПТ – (або аналізом дисперсії, аналізом середньоквадратичного відхилення) – інвестор може мати актив із високим ризиком, індексний фонд або цінний папір, доки ці ризикові інвестиції будуть мінімізовані всіма базовими активами. Сам портфель збалансований таким чином, що загальний ризик є нижчим, ніж деякі основні інвестиції. Ризик визначається як діапазон, в якому ціна активу в середньому буде змінюватися, але Марковіц поділяє ризик на дві наступні категорії:

– систематичний ризик: це стосується ринкових ризиків, які неможливо зменшити за рахунок диверсифікації, або можливості того, що весь ринок та економіка покажуть збитки, що негативно впливають на інвестиції. Важливо зазначити, що СПТ не претендує на можливість пом'якшити цей тип ризику, оскільки він притаманний цілому ринку або сегменту ринку;

– несистематичний ризик: також називається специфічним ризиком, несистематичний ризик характерний для окремих акцій, тобто він може бути диверсифікований у міру збільшення кількості запасів у вашому портфелі.

У добре диверсифікованій комбінації активів ризик кожного активу дуже мало сприяє загальному ризику портфеля. Швидше, коваріація між окремими активами визначає більшу частину загального ризику портфеля [8].

Отже, інвестори можуть зменшити індивідуальний ризик активів, комбінуючи диверсифікований портфель активів.

Хоча вигоди від диверсифікації очевидні, інвестори повинні визначити рівень диверсифікації, який найкраще їм підходить. Це можна визначити за допомогою так званої ефективної межі, графічного представлення всіх можливих комбінацій ризикових цінних паперів для оптимального рівня прибутковості з урахуванням певного рівня ризику [8]-[13]:

- на кожному рівні прибутковості інвестори можуть створити портфель, що пропонує мінімально можливий ризик;
- для кожного рівня ризику інвестори можуть створити портфель, що пропонує найвищу віддачу.

Будь-який портфель, що потрапляє за межі ефективної межі, вважається неоптимальним з однієї з двох причин: він несе занадто великий ризик щодо його прибутку або занадто малу віддачу щодо його ризику. Портфель, який лежить нижче ефективної межі, не забезпечує достатньої прибутковості порівняно з рівнем ризику. Портфелі, знайдені праворуч від ефективної межі, мають вищий рівень ризику для визначеної норми прибутку.

У кожному пункті "Ефективної межі" інвестори можуть побудувати принаймні один портфель з усіх доступних інвестицій, що характеризує очікуваний ризик і дохід, що відповідає цій точці. Портфель, розміщений у верхній частині кривої, є ефективним, оскільки дає максимальну очікувану дохідність для даного рівня ризику.

Ефективна межа пропонує наочну демонстрацію потужності диверсифікації. Не існує єдиної ефективної межі, оскільки інвестори можуть змінювати кількість та характеристики активів відповідно до своїх потреб.

На рисунку 1 [8] проілюстроване поняття ефективної межі.



Рисунок 1 – Ілюстрація поняття ефективної межі [8]

Отже, ключові особливості сучасної портфельної теорії:

- СПТ стверджує, що можна створити ідеальний портфель, який забезпечить інвестору максимальну віддачу, взявши на себе оптимальну кількість ризику;

– СПТ була розроблена економістом Гаррі Марковіцем у 1950-х; його теорії оточують важливість портфелів, ризик, диверсифікацію та зв'язки між різними видами цінних паперів;

– зокрема, СПТ виступає за диверсифікацію цінних паперів та класів активів;

– СПТ заявляє, що акції стикаються як із систематичним ризиком – ринковими ризиками, такими як процентні ставки та спад, так і з несистематичним ризиком – специфічними для кожної акції проблемами, такими як зміни в управлінні або поганий обсяг продажів;

– правильна диверсифікація портфеля не може запобігти систематичному ризику, але може зменшити, якщо не усунути, несистематичний ризик.

Оптимізація портфелю реалізована з врахуванням важливих метрик та формул:

– дисперсія активу та нестабільність активу;

– коваріація та кореляція активів;

– очікувана прибутковість активу та портфеля;

– дисперсія портфеля;

– коефіцієнт Шарпа.

Дисперсія активу – важливий індикатор, що відображає як може коливатися прибуток від інвестиції у даний актив.

Нестабільність активу вимірюється як середньоквадратичне відхилення акцій компанії. Фактично, це просто корінь квадратний з дисперсії активу [14].

Дисперсія активу розраховується за формулою [15]:

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (1)$$

де  $x_i$  – прибутковість активу за  $i$ -й період часу;  $\bar{x}$  – середнє значення прибутковості активу;  $n$  – кількість екземплярів вибірки (кількість днів/місяців/періодів часу).

Коваріація вимірює залежність між прибутковістю двох окремих активів. Більш загально, коваріація вимірює взаємодію двох випадкових величин. Для сфери інвестицій це міра, що враховує дисперсію індивідуальних значень дохідності цінного паперу та силу зв'язку між змінами дохідності даного цінного паперу та інших.

Позитивна коваріація означає, що віддачі двох активів прямо пропорційні, негативна коваріація означає, що віддачі двох активів обернено пропорційні.

Ця міра може приймати необмежені значення, на відміну від свого стандартизованого родича, кореляції. Інтерпретувати коваріацію дещо важко за рахунок великих чисельних значень, тому найчастіше для оцінки зв'язку між активами використовують коефіцієнт кореляції.

Коефіцієнт кореляції лежить в інтервалі від -1 до 1. Значення -1 та 1 означає сильну лінійну залежність, але у різних напрямках, значення ближче до 0 означає відсутність лінійної залежності.

Розрахування коваріації та кореляції відбувається за наступними формулами [15]:

$$\text{cov}(X, Y) = \frac{\sum (R_x - \bar{R}_x)(R_y - \bar{R}_y)}{n-1}; \quad (2)$$

$$\text{cor}(X, Y) = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (3)$$

де  $R_x, R_y$  – значення прибутковості активів;  $n$  – розмір вибірки (кількість місяців);  $\bar{R}_x$  та  $\bar{R}_y$  – середні значення прибутковості активів;  $\sigma_x$  та  $\sigma_y$  – середньоквадратичні відхилення активів.

Очікувана прибутковість активу вимірюється як середнє арифметичне прибутковості за певний період, найчастіше за останній рік.

Очікувана прибутковість портфелю вираховується як сума добутків ваги активу на його індивідуальну очікувану прибутковість [15]:

$$R_p = \sum w_i R_i, \quad (4)$$

де  $R_p$  – очікувана прибутковість портфелю;  $w_i$  – вага  $i$ -го активу в портфелі;  $R_i$  – очікувана прибутковість  $i$ -го активу в портфелі.

Дисперсія портфелю використовується як міра ризику в побудованій моделі. Висока дисперсія (волатильність) означає високий ризик для набору активів у портфелі [15].

$$\sigma^2 = \sum w_i^2 \sigma_i^2 + \sum \sum w_i w_j \sigma_i \sigma_j \text{cov}(i, j), \quad (5)$$

де  $w_i$  та  $w_j$  – ваги активів у портфелі;  $\sigma_i$  та  $\sigma_j$  – середньоквадратичне відхилення;  $\text{cov}(i, j)$  – коваріація активів.

Коефіцієнт Шарпа вимірює, скільки надлишкової віддачі отримується за додаткову нестабільність при зберіганні більш ризикованого активу. Загалом, вище значення коефіцієнта Шарпа вказує на кращі та вигідніші інвестиції. Таким чином, якщо порівнювати два портфелі з подібними профілями ризику, враховуючи всі інші рівні, було б краще інвестувати в портфель із вищим коефіцієнтом Шарпа [16].

Розрахування коефіцієнту Шарпа проводиться за формулою [15]:

$$\frac{R_p - R_f}{\sigma_p}, \quad (6)$$

де  $R_p$  – віддача портфелю;  $R_f$  – безризикова ставка;  $\sigma_p$  – волатильність портфелю.

Для програмної реалізації портфельної оптимізації було обрано мову програмування Python. Ця мова дуже широко використовується для обробки даних та їх візуалізації. Більше того, мова програмування надає можливість використовувати алгоритми квадратичної оптимізації функції з лінійними обмеженнями, не реалізуючи алгоритм самостійно, дозволяючи сфокусуватись саме на даних та їх обробці [8]–[13]. Для оптимізації було використано функцію `minimize` бібліотеки `scipy.optimize`. Дана функція дозволяє задати початкові значення для аргументів, які вона буде оптимізувати.

Програмний застосунок надає можливість завантажувати вхідний файл зі щоденною ціною на акції обраних компаній; генерувати графіки для візуалізації процесу

обробки даних; оптимізувати інвестиційний портфель, складений із акцій обраних компаній, використовуючи функції оптимізації за коефіцієнтом Шарпа та волатильністю.

Перелік файлів програми:

portfolio.py – файл з основними методами оптимізації та зчитування даних;

main.py – файл з графічним інтерфейсом користувача;

get\_data.py – файл для завантажування даних акцій компаній з мережі Інтернет.

Вхідні дані – файл .csv, де стовпчики – задана компанія, рядки – щоденна ціна на акції обраних компаній.

Вихідні дані – графічне відображення методів оптимізації інвестиційних портфелів.

Для тестування реалізованих методів оптимізації використовувалися дані акцій таких енергетичних компаній:

- China Petroleum & Chemical Corporation (SNP);
- Royal Dutch Shell (RDSA.AS);
- Роснафта (ROSN.ME);
- British Petroleum (BP);
- Exxon Mobil Corporation (XOM).

Дані були взяті за період з 01.01.2013 по 25.12.2020 з ресурсу [finance.yahoo.com](http://finance.yahoo.com) за допомогою бібліотеки Python pandas\_datareader [17].

Під випадковою генерацією портфелів розуміється випадковий розподіл активів у портфелі таким чином, щоб сумарна вага усіх активів становила 1.

Очевидно, що випадкова генерація активів не гарантує оптимального результату, саме тому для випадкового згенерованих портфелів потрібно проводити фільтрації та обробки. Попри такий важливий недолік, у випадкової генерації портфелів наявні дуже важливі переваги: випадкова генерація портфелів часто дозволяє згенерувати велику кількість портфелів, не потребуючи даних про розподіл з індексних фондів; згенеровані портфелі можна використовувати для математичної оптимізації, кожного разу створюючи нові умови для мінімізації чи максимізації функції за заданими обмеженнями.

З випадково згенерованих портфелів було обрано найкращі за коефіцієнтом Шарпа та за мінімізацією волатильності портфелю.

На рисунку 2 зображено результат випадкової генерації портфелів.

Віддача, скоригована на ризик, уточнює віддачу інвестиції, вимірюючи, наскільки сильно ризик пов'язаний з її прибутком. Може існувати ціла низка різних методів вираження коригування ризику, і коефіцієнт Шарпа є одним із них.

Оптимізація шляхом максимізації коефіцієнту Шарпа полягає у тому, щоб максимізувати надлишкову віддачу, при цьому не сильно підвищуючи ризики. Оскільки функції оптимізації здебільшого саме на мінімізацію функції, для реалізації даного методу було використано негативний коефіцієнт Шарпа і мінімізовано його значення.

Для того, щоб оптимізація спрацювала враховуючи обмеження предметної області, потрібно задати деякі лінійні обмеження. Єдиним обмеженням в тестовому випадку є сума ваг усіх активів портфелю, її значення завжди має дорівнювати одиниці. Для цього було встановлено рівний розподіл активів у портфелі. Також було проведено декілька тестів з використанням згенерованих портфелів.

На рисунку 3 зображено портфель з максимальним коефіцієнтом Шарпа серед випадково згенерованих портфелів, та портфель з оптимізованим максимальним коефіцієнтом Шарпа.

Іншим методом оптимізації було визначено мінімізацію волатильності портфелю. Для оптимізації даної функції було накладено такі самі обмеження, як і на максимі-

зацію коефіцієнту Шарпа. Сума ваг усіх активів має бути рівною одиниці. Завдяки використанню функцію minimize з бібліотеки scipy.optimize можна було регулювати початкові значення ваг активів у портфелі і встановлювати значення з випадково згенерованих портфелів.

На рисунку 4 зображено портфель з мінімальною волатильністю з випадково згенерованих портфелів та портфель з мінімізованою волатильністю.

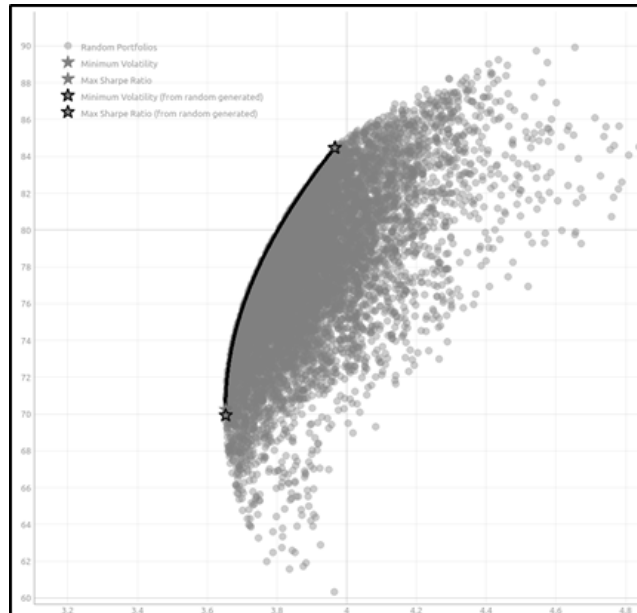


Рисунок 2 – Випадкова генерація портфелів

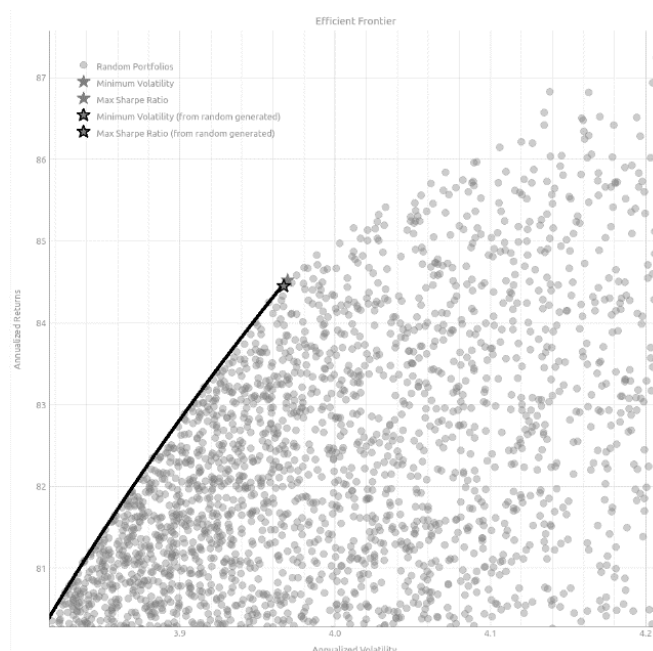


Рисунок 3 – Максимальний та оптимізований коефіцієнти Шарпа



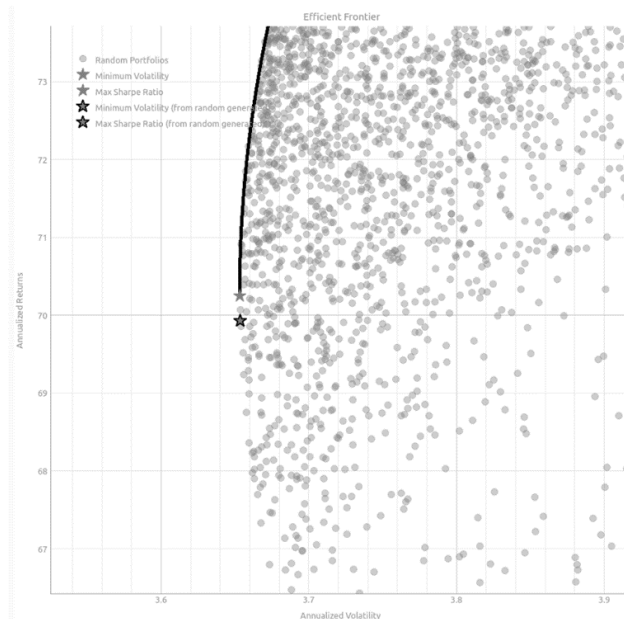


Рисунок 4 – Мінімальна та оптимізована волатильність портфельів

**Висновки.** В даній роботі досліджена актуальна задача оптимізації фінансового портфелю будь-яких активів, що дозволяє в тому числі використовувати розроблене програмне забезпечення для оптимізації управління портфелями проектів енергозбереження.

За результатами дослідження розроблено програмний застосунок, який дозволяє завантажити дані, згенерувати випадкові портфелі та оптимізувати їх шляхом максимізації коефіцієнту Шарпа та мінімізації волатильності портфелю. Графічними результатами програми є графіки, що дозволяють оператору краще оцінити ситуацію та програмно створений портфель.

Програма була протестована на даних про акції енергозберігаючих компаній, проте через брак даних та через фінансову кризу у галузі енергозбереження у 2020 році, дані не дозволяють повністю продемонструвати функціонал розробленого продукту. Програма також була добре протестована на даних про технологічні компанії.

Розроблена система надає можливість отримати оптимальний розподіл активів у фінансовому портфелі

#### Література

1. Хадарцев, О.В. Портфельні теорії управління фінансовими інвестиціями: навчальний посібник [Текст] / О.В. Хадарцев. – Полтава: ПолтНТУ, 2018. – 94 с.
2. Льовкін В.М. Методи та засоби прийняття інвестиційних рішень в умовах невизначеності [Текст] : автореф. дис. ... канд. тех. наук : 01.05.04 / Льовкін Валерій Миколайович ; Харківський нац. ун-т радіоелектроніки – Харків, 2013. – 20 с.
3. Буренин, А.Н. Управление портфелем ценных бумаг [Текст] / А.Н. Буренин. – М. : Научно-техническое общество имени академика С.И. Вавилова, 2008. – 440 с.
4. Матвеев, А.А. Модели и методы управления портфелями проектов [Текст] / А.А. Матвеев, Д.А. Новиков, А.В. Цветков. – М. : ПМСОФТ, 2005. – 206 с.
5. Rebalancing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.investopedia.com/terms/r/rebalancing.asp>.

6. Брігхем, Є.Р. Основи фінансового менеджменту: Пер. з англ. / Є.Р. Брігхем.— К.: Вазако, 1997.— 1000 с.
7. Камінський, А.Б. Моделювання фінансових ризиків : Монографія [Текст] / А.Б. Камінський. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2006. – 304 с.
8. Harry Markowitz's Modern Portfolio Theory: The Efficient Frontier [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.guidedchoice.com/video/dr-harry-markowitz-father-of-modern-portfolio-theory/>.
9. Markowitz's Efficient Frontier in Python [Part 1/2] [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/python-data/efficient-frontier-in-python-34b0c3043314>.
10. Efficient Frontier & Portfolio Optimization with Python [Part 2/2] [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/python-data/efficient-frontier-portfolio-optimization-with-python-part-2-2-2fe23413ad94>.
11. Efficient Frontier Portfolio Optimisation in Python [Electronic resource]. – Access mode: <https://towardsdatascience.com/efficient-frontier-portfolio-optimisation-in-python-e7844051e7f>.
12. Automating Portfolio Optimization and Allocation using Python [Electronic resource]. – Access mode: <https://towardsdatascience.com/automating-portfolio-optimization-using-python-9f344b9380b9>.
13. Portfolio Optimization with Python using Efficient Frontier with Practical Examples [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.machinelearningplus.com/machine-learning/portfolio-optimization-python-example/#6-fundamental-terms-in-portfolio-optimization>.
14. Variance & Standard Deviation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/science-fair/variance-and-standard-deviation>.
15. Portfolio Optimization with Python using Efficient Frontier with Practical Examples [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.machinelearningplus.com/machine-learning/portfolio-optimization-python-example/#6-fundamental-terms-in-portfolio-optimization>.
16. Вітлінський, В.В. Аналіз, моделювання та управління економічним ризиком: Навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. [Текст] / В.В. Вітлінський, П.І. Верченко. – К. : КНЕУ, 2000. – 292 с.
17. Yahoo Finance – Stock Market Live, Quotes, Business & Finance News [Electronic resource]. – Access mode: <https://finance.yahoo.com/>.

#### Bibliography (transliterated)

1. Hadarcev, O.V. (2018). Portfel'ni teorii' upravlinnja finansovymy investycijamy: navchal'nyj posibnyk. Poltava: PoltNTU, 94.
2. L'ovkin, V.M. (2013). Metody ta zasoby pryjnattja investycijnyh rishen' v umovah nevyznachenosti: dissertation abstract ... candidate of technical sciences: 01.05.04 / Kh.: KhNURE, 20.
3. Burenin, A.N. (2008). Upravlenie portfelem cennyh bumag. M.: Nauchno-tehnicheskoe obshhestvo imeni akademika S.I. Vavilova 440.
4. Matveev, A.A., Novikov D.A., Cvetkov A.V. (2005). Modeli i metody upravlenija portfeljami proektov. M.: PMSOFT, 206.

5. Rebalancing [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.investopedia.com/terms/r/rebalancing.asp>.
6. Brigham, Je. R. (1997). Osnovy finansovogo menedzhmentu. K.: Vazako, 1000.
7. Kamins'kyj, A.B. (2006). Modeljuvannja finansovyh ryzykiv : Monografija. K. : Vydavnycho-poligrafichnyj centr «Kyiv's'-kyj universytet», 304.
8. Harry Markowitz's Modern Portfolio Theory: The Efficient Frontier [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.guidedchoice.com/video/dr-harry-markowitz-father-of-modern-portfolio-theory/>.
9. Markowitz's Efficient Frontier in Python [Part 1/2] [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/python-data/efficient-frontier-in-python-34b0c3043314>.
10. Efficient Frontier & Portfolio Optimization with Python [Part 2/2] [Electronic resource]. – Access mode: <https://medium.com/python-data/efficient-frontier-portfolio-optimization-with-python-part-2-2-fe23413ad94>.
11. Efficient Frontier Portfolio Optimisation in Python [Electronic resource]. – Access mode: <https://towardsdatascience.com/efficient-frontier-portfolio-optimisation-in-python-e7844051e7f>.
12. Automating Portfolio Optimization and Allocation using Python [Electronic resource]. – Access mode: <https://towardsdatascience.com/automating-portfolio-optimization-using-python-9f344b9380b9>.
13. Portfolio Optimization with Python using Efficient Frontier with Practical Examples [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.machinelearningplus.com/machine-learning/portfolio-optimization-python-example/#6-fundamental-terms-in-portfolio-optimization>.
14. Variance & Standard Deviation [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/science-fair/variance-and-standard-deviation>.
15. Portfolio Optimization with Python using Efficient Frontier with Practical Examples [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.machinelearningplus.com/machine-learning/portfolio-optimization-python-example/#6-fundamental-terms-in-portfolio-optimization>.
16. Vitlins'kyj, V.V., Verchenko, P.I. (2000). Analiz, modeljuvannja ta upravlinnja ekonomichnym ryzykom: Navch.-metod. posibnyk dlja samost. vyvch. dysc. K. : KNEU, 292.
17. Yahoo Finance – Stock Market Live, Quotes, Business & Finance News [Electronic resource]. – Access mode: <https://finance.yahoo.com/>.

УДК 004.9; 519.816

Кійко С.Г., д. техн. н., голова правління, Дейнега Л.Ю., ст. викладач, Басанець М.І., студент, Каменський Д.В., студент, Діденко А.С., студент

## **УПРАВЛІННЯ ПОРТФЕЛЯМИ ПРОЄКТІВ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ МАРКОВИЦА**

Метою роботи було: виявити, дослідити та порівняти методи управління портфелями проєктів енергозбереження та розробити програмне забезпечення для оптимізації портфельних інвестицій за допомогою декількох методів. Розглянуто ключові елементи та стратегії створення ефективного інвестиційного портфелю: диверсифікація, ребалансування, активне управління портфелем, пасивне управління портфелем.

Враховуючи основні принципи інвестиційної теорії, задачею портфельного інвестування є формування інвестиційного портфелю з відомими частками певних активів для максимізації віддачі та мінімізації ризику. Для вирішення даної проблеми було обрано методика Гарі Марковича, відомої як сучасна портфельна теорія. Це теорія фінансових інвестицій, у межах якої за допомогою статистичних методів здійснюють якомога вигідніший розподіл ризику портфеля цінних паперів і оцінювання доходу, складовими елементами її є оцінювання активів, прийняття інвестиційних рішень, оптимізація портфеля, оцінювання отриманих результатів. З математичної точки зору задача з формування оптимального портфеля є задачею оптимізації квадратичної функції (пошук мінімуму) при лінійних обмеженнях аргументів функції.

Проаналізовані методи оптимізації портфелів проектів енергозбереження з врахуванням специфіки предметної області. За результатами аналізу обрано методи пошуку максимального коефіцієнта Шарпа та мінімальної волатильності з випадково згенерованих портфелів.

Розроблено програмний застосунок, що дозволяє завантажити дані, згенерувати випадкові портфелі та оптимізувати їх обраними методами. Реалізовано також графічне відображення результатів оптимізації портфелів. Програма була протестована на даних про акції енергозберігаючих компаній. Побудовані програмою графіки дозволяють оператору краще оцінити створений портфель проекту енергозбереження.

**Ключові слова:** енергозбереження; сучасна портфельна теорія; методи оптимізації; диверсифікація; ребалансування; портфель проектів; коефіцієнт Шарпа; волатильність портфелю.

Кийко С.Г., д. техн. н., предс. правління, Дейнега Л.Ю., ст. преподаватель,  
Басанец М.И., студент, Каменский Д.В., студент, Диденко А.Е., студент

## **УПРАВЛЕНИЕ ПОРТФЕЛЯМИ ПРОЕКТОВ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ МАРКОВИЦА**

Целью работы было: выявить, исследовать и сравнить методы управления портфелями проектов энергосбережения и разработать программное обеспечение для оптимизации портфельных инвестиций с помощью нескольких методов. Рассмотрены ключевые элементы и стратегии создания эффективного инвестиционного портфеля: диверсификация, ребалансирование, активное управление портфелем, пассивное управление портфелем.

Учитывая основные принципы инвестиционной теории, задачей портфельного инвестирования является формирование инвестиционного портфеля с известными частями определенных активов для максимизации отдачи и минимизации риска. Для решения данной проблемы была выбрана методика Гарри Марковица, известная как современная портфельная теория. Это теория финансовых инвестиций, в рамках которой с помощью статистических методов осуществляют как можно выгоднее распределение риска портфеля ценных бумаг и оценку дохода, составляющими элементами ее является оценка активов, принятие инвестиционных решений, оптимизация портфеля, оценка полученных результатов. С математической точки зрения задача по формированию оптимального портфеля является задачей оптимизации квадратичной функции (поиск минимума) при линейных ограничениях аргументов функции.

Проанализированы методы оптимизации портфелей проектов энергосбережения с учетом специфики предметной области. По результатам анализа выбраны методы поиска максимального коэффициента Шарпа и минимальной волатильности из случайно сгенерированных портфелей.

Разработан программное приложение, позволяющее загрузить данные, сгенерировать случайные портфели и оптимизировать их выбранными методами. Реализовано также графическое отображение результатов оптимизации портфелей. Программа была протестирована на данных об акциях энергосберегающих компаний. Построенные программой графики позволяют оператору лучше оценить созданный портфель проекта энергосбережения.

**Ключевые слова:** энергосбережение; современная портфельная теория; методы оптимизации; диверсификация; ребалансирование; портфель проектов; коэффициент Шарпа; волатильность портфеля.

Kiyko S.H., Deineha L.Y., Basanets M.I., Kamienskyi D.V., Didenko A.E.

## PORTFOLIO MANAGEMENT OF ENERGY SAVING PROJECTS BASED ON THE MARKOVITS THEORY

The goal of the work was to identify research and compare methods of portfolio management of energy saving projects and to develop software for optimizing portfolio investments using several methods. The key elements and strategies of creating an effective investment portfolio are considered: diversification, rebalancing, active portfolio management, passive portfolio management.

Given the basic principles of investment theory, the task of portfolio investment is to form an investment portfolio with known shares of certain assets to maximize returns and minimize risk. To solve this problem, the method of Harry Markowitz, known as modern portfolio theory, was chosen. This is the theory of financial investment, in which statistical methods are used to make the most profitable risk distribution of the securities portfolio and income valuation, its components are asset valuation, investment decisions, portfolio optimization, evaluation of results. From a mathematical point of view, the problem of forming an optimal portfolio is the problem of optimizing a quadratic function (finding the minimum) with linear constraints on the arguments of the function.

Methods of optimization of portfolios of energy saving projects taking into account the specifics of the subject area are analyzed. According to the results of the analysis, the methods of finding the maximum Sharpe's ratio and the minimum volatility from randomly generated portfolios were chosen.

A software application has been developed that allows you to download data, generate random portfolios and optimize them with selected methods. A graphical display of portfolio optimization results has also been implemented. The program was tested on data on shares of energy saving companies. The graphs built by the program allow the operator to better assess the created portfolio of the energy saving project.

**Keywords:** energy saving; modern portfolio theory; optimization methods; diversification; rebalancing; project portfolio; Sharpe's ratio; portfolio volatility.