

УДК 005.8 : 662.74.088 : 621.438-62

Е. С. БУРУНСУЗ

*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Украина*

## ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ

*Успешная реализация проектов создания энергетических комплексов по плазмохимической переработке угля в синтез-газ и использования его в качестве топлива для газотурбинных установок требует больших капиталовложений. В связи с этим представляет интерес использование метода Монте-Карло при оценке инвестиционной целесообразности и эффективности реализации подобных проектов в условиях неопределенностей и рисков. Разработана модель оценки экономической эффективности проекта создания энергетического комплекса, использующего плазменные генераторы индукционного (радиочастотного) типа. Проанализированы параметры, характеризующие экономическую эффективность использования энергетической установки с плазмохимической газификацией угля в составе ТЭС.*

**Ключевые слова:** управление проектом, плазменный генератор, неопределенность, энергоустановка.

### Введение

Одним из перспективных направлений создания современных энергетических систем следует считать технологии генерации энергии с использованием в качестве энергетического топлива угля, а именно технологии предварительной плазменной газификации угля с последующим сжиганием полученного синтез-газа в газотурбинной установке с выработкой электроэнергии и утилизацией теплоты [1]. Учитывая особенности данных технологий [1-3], их относительную новизну и небольшое количество публикаций по повышению их эффективности, вопросы совершенствования моделей управления международными инвестиционными проектами по созданию плазмохимических газификаторов угля и энергетических установок на их основе являются актуальными.

Парогазовые установки (ПГУ) с газификацией угля имеют высокую экологическую чистоту, а возможность широкого диапазона регулирования нагрузки энергоблоков обеспечивает соответствующие режимы работы энергетической установки.

Технология плазмохимической переработки высокозольных углей [1, 2] предусматривает использование высокоэффективных индукционных (радиочастотных) плазменных генераторов и многоступенчатых газификаторов. Основными особенностями индукционных (радиочастотных) плазмотронов является их безэлектродное выполнение и практически неограниченный ресурс, обеспечивающий эффективную эксплуатацию всего комплекса по переработке угля. Отметим, что в настоящее время

организовано коммерческое производство таких плазменных генераторов для диапазона мощности 30-500 кВт и эксплуатации в среде различных плазмообразующих газов [1].

Целью данной работы является анализ инвестиционной эффективности проекта создания энергетического комплекса с плазмохимической газификацией угля для тепловой электростанции в условиях неопределенностей с помощью метода Монте-Карло.

### Постановка задачи

Инвестиционные международные проекты создания плазмохимических элементов (ПХЭ) являются долгосрочными и крупномасштабными и имеют большой срок окупаемости. Поскольку их реализация требует значительных объемов финансовых вложений, для обоснования принятых решений, связанных с инвестированием подобных проектов, необходима разработка способов сравнения инвестиционной целесообразности и эффективности таких энергетических проектов.

Преимущества использования имитационного моделирования методом Монте-Карло при управлении проектами по созданию ПХЭ обусловлены следующими причинами:

- высокая неопределенность в проектах по созданию ПХЭ приводит к тому, что результаты реализации существенно отличаются от прогнозных;
- разного рода риски, которые присутствуют в проектах по созданию ПХЭ, требуют от команды проекта реализации мероприятий по их управлению.

Метод Монте-Карло позволяет не проводить исчерпывающий перебор всех возможных вариантов развития событий в будущем, а использовать репрезентативную выборку сценариев. К достоинствам следует отнести также линейную зависимость количества симуляций от количества финансовых инструментов. В контексте моделирования рисков к недостаткам относят необходимость генерации случайных или псевдослучайных значений, что требует предположений о виде статистического распределения [4].

При последующем анализе будем использовать данные работы [5], где приведены обобщенная схема пилотного энергетического комплекса по плазмохимической переработке угля с ПГУ, а также расчеты начальных капиталовложений.

Для оценки перспективности инвестиционного проекта рассматриваемой электростанции относительно будущей доходности определяющим параметром является индекс прибыльности PI (Profitability index) [6]. Проект, индекс прибыльности которого больше единицы, является перспективным с точки зрения финансовых ресурсов. Чем выше значение PI, тем проект эффективнее и имеет больший потенциал в плане прибыльности. Расчет индекса прибыльности выполняется по следующей формуле [6]:

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}}{IC},$$

где  $CF_t$  – денежный поток в период времени  $t$ ;

$n$  – период реализации проекта;

$r$  – коэффициент дисконтирования;

$IC$  – начальные инвестиции.

В данном исследовании имитационное моделирование осуществлялось с помощью визуального пакета программного обеспечения Analytica Free 101 Edition компании Lumina Decision Systems [4], предназначенного для создания, анализа и передачи количественных моделей принятия решений. Этот продукт интересен тем, что он сочетает в себе иерархические диаграммы влияния для визуального создания различных моделей и интеллектуальных массивов при работе с многомерными данными, моделирование методом Монте-Карло для анализа риска и неопределенности, а также решение задач оптимизации, в том числе с помощью линейного и нелинейного программирования.

При разработке модели оценки эффективности инвестиционного проекта по созданию энергоустановки с ПХЭ использовались следующие виды распределения вероятностей: нормальное (для прогнозной стоимости углеводородного топлива по годам) и

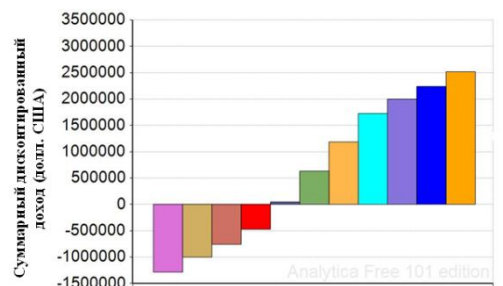
треугольное (для стоимости отпускаемой для продажи электроэнергии и затрат на оплату труда) [4].

Для оценки прогнозной стоимости топлива на следующие 15 лет использован базовый европейский сценарий эволюции мировых цен на ископаемое топливо, который был разработан с помощью глобальной модели частичного равновесия энергетической системы PROMETHEUS [7]. Для этой модели характерно соответствующее изменение цен на нефть, природный газ и уголь на основе развития мирового спроса на энергоносители, ресурсы и резервы, а также изменений в добыче ископаемых и двусторонней торговле между регионами.

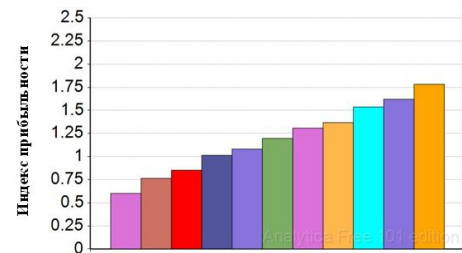
### Анализ экономической целесообразности выполнения проекта по созданию энергокомплекса с ПХЭ

В расчетах, как и в работе [5], принималось, что ПГУ с плазмохимической газификацией имеет мощность 3943,61 кВт и КПД 27,43 % при расчетных удельных капитальных затратах 817 долл. США на 1 кВт установленной мощности.

На рис. 1 приведены гистограммы распределения суммарного дисконтированного дохода и ожидаемого индекса прибыльности для энергетической установки с плазмохимической газификацией за 15 лет эксплуатации.



а



б

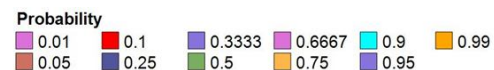


Рис. 1. Расчетные значения суммарного дисконтированного дохода (а) и индекса прибыльности (б)

Наиболее вероятное среднее значение индекса доходности PI (соответствующее максимальным величинам плотности вероятности) для энергетической установки с плазмохимической газификацией угля составляет 1,1933. Заметим, что чем выше значение PI, тем проект обладает большим потенциалом в плане прибыльности. Значения  $PI > 1,0$  (т.е. прибыльный проект) ожидаются с вероятностью около 76 % (за 15 лет эксплуатации комплекса).

При проведении исследований методом Монте-Карло каждое значение переменной X (включая и те, которые являются функциями других случайных величин) является некоторой выборкой m независимых случайных значений из действительного распределения вероятностей для X.

Возможно применение различных способов генерации псевдослучайных чисел для распределений вероятности [4]:

1) minimal standard - стандартный генератор случайных чисел, который реализует алгоритм Парка и Миллера (Park и Miller) на основе мультипликативного конгруэнтного метода;

2) генератор случайных чисел L'Ecuyer, реализующей алгоритм на основе того же конгруэнтного метода, но с учетом выборки серий повторяющихся случайных чисел;

3) алгоритм Кнута (Knuth) основывается на субтрактивном методе, позволяющем повысить скорость генерации псевдослучайных чисел.

В табл. 1 приведены значения индексов прибыльности проекта по созданию энергетической установки с плазмохимической газификацией угля за 15 лет эксплуатации, рассчитанных с использованием двух разных методов выборки переменных (Монте-Карло и Median Latin Hypercube) и трех различных генераторах псевдослучайных чисел. Видно, что полученные результаты практически совпадают и не зависят в данных условиях и принятых ограничениях от методов выборки.

Таблица 1  
Индексы прибыльности проекта по созданию энергоустановки с ПХЭ

Метод выборки	Minimal standard	L'Ecuyer	Knuth
Monte Carlo	1,1933	1,1917	1,1885
Median Latin Hypercube	1,1913	1,1913	1,1913

Эффективность проекта в значительной степени зависит от периода использования (эксплуатации) энергетического оборудования. Проведено исследование зависимости индексов прибыльности проекта по созданию энергетических установок с

плазмохимической переработки угля от срока эксплуатации (рис. 2).

Видно, что средние статистические значения индекса прибыльности больше единицы ожидаются (при принятых для расчета исходных данных) для периода эксплуатации, большем 7 лет.

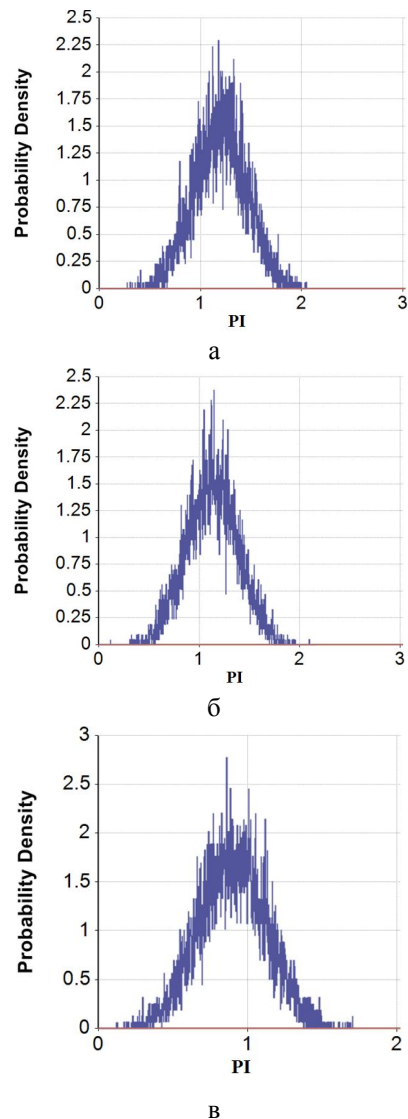
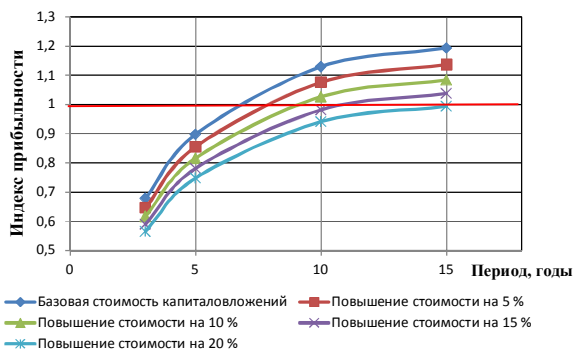
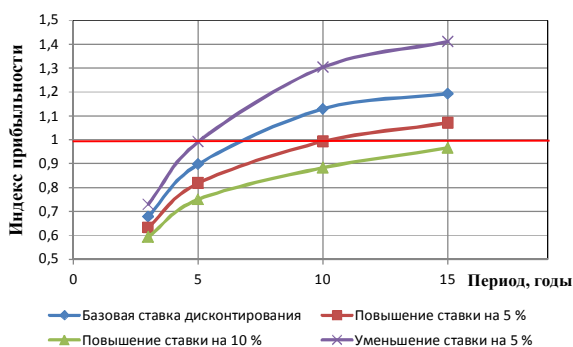


Рис. 2. Функции плотности вероятности индексов прибыльности в зависимости от периода эксплуатации: а – 15 лет; б – 10 лет; в – 5 лет

Отметим, что эффективность проекта существенно зависит от параметров, характеризующих капиталовложения и условия дисконтирования (зависят от законов страны, которая реализует проект). На рис. 3 приведены зависимости средних индексов прибыльности проекта по созданию энергоустановки с плазмохимической газификацией угля от периода эксплуатации при изменении стоимости капитального оборудования и ставки дисконтирования.



а



б

Рис. 3. Средние индексы прибыльности проекта создания энергоустановки в зависимости от периода использования: а – при изменении стоимости капиталовложений; б – при изменении ставки дисконтирования

Видно, что при увеличении стоимости капитального оборудования на 20 % или повышении ставки дисконтирования на 10 % относительно базовых условий проект перестает быть прибыльным даже за 15 лет эксплуатации. Заметим, что стратегические критерии успешности выполнения проекта могут преобладать по отношению к экономическим и функционально-технологическим, особенно в случае освоения новой экологически чистой технологии.

## Заключение

Разработана модель определения экономической эффективности выполнения международных проектов по созданию энергетических комплексов с плазмохимической газификацией угля на стадии их инициации в условиях неопределенностей и рисков с использованием имитационного моделирования Монте-Карло.

Проведена оценка экономической эффективности инвестиционного проекта внедрения плазмохимической технологии на тепловой электростанции.

Для рассмотренных условий выполнения проекта расчетное среднее значение индекса прибыльности для энергетической установки с плазмохимической газификацией угля за 15 эксплуатаций составляет 1,19 с вероятностью 76 %.

Разработанные теоретические модели могут быть использованы для решения задач совершенствования и оптимизации управления международными проектами по созданию плазмохимических элементов в условиях неопределенностей и рисков.

## Литература

1. *Plasma Assisted Combustion, Gasification, and Pollution Control. Volume 1. Methods of plasma generation for PAC [Text]* / Chief editor I. B. Matveev. – Denver, Colorado : Outskirts Press, Inc., 2013. – 538 p.
2. Matveev, I. B. *Integrated Plasma Coal Gasification Power Plant [Text]* / N. V. Washcilenko, S. I. Serbin., N. A. Goncharova // *IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies*. – 2013. – Vol. 41, Issue 12. – P. 3195-3200.
3. Serbin, S. I. *Theoretical Investigations of the Working Processes in a Plasma Coal Gasification System [Text]* / S. I. Serbin, I. B. Matveev // *IEEE Transactions on Plasma Science*. – 2010. – Vol. 38, Issue 12. – P. 3300-3305.
4. *Lumina Decision Systems [Electronic resource]*. – Режим доступа: <http://www.lumina.com/why-analytica>. – 15.12.2017.
5. 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.
6. *Индекс прибыльности [Электронный ресурс]*. – Режим доступа: <https://utmagazine.ru/posts/7537-indeks-pribylnosti>. – 15.12.2017.
7. *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050 [Electronic resource]*. – Режим доступа: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft\\_publication\\_REF2016\\_v13.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf). – 15.12.2017.

## References

1. *Plasma Assisted Combustion, Gasification, and Pollution Control. Volume 1. Methods of plasma generation for PAC*. Chief editor I.B. Matveev. Denver, Colorado, Outskirts Press, Inc., 2013. 538 p.
2. Matveev, I. B., Washcilenko, N. V., Serbin, S. I., Goncharova, N. A. *Integrated Plasma Coal Gasification Power Plant*. *IEEE Transactions on Plasma Science, Special Issue on Plasma-Assisted Technologies*, 2013, vol. 41, no. 12, pp. 3195-3200.
3. Serbin, S. I., Matveev, I. B. *Theoretical Investigations of the Working Processes in a Plasma Coal Gasification System*. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2010, vol. 38, no. 12, pp. 3300-3305.

4. *Lumina Decision Systems*. Available at: <http://www.lumina.com/why-analytica> (accessed 15.12.2017.)

5. Burunsuz, K. S., Goncharova, N. A. Vartisna otsinka investytsiynoho proektu stvorenniya enerhetychnoho kompleksu z plazmokhimichnoyi pererobky vuhillya, *Upravlinnya rozvytkom skladnykh system*, 2016, no. 28, pp. 33-40.

6. *Indeks prybutkovosti*. Available at: <https://utmagazine.ru/posts/7537-indeks-pribylnosti> (accessed 15.12.2017.)

7. *EU Reference Scenario 2016 Energy, transport and GHG emissions Trends to 2050* [Electronic resource]. Available at: [https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft\\_publication\\_REF2016\\_v13.pdf](https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/20160713%20draft_publication_REF2016_v13.pdf). (accessed 15.12.2017.)

*Поступила в редакцію 19.01.2018, рассмотрена на редколлегии 21.02.2018*

## ОЦІНКА ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДОЦІЛЬНОСТІ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ПЛАЗМОХІМІЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ ВУГІЛЛЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ

*К. С. Бурунсуз*

Успішна реалізація проектів створення енергетичних комплексів з плазмохімічної переробки вугілля в синтез-газ і використання його в якості палива для газотурбінних установок вимагає великих капіталовкладень. У зв'язку з цим становить інтерес використання методу Монте-Карло при оцінці інвестиційної доцільності та ефективності реалізації подібних проектів в умовах невизначеностей і ризиків. Розроблено модель оцінки економічної ефективності проекту створення енергетичного комплексу, що використовує плазмові генератори індукційного (радіочастотного) типу. Проаналізовано параметри, що характеризують економічну ефективність використання енергетичної установки з плазмохімічною газифікацією вугілля в складі ТЕС.

**Ключові слова:** управління проектом, плазмовий генератор, невизначеність, енергоустановка.

## EVALUATION OF THE INVESTMENT FEASIBILITY OF THE PROJECT FOR CREATION OF ENERGY COMPLEX WITH PLASMA-CHEMICAL TREATMENT OF COAL IN CONDITIONS OF UNCERTAINTIES

*K. S. Burunsuz*

Successful implementation of international projects for the creation of energy complexes with plasma-chemical treatment of coal into synthesis gas and its using as fuel for gas turbine engines requires large capital investments. In this connection, the use of the Monte Carlo method during assessing the investment feasibility and efficiency of implementation of similar projects in conditions of uncertainties and risks presents applied and scientific interest.

The Monte Carlo method makes it possible to use a representative sample of scenarios and not to search through all possible variants of the development of events in the future. The merits include the linear dependence of the number of simulations on the number of financial instruments and the ability to take into account both economic and technical indicators. It is determined that the strategic criteria for the success of the project can prevail in relation to economic and functional-technological, especially in the case of the development of a new environmentally friendly plasma-assisted technology. A theoretical model for estimating the economic efficiency of the project for creation of energy complex using inductive (radio frequency) plasma generators has been developed. Parameters characterizing the economic efficiency of proposed power plant with plasma-chemical gasification of coal are analyzed. The project efficiency depends significantly on the parameters characterizing the investment and discounting conditions. The estimation of economic efficiency of the investment project using plasma-chemical technology on a thermal power station with produced electric power of 3.9 MW is carried out. For the considered project conditions, the calculated average value of the profitability index for a power plant with plasma-chemical gasification of coal for 15 years is equalled 1.19 with a probability of 76%. The developed theoretical models can be used to solve problems of enhancement and optimization of management of international projects for the creation of plasma-chemical elements in conditions of uncertainties and risks.

**Keywords:** project management, plasma torch, uncertainty, power plant.

**Бурунсуз Екатерина Сергеевна** – преподаватель кафедры учет и экономический анализ, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Николаев, Украина, e-mail: [kateryna.burunsuz@nuos.edu.ua](mailto:kateryna.burunsuz@nuos.edu.ua).

**Burunsuz Katerina Serhiivna** – lecturer of Dept. "Accounting and Economic Analysis", Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mikolayiv, Ukraine, e-mail: [kateryna.burunsuz@nuos.edu.ua](mailto:kateryna.burunsuz@nuos.edu.ua).