

УДК 005.8:330.332

Рижков Сергій Сергійович

Доктор технічних наук, професор кафедри екології та природоохоронних технологій,
orcid.org/0000-0001-9560-2765

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв

Бурунсуз Катерина Сергіївна

Аспірантка кафедри екології та природоохоронних технологій, *orcid.org/0000-0001-5778-6663*

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв

Гончарова Наталія Олександрівна

Кандидат технічних наук, доцент кафедри турбін, *orcid.org/0000-0001-6620-4055*

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв

ІНВЕСТИЦІЙНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ПЛАЗМОХІМІЧНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ТА РИЗИКІВ

***Анотація.** Реалізація проектів створення енергетичних комплексів з плазмохімічними елементами вимагає великих обсягів фінансових вкладень. У зв'язку з цим викликає науковий і практичний інтерес використання методу Монте-Карло для оцінки доцільності проектів створення енергетичних комплексів з ПХЕ в умовах невизначеності і ризиків. Наведено узагальнену схему аналізу інвестиційної привабливості проектів зі створення комплексів з ПХЕ, розглянуто особливості застосування методу Монте-Карло. Проведено аналіз зміни світових цін на викопне паливо за прогнозами базового сценарію ЄС на 2016 рік. Побудовано графічні залежності для функції густини ймовірності вартості природного газу та кам'яного енергетичного вугілля, наведено прогноз змін цін на електроенергію, що відпускається різними секторами споживачів. За 15 років експлуатації розраховано сумарний дисконтований дохід енергоустановок ТЕС, що працюють на природному газі та з плазмохімічною газифікацією вугілля. Представлено результати аналізу індексу прибутковості енергоустановок ТЕС різних типів з використанням методу Монте-Карло.*

***Ключові слова:** метод Монте-Карло; плазмохімічні елементи; функція густини ймовірності; індекс прибутковості; сумарний дисконтований дохід*

Постановка проблеми

Інвестиційні міжнародні проекти створення енергетичних комплексів з плазмохімічними елементами (ПХЕ) є довгостроковими і великомасштабними, з довгим терміном окупності. Оскільки їх реалізація вимагає значних обсягів фінансових вкладень для обґрунтування прийнятих рішень, пов'язаних з інвестуванням подібних проектів, необхідна розробка методів порівняння інвестиційної доцільності та ефективності різних енергетичних проектів.

Відомо, що метод дисконтованих грошових потоків є одним з основних інструментів фінансового аналізу, коли ідентифіковані незначні ризики [6]. Проте в умовах високої невизначеності і ризиків проектів створення комплексів з ПХЕ краще використовувати альтернативні методи, одним з яких є метод Монте-Карло [11; 14]. На жаль, на сьогодні відсутні будь-які дані щодо застосування методу Монте-Карло для розрахунків чистого дисконтованого доходу (NPV) інвестиційних

проектів створення енергетичних технологій. Тому питання проведення аналізу інвестиційної доцільності проектів створення енергетичних комплексів з ПХЕ в умовах невизначеності і ризиків з використанням методу Монте-Карло являє собою актуальну науково-прикладну задачу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Метод дисконтованих грошових потоків (DCF) був розроблений в тридцять років минулого сторіччя. Автором даного методу вважається видатний економіст В. Фішер, який у роботі «Теорія процентних ставок» (1930 р.) ввів поняття чистої приведеної вартості [15]. У подальшому значний внесок у розвиток методу внесли такі економісти, як Д. Кейнс (запропонував концепцію внутрішньої ставки дохідності – IRR) і Е. Соломон [19], який розробив ідею залишкової, або кінцевої, вартості (Terminal Value) компанії. Осць вже понад 80 років DCF є одним з основних фінансових інструментів аналізу: він у різних варіантах широко

використовується для оцінки фундаментальної вартості компаній та обчислення чистої приведеної вартості різних інвестиційних проектів.

Незважаючи на свою популярність, цей метод має ряд широко відомих недоліків, як з теоретичної так і з практичної точки зору. На практичному рівні метод дисконтованих грошових потоків дуже чутливий до змін в параметрах фінансової моделі, наприклад, в ставці дисконтування або темпах зростання грошових потоків. В результаті невеликі зміни в цих параметрах можуть призвести до істотних коливань чистої приведеної вартості проектів [6].

На теоретичному рівні метод дисконтованих грошових потоків не враховує ймовірнісний характер результатів інвестиційного проекту, ігнорує стратегічну складову вартості і не дозволяє оцінити вартість управлінської гнучкості (тобто можливості приймати оптимізуючі управлінські рішення по ходу реалізації проектів). Особливо незадовільно працює DCF в умовах високої невизначеності і ризику [6].

При значній безперервній невизначеності останнім часом пропонується застосовувати комп'ютерне моделювання за методом Монте-Карло [14]. Метод Монте-Карло є частиною ймовірнісних методів, які використовуються в моделюванні ризиків. За цим методом спочатку генерують штучні значення змінних за допомогою генератора випадкових чисел, наприклад, рівномірно розподілених в інтервалі $[0, 1]$ і пов'язаних інтегральною функцією розподілу. Потім отримують ймовірності розподілу параметрів, що описують поведінку стохастичних змінних [14].

Відмітимо, що на сьогодні аналіз інвестиційної доцільності міжнародних проектів створення енергетичних комплексів з ПХЕ в умовах невизначеності і ризиків практично відсутній.

Мета статті

Метою статті є аналіз інвестиційної доцільності проекту створення енергетичного комплексу теплової електростанції (ТЕС) з плазмохімічною газифікацією вугілля на стадії ініціації та порівняння її з проектом ТЕС, що працює на природному газі, за допомогою методу Монте-Карло.

Виклад основного матеріалу

В оцінці інвестиційних проектів серед зарубіжних методик проектного аналізу найбільшого поширення набула методологія оцінки ефективності інвестиційних проектів UNIDO (методика Організації з промислового розвитку ООН). Ця методика підходить не тільки для нових інвестицій, але так само придатна для проектів з розширення, модернізації та репродукування підприємств [9].

Оцінка інвестиційного проекту з тривалим життєвим циклом проводиться в умовах невизначеності та ризиків, оскільки в момент планування проекту не можна точно спрогнозувати майбутню динаміку тарифів на електроенергію, вартість палива і робочої сили та ін.

Існує два основних підходи оцінки ризиків: кількісний і якісний. Якісний аналіз передбачає виявлення ризиків, властивих проекту, їх опис і групування. Опис ризиків на етапі якісного аналізу не надає інформації про можливі втрати або їх ймовірності, він служить основою для кількісного аналізу ризиків.

Для кількісної оцінки економічних ризиків проектів застосовують різні методи імітаційного моделювання. В даній роботі для аналізу інвестиційної доцільності проекту створення енергетичного комплексу з ПХЕ запропоновано використовувати метод Монте-Карло. Імітаційне моделювання за методом Монте-Карло дає можливість створити математичну модель для проекту з невизначеними значеннями параметрів. Враховуючи ймовірнісний розподіл великої кількості параметрів проекту, а також кореляцію цих параметрів можна отримати розподіл прибутковості проекту [11].

Для аналізу інвестиційної привабливості проекту зі створення комплексу з ПХЕ будемо використовувати такі основні показники економічної ефективності: чистий дисконтований дохід (NPV), дисконтований період окупності проекту (DPP) та індекс прибутковості (PI) [3;4].

В рамках методу Монте-Карло аналіз ризику виконується за допомогою моделей можливих результатів. При створенні таких моделей будь-який фактор, якому властива невизначеність, замінюється діапазоном значень – розподілом ймовірностей. Розподіли ймовірностей являють собою набагато більш реалістичний спосіб опису невизначеності змінних в процесі аналізу ризику. Потім виконуються багаторазові розрахунки результатів, причому кожен раз використовується інший набір випадкових значень функцій ймовірності. Результат аналізу ризику виражається у вигляді ймовірності [2].

Метод Монте-Карло відноситься до імітаційних методів моделювання і дозволяє отримати не окремі сценарії розвитку проекту (найкращий, найгірший і найбільш вірогідний), а сотні можливих комбінацій факторів з урахуванням їх ймовірнісного розподілу [14].

Блок-схема, що наведена на рис. 1, відображає узагальнену схему роботи з моделлю аналізу інвестиційної привабливості проектів зі створення ПХЕ. Схема використання методу Монте-Карло в кількісному аналізі ефективності та ризиків містить у собі побудову математичної моделі вихідного показника функціонування системи як функції

вхідних змінних і параметрів системи. Основна логіка процедури побудови моделі полягає у визначенні вхідних і вихідних змінних, що включаються у модель, встановленні меж діапазону зміни ризик-змінних (чинників ризику), у виборі виду закону розподілу, якому підпорядковуються випадкові вхідні змінні, а також в оцінці його числових характеристик і визначенні взаємозв'язку (функціональної та ймовірнісної залежності) між змінними [10].

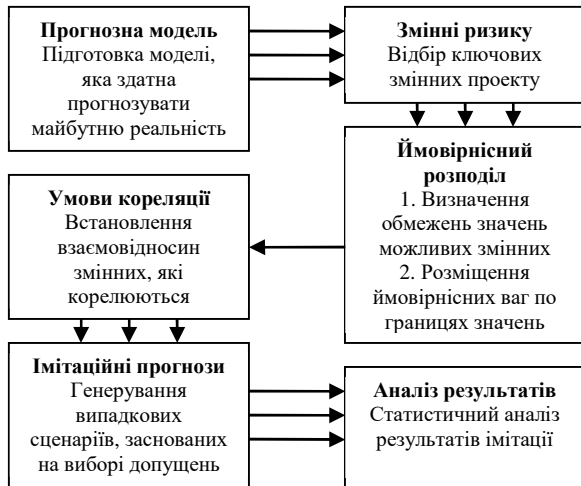


Рисунок 1 – Блок-схема роботи методу Монте-Карло

Узагальнена математична модель системи, що досліджується, має вигляд:

$$y = f(X, A),$$

де y – вихідний показник функціонування системи; f – функція, що встановлює зв'язок між вихідним показником і вхідними змінними через параметри системи; $X = (X_1, \dots, X_n)$ – n -мірний вектор ризик-змінних (випадкових величин); $A = (A_1, \dots, A_m)$ – m -мірний вектор параметрів системи (детермінованих величин).

Вихідні показники системи перераховуються при кожному новому імітаційному експерименті, в рамках якого значення випадкових величин вибираються на основі генерації псевдовипадкових чисел, підпорядкованих заданими законами розподілу ймовірностей. Результати імітаційних експериментів об'єднуються у вибірку і аналізуються за допомогою статистичних методів з метою отримання розподілу ймовірностей вихідного показника та розрахунку основних показників (вимірювачів) ризику стратегії.

У даному дослідженні імітаційне моделювання здійснювалось за допомогою візуального пакету програмного забезпечення Analytica Free 101 Edition компанії Lumina Decision Systems [18], що призначений для створення, аналізу і передачі кількісних моделей прийняття рішень. Цей продукт цікавий тим, що він поєднує в собі ієрархічні діаграми впливу для візуального створення різних моделей і інтелектуальних масивів при роботі

з багатовимірними даними, моделювання методом Монте-Карло для аналізу ризику та невизначеності, а також розв'язання задач оптимізації, в тому числі за допомогою лінійного та нелінійного програмування.

На рис. 2 представлено структурну схему визначення основних показників економічної ефективності проектів зі створення енергетичних комплексів традиційної теплової електростанції, що працює на природному газі, та перспективної ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля на стадії їх ініціації з використанням методу Монте-Карло.

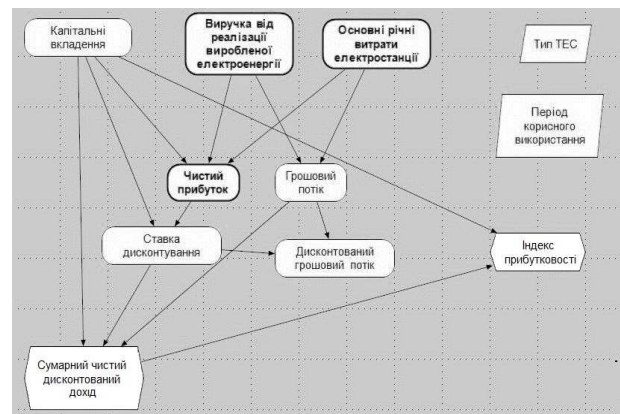


Рисунок 2 – Структурна схема визначення параметрів інвестиційної доцільності проектів створення енергетичних комплексів

Для розрахунку показника NPV необхідно визначити такі основні параметри: капітальні витрати на будівництво енергетичного комплексу електростанції, виручку від реалізації виробленої електроенергії, а також основні річні витрати електростанції.

Основні річні витрати електростанції (рис. 3) містять у собі витрати на придбання палива (природний газ та вугілля), оплату праці [4], єдиний соціальний внесок (22% від фонду оплати праці) та інші поточні витрати (що становлять близько 200% від фонду заробітної плати [13]), включаючи витрати на ремонтні роботи.

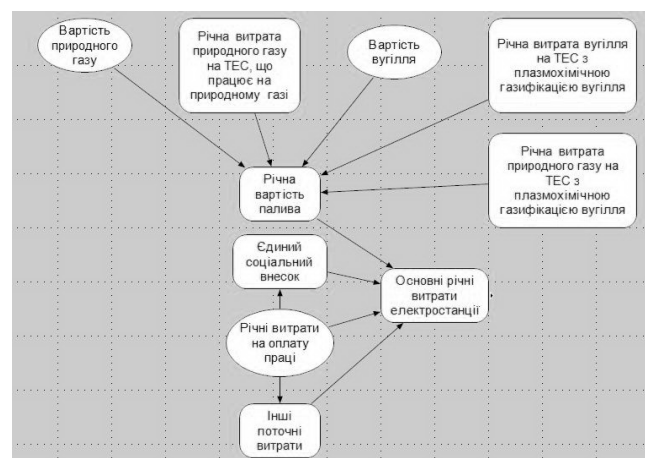


Рисунок 3 – Структура основних річних витрат теплової електростанції

При розробці моделі для оцінки перспективності інвестиційного проекту енергоблоків електростанцій використовувалися такі види розподілу ймовірностей ризик-змінних: нормальний розподіл і трикутний розподіл.

Припустимо, що зміни у вартості енергоносіїв (природний газ та вугілля) описуються нормальним розподілом випадкових величин. На користь цього допущення говорять дані роботи [6], де досліджувалась інвестиційна привабливість різних фінансових проектів, в тому числі проекту розробки нафтового родовища. Для опису відхилення значення вартості палива від середнього необхідно визначити його очікуване значення і стандартне відхилення. Значення, що розташовані поруч із середнім, характеризуються найбільш високою ймовірністю.

Для оцінки прогнозованої вартості палива на наступні 15 років використано базовий європейський сценарій еволюції світових цін на викопне паливо, який був розроблений за допомогою глобальної моделі часткової рівноваги енергетичної системи PROMETHEUS [16]. В моделі PROMETHEUS має місце послідовна зміна цін на нафту, природний газ і вугілля на основі розвитку світового попиту на енергоносії, ресурси і резерви, витрат видобутку та двосторонньої торгівлі між регіонами.

Динаміка світових цін на викопні види палива сильно залежить від жорсткості кліматичної політики, яка спрямована на обмеження споживання викопного палива. Прогноз містить явні припущення щодо витрат на технологію, податки і субсидії (особливо в країнах, що розвиваються), підвищення енергетичної ефективності, а також геополітичних міркувань (наприклад, роль ОПЕК).

На рис. 4 показано зміни світових цін на викопне паливо за прогнозами [16], що використовується для базового сценарію ЄС на 2016 рік (пунктирні лінії представляють базовий сценарій ЄС на 2013 рік).

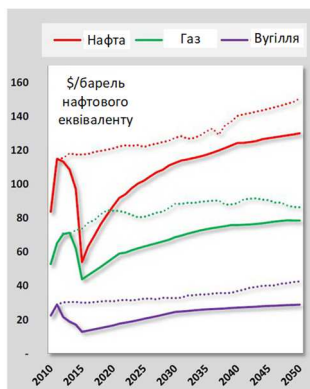


Рисунок 4 – Ціни викопного палива [16]

Протягом 2013-15 рр. середній індекс цін на газ ЄС скоротився на 27% в перерахунку на Євро (і 39% у доларах США) після еволюції світових цін на нафту (41 і 50% відповідно) і пом'якшення умов світового

ринку зрідженого природного газу переважно внаслідок розробок сланцевого газу в Північній Америці. Крім того, недавнє зниження в середньому по ЄС цін на імпорт газу є результатом підвищення конкурентоспроможності Європейського газового ринку.

У період після 2020 року в середньому по ЄС прогнозується підвищення цін імпорту газу до 69 \$/барель нафтового еквівалента в 2030 році і 79 \$/барель нафтового еквівалента в 2050 році, тобто ціни будуть на 11% вище, ніж останні піки в 2008 і 2012 роках. Це збільшення обумовлено високими темпами зростання споживання природного газу в економіках, що розвиваються, в основному в Китаї, Індії, на Близькому Сході та Північній Африці і постійно зростаючими міжнародними цінами на нафту, які впливають на нафтову індексацію газу в імпортних контрактах ЄС [16].

До 2020 року прогноз PROMETHEUS передбачає відносну стабілізацію цін на вугілля (ввезеного в ЄС) на рівні 2014 року, тобто близько 16,5 \$ за барель нафтового еквівалента. Ця стабілізація є результатом уповільнення темпів зростання світового попиту на вугілля завдяки політиці в області зміни клімату та зобов'язань стосовно емісії викидів забруднюючих речовин, економії вуглецю, які обмежують споживання твердого палива у поєднанні з низькою траєкторією світових цін на нафту і газ.

З іншого боку, у період 2020-50 рр. імпорт вугілля в ЄС неухильно зростатиме від 16,5 \$/барель нафтового еквівалента в 2020 році до 29 \$/барель нафтового еквівалента в 2050 році, що обумовлено швидким зростанням попиту на вугілля в країнах з обмеженою політикою зниження викидів парникових газів після 2020 року, підвищенням світових цін на нафту та реструктуризацією світової вугільної галузі, з закриттям неефективних потужностей з видобутку вугілля в кількох країнах [16].

За рахунок зростання світових цін на газ у період 2020-50 рр. вугілля все більше буде замінювати газ у виробництві електроенергії, і таким чином, зростаючий попит на вугілля призведе до зростання його світових цін.

З урахуванням даних рис. 4 побудовано графічні залежності для функції густини ймовірності (probability density function PDF) вартості природного газу (рис. 5) та кам'яного енергетичного вугілля (рис. 6) протягом 15-річного періоду використання енергетичних комплексів на ТЕС, які необхідні для проведення аналізу інвестиційної доцільності проектів зі створення ПХЕ.

Положення вертикальних осей симетрії наведених графіків функції густини ймовірності визначає математичне сподівання величини вартості природного газу і вугілля для конкретного періоду використання, а значення середньоквадратичного

відхилення визначає висоту графіка. Чим менше значення середньоквадратичного відхилення, тим вищий і більш вузький графік, тобто тим більш прогнозовані величини вартості вугілля і природного газу. Розмах випадкових значень щодо математичного сподівання є мінімальним для перших п'яти років експлуатації ТЕС. Для періоду експлуатації ТЕС з 5 по 15 рік значення середньоквадратичного відхилення стають більшими, розмах вартості енергоресурсів збільшується відносно середньої очікуваної величини, прогнозування вартості енергоресурсів стає більш складним.

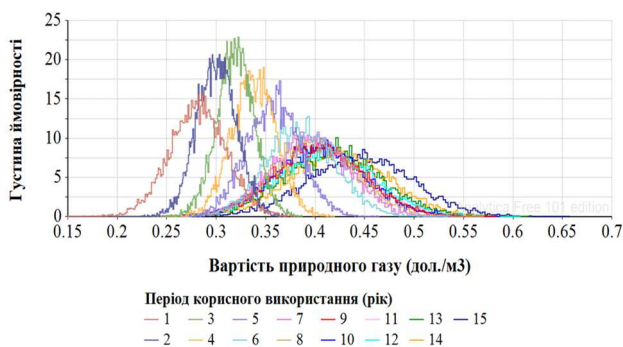


Рисунок 5 – Функції густини ймовірності вартості природного газу

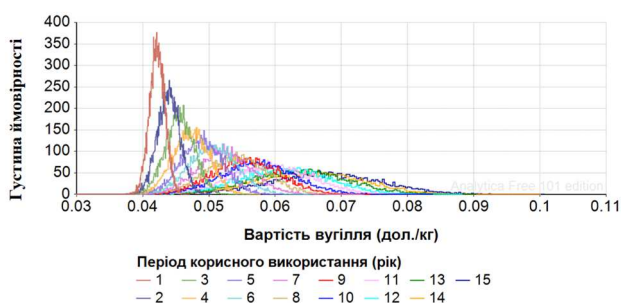


Рисунок 6 – Функції густини ймовірності вартості кам'яного енергетичного вугілля

Слід зазначити, що основні річні експлуатаційні витрати енергоустановок електростанції містять у собі витрати на придбання палива, які залежать від ціни та кількості енергоресурсів – природного газу і вугілля. При роботі енергокомплексу з плазмохімічною газифікацією вугілля для ряду експлуатаційних режимів для збільшення теплотворної спроможності синтез-газу необхідне сумісне використання газоподібного і твердого палива [12; 17].

Ціни на природний газ і вугілля являють собою незалежні випадкові величини. В рамках теорії ймовірності справедливе твердження про те, що результат будь-якої арифметичної операції з випадковими величинами є також випадкова величина, але, в загальному випадку, з іншим розподілом.

Таким чином, для арифметичних операцій з двома незалежними нормально розподіленими величинами $x_1 = N(m_1, \delta_1^2)$ і $x_2 = N(m_2, \delta_2^2)$ справедливі такі формули:

$$x_1 + x_2 = N(m_1 + m_2, \delta_1^2 + \delta_2^2);$$

$$C \cdot x_1 = N(C \cdot m_1, C^2 \delta_1^2);$$

$$C \cdot x_2 = N(C \cdot m_2, C^2 \delta_2^2).$$

де m_1, m_2 – математичне сподівання; δ_1^2, δ_2^2 – дисперсія; C – константа.

На рис. 7 наведені графіки густини ймовірностей середньої річної вартості палива для ТЕС, що працює тільки на природному газі, а також для ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля, що використовує низькосортне вугілля як основне паливо і природний газ в якості домішок.

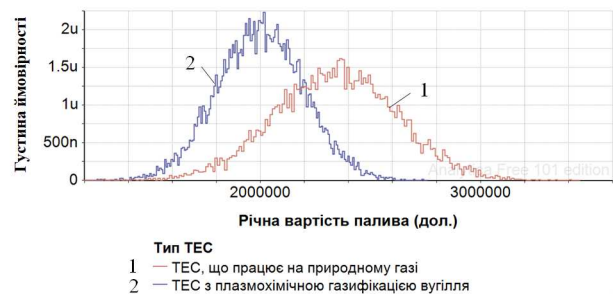


Рисунок 7 – Функції густини ймовірності середньої річної вартості палива (період експлуатації ТЕС 15 років)

На цьому і подальших рисунках прийняті скорочення: $u = 10^{-6}$; $n = 10^{-9}$.

Наступне допущення стосується характеру зміни у вартості електроенергії, що відпускається, а також річних витрат на оплату праці.

Будемо вважати, що ці змінні описуються за допомогою трикутного розподілу. Відмітимо, що трикутний розподіл використовують, як правило, для моделювання параметрів, які можна значною мірою контролювати [6]. Для цього необхідно визначити мінімальне, найбільш ймовірне і максимальне значення.

Прогнозування змін цін на електроенергію, що відпускається різним секторам споживачів, до 2050 року [16] показано на рис. 8. Цей прогноз обчислено з використанням моделі PRIMES, яка містить у своїй базі даних всі відомі на сьогодні заплановані інвестиції, у тому числі на продовження терміну служби, а також на планове виведення з експлуатації, засноване на комерційних базах даних і планах великих компаній.

З 2015 до 2020 року середні ціни на електроенергію збільшаться приблизно на 8%, що пов'язано зі збільшенням капітальних витрат. Після 2020 року середні ціни на електроенергію будуть зростати до 2030 року, а потім залишаться

стабільними (рис. 8) за рахунок економії коштів, отриманих від інвестування реструктуризації в електропостачання.

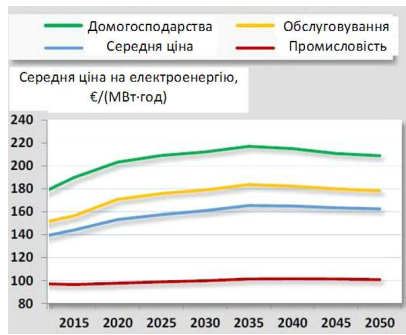


Рисунок 8 – Середня ціна на електроенергію, що відпускається різним споживачам

На рис. 9 показано залежності густини ймовірності вартості електроенергії, що відпускається електростанцією різним споживачам Європейських країн, від періоду використання.

В дослідженому періоді корисного використання електростанції має місце безперервне зростання середньої вартості відпускнуї електроенергії, причому в перші роки експлуатації енергоустановок на ТЕС з найбільшою ймовірністю вартість відпускнуї електроенергії буде становити 0,185-0,195 дол./кВт·год), а в останні – 0,215-0,220 дол./кВт·год).

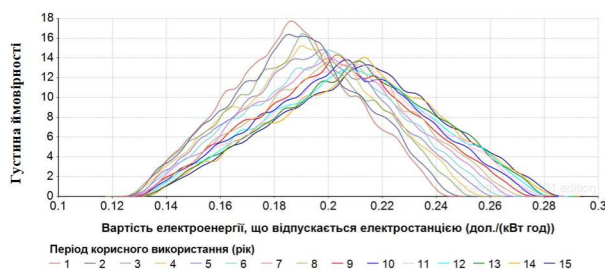


Рисунок 9 – Функції густини ймовірності вартості електроенергії, що відпускається, за роками

Як було зазначено вище, будемо вважати, що річні витрати на оплату праці також відображуються за допомогою трикутного розподілу. В розрахунках кількість обслуговуючого персоналу для ТЕС на природному газі дорівнювала 11 чоловік, а для ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля – 13 чоловік.

Відомо, що при оцінці доцільності виконання різних проектів, пов'язаних з енергомашинобудуванням, ставка дисконтування значно впливає на результати аналізу ефективності проекту, а отже, й на прийняття відповідного інвестиційного рішення.

Розрахунок ставки дисконтування в даному дослідженні виконувався за формулою [5; 7]:

$$r = r_f + \beta(r_m - r_f),$$

де r_f – норма дохідності безризикових інвестицій; β – коефіцієнт, що визначає систематичний ризик проекту; $(r_m - r_f)$ – премія за ринковий ризик.

У розрахунках бралися такі значення [8]: $r_f = 9,5\%$; $\beta = 1,04$. Премія за ризик для енергокомплексу ТЕС, що працює на природному газі дорівнювала 13%, а для ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля 18% [5]. Таким чином значення ставки дисконтування склали 23,02% для ТЕС, що працює на природному газі і 28,22% для ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля. Більше значення ставки дисконтування для ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля говорить про більш високий ризик, пов'язаний з отриманням прибутку. Так, прибуток традиційних ТЕС, що працюють на природному газі, вважається більш вірогідним у порівнянні з менш поширеними та більш технологічно складними ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля.

Розроблена структурна схема використана для розрахунків економічної доцільності інвестиційного проекту створення енергетичного комплексу з внутрішньоцикловою плазмохімічною переробкою високозолюного вугілля в синтез-газ і виробленням електроенергії в комбінованому парогазотурбінному циклі [17] в умовах ризиків, обумовлених невизначеністю цін на енергоносії (вугілля і природний газ), вартості електроенергії, що відпускається різним споживачам, витрат на оплату праці, зміни ставки дисконтування, а також порівняння економічної ефективності плазмохімічної технології переробки викопного пального з традиційною технологією вироблення електроенергії на тепловій електричній станції, що працює на природному газі.

В розрахунках, як і в роботі [1], приймалось, що парогазова установка (ПГУ) з плазмохімічною газифікацією має потужність 3943,61 кВт і ККД 27,43% при розрахункових питомих капітальних витратах близько 817 дол. США на 1 кВт встановленої потужності, а традиційна ПГУ, що працює на природному газі, має потужність 3588,9 кВт і ККД 35,06% при питомих капітальних витратах 631 дол. США на 1 кВт встановленої потужності.

На рис. 10 наведено гістограми розподілу сумарного дисконтованого доходу для розглянутих типів ТЕС за 15 років експлуатації.

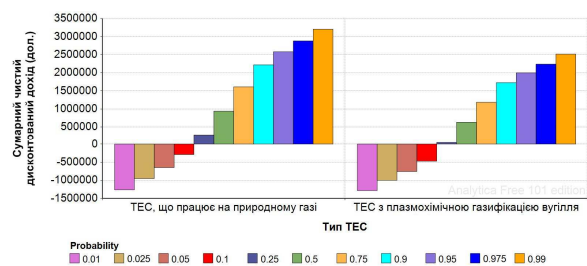


Рисунок 10 – Розрахункові значення сумарного дисконтованого доходу залежно від типу ТЕС

Розподіл функції густини ймовірності NPV для розглянутих ТЕС наведено на рис. 11.

Відмітимо, що густина ймовірності показує відносну ймовірність різних значень. Великі її значення відповідають ймовірним ділянкам, а низькі – менш вірогідним, а піки є режимами з найбільш ймовірним значенням.

У табл. 1 наведено результати статистичного аналізу сумарного дисконтованого доходу енергоустановок ТЕС, що працюють на природному газі та з плазмохімічною газифікацією вугілля за 15 років експлуатації. В розрахунках не враховувалась вартість створення відповідної інфраструктури для функціонування енергетичних комплексів.

Найбільш ймовірні середні значення NPV (що відповідають максимальним величинам густини ймовірності на рис. 11) для цих теплових електростанцій становлять 951456 та 622662 дол. США відповідно.

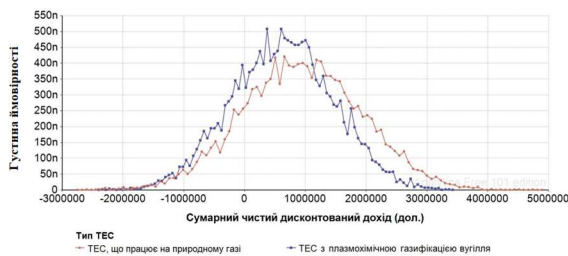


Рисунок 11 – Функції густини ймовірності сумарного дисконтованого доходу для різних ТЕС

Таблиця 1 – Результати аналізу сумарного дисконтованого доходу (дол. США) за методом Монте-Карло

Значення	ТЕС, що працює на природному газі	ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля
Мінімальне	-2615283	-2322785
Медіанне	938571	631549
Середнє	951456	622662
Максимальне	4753652	3371854

На рис. 12 наведено гістограми розподілу очікуваного індексу прибутковості залежно від типу ТЕС: традиційної – на природному газі та перспективної – з використанням ПХЕ за п'ятнадцять років експлуатації. Видно, що для традиційної ТЕС на природному газі індекс прибутковості $PI > 1$ досягається з більшою ймовірністю, ніж для ТЕС з плазмохімічною газифікацією. Відмітимо, що проект, індекс прибутковості якого більше одиниці, є перспективним з економічної точки зору.

Розподіл функції густини ймовірності індексів прибутковості для ТЕС, що працюють на природному газі і з плазмохімічною газифікацією наведено на рис. 13.

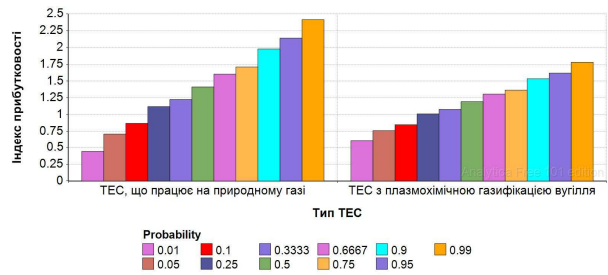


Рисунок 12 – Розрахункові значення індексу прибутковості в залежності від типу ТЕС

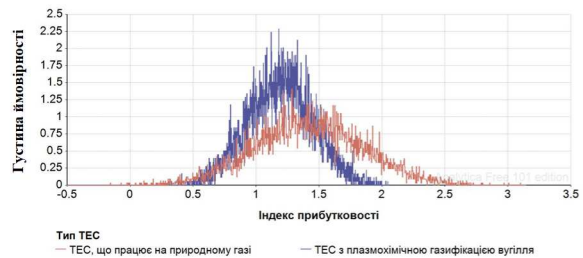


Рисунок 13 – Функції густини ймовірності індексів прибутковості для різних ТЕС

У табл. 2 наведено результати статистичного аналізу індексу прибутковості енергоустановок ТЕС, що працюють на природному газі та з плазмохімічною газифікацією вугілля за 15 років експлуатації. Найбільш ймовірні середні значення індексів прибутковості PI (що відповідають максимальним величинам густини ймовірності на рис. 13) для цих теплових електростанцій становлять 1,4199 і 1,1933 відповідно. Відмітимо, що чим вище значення PI , тим проект має більший потенціал в плані прибутковості.

Таблиця 2 – Результати аналізу індексу прибутковості за методом Монте-Карло

Значення	ТЕС, що працює на природному газі	ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля
Мінімальне	-0,1543	0,2791
Медіанне	1,4142	1,196
Середнє	1,4199	1,1933
Максимальне	3,0981	2,0465
Стандартне відхилення	0,4323	0,2599

Зазначимо, що раніше в роботі [1] була проведена вартісна оцінка проекту створення комплексу з плазмохімічної переробки вугілля без урахування можливих ризиків, пов'язаних з ймовірним характером зміни експлуатаційних витрат та вартості електроенергії, що відпускається, протягом всього періоду корисного використання ТЕС. Було отримано, що розрахунковий індекс прибутковості для парогазової установки з внутрішньоцикловою плазмохімічною газифікацією дорівнює 1,31, в той час як для установки, що працює на природному газі, вищий і дорівнює 1,46. Таким чином урахування ризиків, обумовлених

невизначеністю цін на енергоносії, а також вартості відпускної електроенергії, призводить до зменшення індексу прибутковості для ТЕС, працюючих на природному газі та з плазмохімічною газифікацією, відповідно на 2,7 та 8,9% відносно за 15 років експлуатації енергокомплексів.

При розгляді безперервних чи дискретних випадкових процесів часто вводять функцію $F(x)$, яку називають кумулятивною функцією розподілу величини X (cumulative distribution function CDF). Значення Y (зазвичай висота) графа при кожному обраному X (зазвичай горизонтальна вісь) показує ймовірність того, що випадкова величина приймає значення, яке не перевищує число X . Чим крутіше крива, тим більша ймовірність того, що величина матиме значення на цій ділянці. На рис. 14 показано розподіл кумулятивної ймовірності індексів прибутковості для досліджуваних ТЕС.

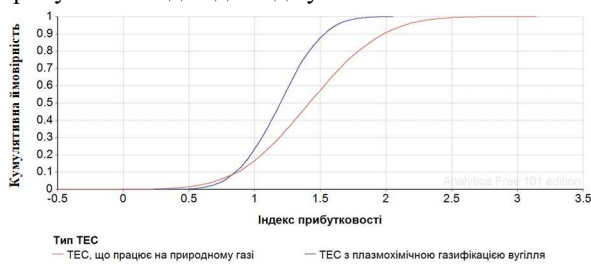


Рисунок 14 – Розподіл кумулятивної ймовірності індексів прибутковості

Представлений розподіл показує, що значення $PI > 1,0$ (тобто проект прибутковий) для ТЕС на природному газі очікуються з ймовірністю більше 83%, а для ТЕС з плазмохімічною газифікацією вугілля з ймовірністю 76% (за 15 років експлуатації енергокомплексів).

Висновки

1. Проведено аналіз інвестиційної доцільності проектів створення енергетичних комплексів з плазмохімічними елементами в умовах невизначеності та ризиків з використанням методу Монте-Карло.

2. Найбільш ймовірні середні значення індексів прибутковості (розрахованих з використанням методу Монте-Карло) для енергетичного комплексу ТЕС, що працює на природному газі та з плазмохімічною газифікацією вугілля за 15 років експлуатації, становлять 1,4199 і 1,1933 відповідно в порівнянні зі значеннями індексів прибутковості 1,46 та 1,31 при фіксованих річних витратах.

3. Значення індексу прибутковості більше одиниці для перспективної парогазової установки потужністю 3,9 МВт з плазмохімічною газифікацією вугілля очікується з ймовірністю 76%.

Список літератури

1. Бурунсуз К.С. Вартісна оцінка інвестиційного проекту створення енергетичного комплексу з плазмохімічної переробки вугілля [Текст] / К.С. Бурунсуз, Н.О. Гончарова // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 28. – С. 33 – 40.
2. Гранатуров В.М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения : учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. [Текст] / В. М. Гранатуров. – М.: Дело и Сервис, 2002. – 160 с.
3. Дисконтирование денежных потоков (DCF) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://finzz.ru/diskontirovanie-denezhnyh-potokov-dcf-formula-raschet-v-excel.html>.
4. Дисконтированный срок окупаемости инвестиций (DPP) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://finzz.ru/srok-okupaemosti-investicij-raschet-v-excel.html>.
5. Коваль Н.В. Обгрунтування величини дисконтної ставки для розрахунку прогнозної ефективності інвестиційних проектів в Україні [Текст] / Н.В. Коваль // Інвестиції: практика та досвід. – 2010. – № 9. – С. 9 – 13.
6. Лукашов А.В. Метод Монте-Карло для финансовых аналитиков: краткий путеводитель [Текст] / А.В. Лукашов // Управление корпоративными финансами. – 2007. – № 1(19). – С. 22 – 39.
7. Малых С.В. Расчет ставки дисконтирования с учетом рисков при оценивании патентуемой интеллектуальной промышленной собственности партнерства [Текст] / С.В. Малых // Праці Одеського політехнічного університету. – 2013. – № 2(41). – С. 319 – 323.
8. Овсянникова Я.О. Особливості визначення ставки дисконтування в контексті оцінки ефективності проектів публічно-приватного партнерства [Текст] / Я.О. Овсянникова // Механізм регулювання економіки. – 2013. – №1 (65). – С. 100 – 104.
9. Покровский А.М. Сравнительный анализ методик UNIDO и Минфина для оценки инвестиционных инфраструктурных проектов [Текст] / А.М. Покровский // Транспортное дело России. – 2011. – № 7. – С. 5 – 7.
10. Приходько Е.А. Область применения оценки риска в производственной и экологической безопасности [Текст] / Е.А. Приходько // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2014. – № 1(10). – С. 36 – 42.
11. Сазонов А.А. Применение метода Монте-Карло для моделирования экономических рисков в проектах [Текст] / А.А. Сазонов, М.В. Сазонова // Наука и современность. – 2016. – № 43. – С. 228 – 232.
12. Сербин С. И. Характеристики камеры сгорания ГТД мощностью 2,5 МВт, работающей на синтез-газе [Текст] / С. И. Сербин, Н. А. Гончарова // Авиационно-космическая техника и технология. – 2012. – № 7 (94). – С. 119 – 123.
13. Ширяев В.Н. Экономическая эффективность финансовых вложений в объекты электроэнергетики [Текст] / В.Н. Ширяев // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 4. – С. 155 – 157.
14. Bodea, C-N. Project risk simulation methods – a comparative analysis [Text] / C-N. Bodea, A. Purnus // Management & Marketing Challenges for the Knowledge Society. – Vol. 7. – No. 4, 2012. – Pp. 565 – 580.

15. Fisher I. *The Theory of Interest: As determined by impatience to spend income and opportunity to invest it* [Text] / I. Fisher. – New York: Reprints of Economic Classics. – 1965.

16. *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050* [Electronic resource]. – Режим доступу: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf.

17. *Integrated Plasma Coal Gasification Power Plant* / I.B. Matveev, N.V. Washcilenko, S.I. Serbin, N.A. Goncharova [Text] // *IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies*, 2013. – Vol. 41, Issue 12. – Pp. 3195-3200.

18. *Lumina Decision Systems* [Electronic resource]. – Режим доступу: / <http://www.lumina.com/why-analytica>.

19. Solomon E. *The arithmetic of capital-budgeting decisions* [Text] / E. Solomon // *The Journal of Business*. – 1956. – April, No. 29. – Pp. 124 – 129.

Стаття надійшла до редколегії 25.07.2017

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.М. Харитонов, Факультет морської інфраструктури Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова, Миколаїв.

Рыжков Сергей Сергеевич

Доктор технических наук, профессор кафедры экологии и природоохранных технологий, orcid.org/0000-0001-9560-2765
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев

Бурунсуз Екатерина Сергеевна

Аспирантка кафедры экологии и природоохранных технологий, orcid.org/0000-0001-5778-6663
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев

Гончарова Наталия Александровна

Кандидат технических наук, доцент кафедры турбин, orcid.org/0000-0001-6620-4055
Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, Николаев

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА С ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКОВ

Аннотация. Реализация проектов создания энергетических комплексов с плазмохимическими элементами требует больших объемов финансовых вложений. В связи с этим представляет научный и практический интерес использование метода Монте-Карло при оценке целесообразности проектов создания комплексов с ПХЭ в условиях неопределенности и рисков. Приведена обобщенная схема анализа инвестиционной привлекательности проектов по созданию комплексов с ПХЭ, рассмотрены особенности применения метода Монте-Карло. Разработана модель инвестиционной целесообразности проектов по созданию энергетических комплексов. Проведен анализ изменения мировых цен на ископаемое топливо по прогнозам базового сценария ЕС на 2016 год. Построены графические зависимости для функции плотности вероятности стоимости природного газа и каменного энергетического угля, приведен прогноз изменений цен на электроэнергию, отпускаемую различным секторам потребителей. За 15 лет эксплуатации рассчитан суммарный дисконтированный доход энергоустановок ТЭС, работающих на природном газе и с плазмохимической газификацией угля. Представлены результаты анализа индекса доходности энергоустановок ТЭС различных типов с использованием метода Монте-Карло.

Ключевые слова: метод Монте-Карло; плазмохимические элементы; функция плотности вероятности; индекс доходности; суммарный дисконтированный доход

Ryzhkov Serhiy

DSc (Eng.), professor of the Department of ecology and environmental technologies, orcid.org/0000-0001-9560-2765
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Burunsuz Kateryna

Postgraduate student of the Department of ecology and environmental technologies, orcid.org/0000-0001-5778-6663
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

Goncharova Nataliia

PhD (Eng.), associate professor of the Turbine Department, orcid.org/0000-0001-6620-4055
Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolayiv

INVESTMENT FEASIBILITY OF THE PROJECT OF CREATION OF ENERGY COMPLEX WITH PLASMA-CHEMICAL ELEMENTS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY AND RISKS

Abstract. Implementation of projects of creation of energy complex with plasma-chemical elements requires substantial financial investments. In this connection using of the Monte Carlo method for assessing the feasibility of projects for their creation in the conditions of uncertainty and risks is represented significant scientific and practical interest. A generalized scheme for analysis of projects on creation of complex with PCE is proposed. The features of application of the Monte Carlo method are

considered. The model of investment projects feasibility for the creation of energy complexes is developed. World prices of fossil fuels according to the projections of the basic EU scenario in 2016 are presented. The graphical dependences for the probability density function of natural gas and coal prices are built. The forecast changes in the prices of electricity supplied to different sectors of consumers are presented. Total present values of the power plant running on natural gas and the power plant with plasma-chemical coal gasification for 15 years of operation are calculated. The results of the calculation of the profitability index of different types of power plants with using the Monte Carlo method are given.

Keywords: the Monte Carlo method; plasma-chemical elements; the probability density function; profitability index; total present value

References

1. Burunsuz, K., Goncharova, N. (2016). The cost estimation of the investment project of creation of the plasma-chemical complex for coal treatment. *Management of Development of Complex Systems*, 28, 33-40 [in Ukrainian].
2. Granaturov, V.M. (2002) *Economic risk: the nature, measurement methods, ways to reduce: proc. manual for schools* (2nd ed., rev.). Moscow: Business and Service, 160.
3. Diskontirovanie denezhnykh potokov [Discounting cash flows]. Retrieved from <http://finzz.ru/diskontirovanie-denezhnykh-potokov-dcf-formula-raschet-v-excel.html> [in Russian].
4. Diskontirovannyi srok okupaemosti investitsiy [The discounted payback period]. Retrieved from <http://finzz.ru/srok-okupaemosti-investitsij-raschet-v-excel.html> [in Russian].
5. Koval, N.V. (2010). Rationale value discount rate for calculating the predictive efficiency of investment projects in Ukraine. *Investment: practice and experience*, 9, 9-13 [in Ukrainian].
6. Lukashov, A.V. (2007). The Monte Carlo method for financial analysts: a brief guide. *Corporate Finance management*, 1(19), 22-39 [in Russian].
7. Malyikh, S.V. (2013). Calculation of the discount rate taking into account risks when evaluating the patent intellectual property of a partnership. *Works of the Odessa Polytechnic University*, 2(41), 319-323 [in Russian].
8. Ovsyannikova Ya.O. (2013). Features of determining the discount rate in the context of assessing the effectiveness of public-private partnership projects. *The mechanism of regulation of the economy*, №1 (65), 100-104 [in Ukrainian].
9. Pokrovskiy, A.M. (2011). Comparative analysis of UNIDO and the Ministry of Finance methods for the evaluation of investment infrastructure projects. *Transport case of Russia*, 7, 5-7 [in Russian].
10. Prikhodko, E.A. (2014). Scope of risk assessment in industrial and environmental safety. *Scientific Bulletin of Kherson state Maritime Academy*, 1(10), 36-42 [in Russian].
11. Sazonov, A.A., Sazonova, M.V. (2016). Application of the Monte Carlo method for modeling economic risks in projects. *Science and modernity*, 43, 228-232 [in Russian].
12. Serbin, S.I., Goncharova, N.A. (2012). Characteristics of the combustion chamber GTE 2.5 MW working on the synthesis gas. *Aviation-space technique and technology*, 7 (94), 119-123 [in Russian].
13. Shiryayev, V.N. (2012). Economic efficiency of financial investments in energy facilities. *The success of modern science*, 4, 155-157.
14. Bodea, C-N., Purnus, A. (2012). Project risk simulation methods — a comparative analysis. *Management & Marketing Challenges for the Knowledge Society*, 7, 565 – 580.
15. Fisher, I. (1965). *The Theory of Interest: As determined by impatience to spend income and opportunity to invest it*. New York: Reprints of Economic Classics.
16. EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050. Retrieved from: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf.
17. Matveev, I.B., Washcilenko, N.V., Serbin, S.I., & Goncharova, N.A. (2013). Integrated Plasma Coal Gasification Power Plant. *IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies*, 41, 12, 3195-3200.
18. Lumina Decision Systems. Retrieved from: / <http://www.lumina.com/why-analytica>.
19. Solomon, E. (1956). The arithmetic of capital-budgeting decisions. *The Journal of Business*, 29, 124–129.

Посилання на публікацію

- APA Ryzhkov, S., Burunsuz, K. & Goncharova, N. (2017). The use of Monte Carlo in the analysis of investment feasibility of the project of creation of plasma-chemical elements. *Management of Development of Complex Systems*, 31, 52–61. [in Ukrainian]
- ГОСТ Рижков, С.С. Інвестиційна доцільність проекту створення енергетичного комплексу з плазмохімічними елементами в умовах невизначеності та ризиків [Текст] / С.С. Рижков, К.С. Бурунсуз, Н.О. Гончарова // Управління розвитком складних систем. – 2017. – № 31. – С. 52 – 61.