

УДК 669.1.01:669.1.003.12(477)

Л. Г. Тубольцев, к.т.н., с.н.с., ORCID 0000-0001-9540-3037**В. О. Горохова**, провідний інженер, ORCID 0000-0002-7867-0659*Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України*

ЕКСПЕРТНО-МАТЕМАТИЧНА ОЦІНКА РОЗВИТКУ ЧОРНОЇ МЕТАЛУРГІЇ УКРАЇНИ

Анотація. У статті розглянуто можливість аналізу сучасного стану та перспектив розвитку металургійної галузі за рахунок використання комплексного показника ймовірності. Показано, що оцінювання стану та перспектив розвитку металургійного виробництва пов'язане з необхідністю обліку багатьох критеріїв, що мають різні значення і розмірності, оскільки саме поняття стану та перспектив є комплексним і характеризується великою кількістю частних параметрів. Особливої уваги заслуговує застосування експертної оцінки та логічних експериментів, що засновані на експертних оцінках з використанням даних експериментальних досліджень. Для розв'язання багатокритеріальних задач і оптимізації роботи складних виробничих систем, зокрема, металургійного виробництва, використано та удосконалено узагальнену функцію бажаності Харрінгтона. Для переходу від безрозмірного показника цієї функції до показника у реальних випадках введено показник ймовірності події. Для аналізу стану та прогнозу металургійної галузі визначено 24 параметри, що характеризують її роботу. Обговорено можливі сценарії та етапи розвитку чорної металургії, визначено пріоритетні напрями на найближчу, середню та довгострокову перспективи. Наведені результати свідчать, що у 2021 році стан чорної металургії України можна оцінювати як «задовільно», а у 2022 році як «дуже погано» внаслідок військової агресії РФ проти України. Проте, навіть в умовах воєнного стану, втрати 60 % металургійних потужностей, постійних ракетних обстрілів та зруйнованої логістики галузь за можливості продовжувала виробляти продукцію. Аналіз показав, що післявоєнні роки не будуть легкими для металургів і до 2025 року стан галузі слід очікувати як «задовільно». Вихід стану ГМК України на рівень «добре-дуже добре» можливий до 2050 року. Проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити висновок про можливість та доцільність застосування функції бажаності Харрінгтона для вирішення проблеми оцінки досягнення поставлених завдань розвитку металургійної галузі.

Ключові слова: чорна металургія, функція Харрінгтона, ймовірність, експертна оцінка, перспектива, сценарії розвитку.

Посилання для цитування: Тубольцев Л. Г., Горохова В. О. Експертно-математична оцінка розвитку чорної металургії України. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 21-34. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-21-34.

Стан проблеми. Причинами виникнення проблемного стану чорної металургії є низький технічний та технологічний рівень виробництва, який

зменшувався протягом останніх десятиліть [1], а також руйнування і повне знищення підприємств внаслідок російської військової агресії проти України [2]. Розв'язання проблем відновлення металургійних потужностей вимагає комплексного програмного підходу, законодавчої ініціативи та підтримки держави, що забезпечить створення сприятливих умов для інвесторів [3].

Оцінювання стану та перспектив розвитку металургійного виробництва пов'язане з необхідністю обліку багатьох критеріїв, що мають різні значення і розмірності, оскільки саме поняття стану та перспектив є комплексним і характеризується великою кількістю частних параметрів. При цьому різні параметри мають різні одиниці виміру, як якісні, так і кількісні. Необхідність оцінки стану та розвитку великих промислових систем виникла через проблеми виробництва якісної продукції. Необхідно було поєднати такі параметри, як «швидко», «дешево» та «якісно». Схематично поєднання цих параметрів наведено на рис. 1.



Рисунок 1 – Схематичне уявлення виробництва продукції.

- 1 – сектор «халтурно»;
- 2 – сектор «довго»;
- 3 – сектор «дорого»;
- 4 – сектор «оптимально».

Пошук систем виробництва якісної продукції почався давно і призвів до появи різних методів оцінювання і прогнозування.

- 1905 рік – наукові основи виробництва (Ф. Тейлор);
- 1915 рік – «простірно-часовий розподіл» (Ф. та Л. Гілбрехт, Г. Форд);
- 1916 рік – Теорія адміністрування (А. Файоль);
- 1922 рік – Ідеальний тип чиновник (М. Вебер);
- 1931 рік – Перше застосування математичних моделей (У. Шухарт);
- 1940 рік – Застосування простих статистичних методів (Е. Демінг);
- 1950 рік – Статистичний контроль процесу (Е. Демінг, Дж. Джуран);
- 1955 рік – Система бездефектного виготовлення продукції;
- 1956 рік – Система управління якістю (А. Фейгенбаум);
- 1960 рік – Японський підхід до якості СWQС (К. Ісікава, Г. Тагуті);
- 1965 рік – Нуль дефектів (Ф. Кросбі, Т. Катарбінськію И. Халпін);
- 1970 рік – Цикли якості (К. Ісікава);
- 1971 рік – Система НОРМ (В. Долецький);
- 1987 рік – Стандарти ІСО серії 9000.

Система управління якістю продукції розвивалася надалі. Загальний вигляд удосконалення якістю виробництва, систем безпеки тощо,

представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Базові елементи інформаційного забезпечення системи управління металургійним підприємством.

Особливої уваги заслуговує застосування логічних експериментів, що засновані на експертних оцінках з використанням даних експериментальних досліджень. Звернемо увагу на роботи Г. Тагуті, де виявляється тенденція поліпшення процесу та максимально спрощується процедура її пошуку (рис. 3). Логічні експерименти використовуються Г. Тагуті для визначення бальної експертної оцінки результатів, що дозволяє у більшості випадків замінити фізичні експерименти на логічні [4].



Рисунок 3 – Філософія Г. Тагуті щодо втрат під час виробництва продукції.

У той же час при необхідності експертного оцінювання стану системи та вибору критеріїв з числа альтернатив виникає необхідність у використанні комплексного оцінювання за допомогою узагальненого критерія, що узагальнює економічні, технічні, технологічні, екологічні, соціальні, естетичні та інші параметри системи, що розглядається. Для цього застосовується вимірювання параметрів за допомогою спеціальних психофізичних вербальних числових шкал. Такі шкали застосовуються у випадках, коли оцінювання носить суб'єктивний характер. Ці шкали дозволяють експерту формалізувати систему переваг. Психофізичні шкали задаються функціями спеціального виду (функції бажаності) та встановлюють відповідність між натуральними значеннями показників у фізичних шкалах та психологічними параметрами (суб'єктивними

оцінками «цінності» цих значень).

Мета дослідження – виявлення можливості застосування експертного оцінювання з використанням математичних методів для аналізу та прогнозу стану великих промислових систем, зокрема, чорної металургії.

Методика дослідження – використання системного аналізу стану вітчизняної та світової металургії з відкритих джерел, статистичні та математичні методи збору, обробки інформації та прогнозу.

Основні результати дослідження. Для розв'язання багатокритеріальних задач і оптимізації роботи складних виробничих систем, зокрема, металургійного виробництва, може бути використано різні методи побудови узагальненого показника. Одним з найбільш зручних способів побудови узагальненого відгуку є узагальнена функція бажаності Є.К. Харрінгтона [5], в основі якої лежить ідея перетворення натуральних приватних показників (параметрів) даної системи в безрозмірну шкалу бажаності або перевагу. При цьому на основі експертних оцінок і численних експериментальних даних в різних галузях знань вже розроблено готові таблиці відповідностей між бажаною оцінкою і переведеними в безрозмірну шкалу значеннями приватного відгуку d_i ($i = 1, 2, \dots, n$), результати яких відповідно до функції Харрінгтона наведено на рис. 4. [6].

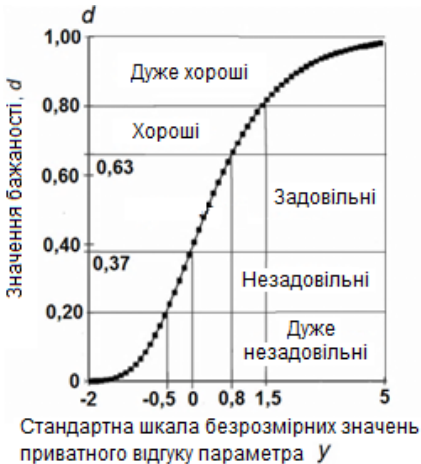


Рисунок 4 – Загальний вигляд функції Харрінгтона з нанесеними інтервалами стандартних значень приватного відгуку за шкалою бажаності.

Цей метод виник в результаті спостережень за реальними рішеннями експериментаторів і володіє такими корисними властивостями, як безперервність, монотонність і гладкість. В основі ідеї лежить експертне оцінювання кожного параметра роботи системи за шкалою «бажаність» і присвоєння йому числового значення в діапазоні від 0 до 1. Цей діапазон ділиться на п'ять піддіапазонів: $[0; 0,2]$ - «дуже погано», $[0,2; 0,37]$ - «погано», $[0,37; 0,63]$ - «задовільно», $[0,63; 0,8]$ - «добре», $[0,8; 1]$ - «дуже

добре». В принципі число піддіапазонів може бути збільшено або зменшено, в залежності від рівня розв'язуваної задачі.

Функція бажаності Харрінгтона поєднує в собі методи експертного оцінювання та математичного апарату, а також дає змогу з достатньою точністю прогнозувати поведінку складних промислових систем в умовах невизначеності та динамічних змін зовнішніх умов.

За основу математичного апарату перерахунку конкретних параметрів в абстрактні числові значення використано одну з логістичних функцій Харрінгтона - так звана «крива бажаності» з формулою:

$$d = \exp[-\exp(-Y)]. \quad (1)$$

Для переходу від безрозмірного показника Y в формулі (1) до показника у реальних випадках введемо показник W , що може характеризуватися як ймовірність події, або означати величину експертної оцінки ступеню досягнення запланованої мети. Наприклад, потужності з виплавляння сталі в Україні складають 50 млн т на рік, а фактичний обсяг виплавки сталі складає 20 млн т на поточний рік. У такому випадку експертна оцінка рівня виплавки сталі складе $W = 20/50 = 0,4$. Таким же чином визначається і показник ймовірності виплавки сталі під час складання прогнозу на наступні роки.

Для переходу функції Харрінгтона з використанням оціночного показника ймовірності використаємо наступне: безрозмірному показнику $Y = 4$ (рис. 4) відповідатиме показник $W = 1$, а показнику $Y = -2$ відповідатиме показник $W = 0$. У такому випадку зв'язок безрозмірного показника функції Харрінгтона (Y) з показником ймовірності W показано на рис. 5. Функцію Харрінгтона в залежності від безрозмірного показника Y та показника ймовірності W представлено на рис. 6.

Числове значення ймовірності W за експертною оцінкою може також визначати оцінку сучасного або прогнозного стану кожного параметра, що характеризує стан великої промислової системи, зокрема гірничо-металургійного комплексу України (ГМК).

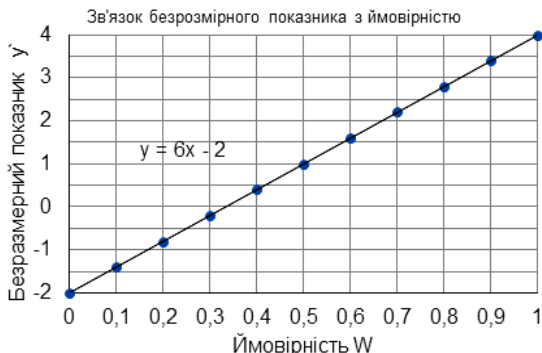


Рисунок 4 – Зв'язок безрозмірного показника функції Харрінгтона Y з показником ймовірності W .



Рисунок 5 –
Представлення
функції
Харрінгтона в
залежності від
безрозмірного
показника Y та
показника
ймовірності W.

Таким чином, показник ймовірності W відповідає наступним інтервалам безрозмірних показників Y та показникам бажаності d функції Харрінгтона (табл. 1):

Таблиця 1 – Відповідність числових інтервалів ймовірності W та безрозмірних показників Y інтервалам шкали бажаності d Харрінгтона.

Числові інтервали ймовірності W	Числові інтервали безрозмірних показників Y	Інтервали шкали бажаності d Харрінгтона
0 – 0,255	0 – 0,20	Дуже погано
0,255 – 0,335	0,20 – 0,37	Погано
0,335 – 0,485	0,37 – 0,63	Задовільно
0,485 – 0,58	0,63 – 0,8	Добре
0,58 – 1,0	0,8 – 1,0	Дуже добре

Для комплексної оцінки застосовується комплексний показник D , який визначається як середнє геометричне усіх d за формулою згортки частих функцій бажаності:

$$D = \sqrt[n]{d(1) * d(2) \dots d(n)} \quad (2)$$

З використанням наведених вище теоретичних положень виконано оцінку сучасного стану та перспективного розвитку чорної металургії України, а також оцінку сценаріїв розвитку металургії відповідно до Концепції розвитку металургії України на ближню, середню та довгострокову перспективу. Для аналізу та прогнозу стану ГМК визначено 24 параметри, що характеризують його роботу, для оцінки ймовірності W досягнення задекларованих показників. Визначені параметри було згруповано у 6 груп, у кожену з яких увійшло по 4 показника за подібними характеристиками. Для кожної з груп було визначено комплексні показники D_i , які були використані для визначення узагальненого комплексного показника $D_{ГМК}$ системи.

Показник W1 «Програмний підхід держави». Експертна оцінка ймовірності реалізації в ГМК України показника (W1) наведено в таблиці 2, а прогноз зміни комплексного показника *D* за роками показано на рис. 6.

Таблиця 2 – Показники W1.

Показники W1		2021	2022	2025	2050
Програмний підхід держави	W11	0,4	0,5	0,5	1
Інфраструктурний показник	W12	1	0,3	1	1
Наявність потужностей	W13	1	0,5	0,7	0,8
Трудові ресурси	W14	0,6	0,3	0,3	0,8
Програмний підхід	<i>D1</i>	0,86	0,65	0,78	0,96

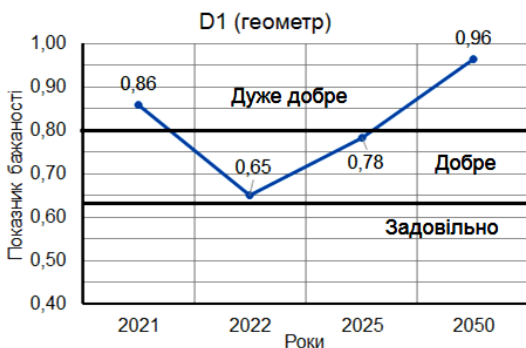


Рисунок 6 – Прогнозована зміна комплексного показника бажаності *D1* щодо «Програмного підходу держави (W1)» за роками.

В інтересах розвитку економіки України важливо поєднати інтереси державного управління та управління на рівні конкретних підприємств, забезпечити оперативне реагування на макропроблеми економічного та виробничого характеру [7]. За 1990-2021 роки W11 змінювався від 0 до 1 [8]. Бажано мати цей показник = 1. Однак, таку ймовірність передбачити важко, тому за експертною оцінкою на перспективу можна прийняти, що W11 = 0,5, а звідси показник *d11* = 0,77 (відповідає значенню «добре»).

Металургійний комплекс традиційно розвивався в Україні на власній залізорудній базі, власних енергетичних ресурсах, транспорті за портах. Нині в час військових дій внаслідок втрати частини територій та логістики показник W12 поганий, але має усі шанси відновитися до значення W12 = 1, а звідси показник *d12* відповідає значенню «дуже добре».

Станом на кінець 2022 року втрата металургійних потужностей України складає біля 60 %, але у недалекому майбутньому Україна має всі шанси їх відновити, тому можна прийняти, що W13 = 0,7, а звідси показник *d13* відповідає значенню «дуже добре».

На перспективу до 2025 стан з підготовкою металургійних кадрів поки що не визначений, тому показник W14 експертно визначений як W14 = 0,3, а звідси показник *d14* = 0,54 відповідає значенню «задовільно».

Показник W2 «Наявність залізорудної та сировинної бази». Експертна оцінка ймовірності забезпечення ГМК України залізорудною сировиною, металевим брухтом, енергоносіями та можливість імпорту енергоносіїв за роками, а також розрахунки комплексного показника бажаності *D2* за параметром «Наявність залізорудної та сировинної бази» наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Показники W2.

Показники W2		2021	2022	2025	2050
Наявність залізорудної бази	W21	1	1	1	1
Наявність металевого брухту	W22	0,3	0,7	0,6	0,4
Наявність енергоносіїв	W23	0,3	0,2	0,7	0,8
Можливість імпорту енергоносіїв	W24	0,6	0,2	0,6	0,8
Наявність залізорудної бази	<i>D2</i>	0,71	0,61	0,90	0,88

Показник W3 «Виробництво сталі, внутрішня потреба, можливість експорту, пріоритети сортаменту». Експертна оцінка ймовірності виробництва сталі в ГМК України, а також комплексного показника бажаності *W3* за цим параметром наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Показники W3.

Показники W3		2021	2022	2025	2050
Виробництво сталі	W31	0,5	0,2	0,5	0,7
Внутрішня потреба	W32	0,1	0,1	0,4	0,6
Можливість експорту	W33	0,6	0,5	0,8	0,7
Пріоритети сортаменту	W34	0,6	0,3	0,6	0,8
Виробництво	<i>D3</i>	0,60	0,44	0,81	0,91

Показник W4 «Собівартість, прибуток, вплив світових цін на металопродукцію, вплив ГМК на ВВП». Експертна оцінка ймовірності впливу собівартості, прибутку, впливу світових цін на металопродукцію та вплив ГМК на ВВП виробництва сталі в ГМК України, а також розрахунки комплексного показника бажаності *D4* за цим параметром наведено в табл. 5.

Таблиця 5 – Показники W4.

Показники W4		2021	2022	2025	2050
Собівартість	W41	0,2	0,1	0,2	0,4
Прибуток	W42	0,2	0,1	0,2	0,4
Вплив світових цін	W43	0,6	0,5	0,8	0,7
Вплив ГМК на ВВП	W44	0,4	0,1	0,4	0,5
Собівартість, прибуток	<i>D4</i>	0,55	0,31	0,56	0,75

Показник W5 «Енерговитрати, екологія, викиди CO, споживання води, викиди пилу». Експертна оцінка ймовірності впливу екологічних

факторів в ГМК України, а також розрахунки комплексного показника бажаності D5 за цим параметром наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Показники W5.

Показники W5		2021	2022	2025	2050
Енерговитрати	W51	0,5	0,1	0,5	0,6
Викиди CO	W52	0,2	0,1	0,2	0,4
Споживання води	W53	0,6	0,5	0,8	0,7
Викиди пилу	W54	0,4	0,2	0,4	0,5
Енерговитрати, екологія	<i>c</i>	0,55	0,31	0,56	0,75

Показник W6 «Модернізація ГМК». Показники обсягів металургійної продукції тісно пов'язані з технічним рівнем технологій її одержання. Однак, модернізацію таких технологій та обладнання металургійного виробництва не проведено, що сповільнює розвиток України, як самостійної держави [9]. Експертна оцінка ймовірності впливу факторів модернізації ГМК України, а розрахунки комплексного показника бажаності D6 за цим параметром наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Показники W6.

Показники W6		2021	2022	2025	2050
Стан потужностей	W61	0,69	0,11	0,69	0,90
Модернізація ГМК	W62	0,40	0,02	0,51	0,69
Інвестиції в ГМК	W63	0,51	0,02	0,69	0,82
Науково-технічне супроводження	W64	0,29	0,11	0,69	0,82
Модернізація ГМК	<i>D6</i>	0,45	0,04	0,64	0,80

Результати аналізу стану ГМК та його прогнозу шляхом розрахунку зведеного для 24 параметрів комплексного показника $D_{ГМК}$ наведено на рис. 7.

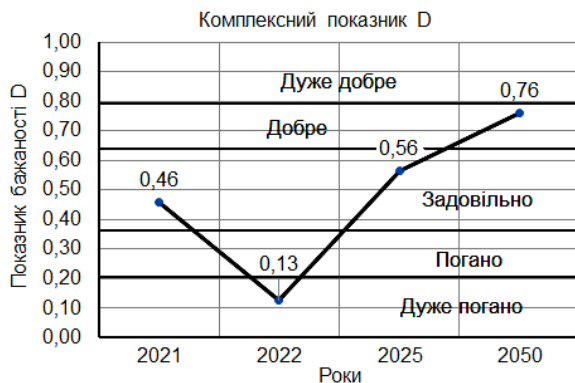


Рисунок 7 – Прогнозована зміна комплексного показника бажаності $D_{ГМК}$ щодо стану ГМК (W1-W6) за роками.

Наведені на рис. 7 результати свідчать, що у 2021 році стан ГМК України можна оцінювати як «задовільно», а у 2022 році як «дуже погано» внаслідок військової агресії РФ проти України. Проте, навіть в умовах воєнного стану, втрати 60 % металургійних потужностей, постійних ракетних обстрілів та зруйнованої логістики ГМК за можливості продовжував виробляти продукцію. Післявоєнні роки не будуть легкими для металургів і до 2025 року слід очікувати стан галузі як «задовільний». Вихід стану ГМК України на рівень «добре-дуже добре» можливий до 2050 року.

Проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити висновок про можливість та доцільність застосування функції бажаності Харрінгтона для вирішення проблеми оцінки рівня досягнення поставлених завдань розвитку ГМК [10].

З огляду на важливість зазначеної проблеми, можна зауважити, що вона потребує державної підтримки та системного підходу до її вирішення шляхом створення «Концепції сталого розвитку чорної металургії України до 2050 року» (далі – Концепція) та відповідної Державної програми. У проєкті Концепції розвитку чорної металургії України [8] наведено можливі сценарії розв'язання проблеми.

1 варіант. Продовження практики відмови держави від її впливу на розвиток металургійної галузі. Наслідком такої політики держави став неконтрольований експорт рудної сировини, металевого лому, напівфабрикатів, а також імпорт металургійної продукції, що може вироблятися в Україні.

2 варіант. Обмеження обсягів експорту металургійної сировини і напівфабрикатів, орієнтація металургійної галузі на внутрішній ринок споживання металопродукції. Практика світової та вітчизняної металургії показує, що такий варіант призведе до швидкого руйнування галузі.

3 варіант. Забезпечення оптимального співвідношення експорту та внутрішнього споживання металопродукції при посиленні державної підтримки розвитку металургійної галузі та економіки країни.

За наведеною вище методикою проведено оцінку можливих сценаріїв розвитку ситуації у ГМК України. Комплексний показник бажаності, розрахований за удосконаленою методикою Харрінгтона наведено на рис. 8. Розвиток ситуації за сценарієм 3, дозволяє у 2025 році досягти комплексного показника $D = 0,54$, що відповідає значенню «задовільно», та вийти на показник «добре» у 2050 році. Сценарії 1 та 2 не дозволяють піднятися вище показника «погано».

Комплексна оцінка показує, що третій сценарій розвитку ГМК є найбільш оптимальним та відповідає світовому досвіду розвинених країн світу, зокрема Китаю. В таких країнах держава має значний вплив на розвиток металургії за допомогою відповідної законодавчої бази та експортно-імпортної політики. Одночасно державі необхідно впливати на

розвиток та стимулювання науково-технічного прогресу в металургії. Таким чином, для вирішення поставленої проблеми третій варіант є найбільш придатним і оптимальним.

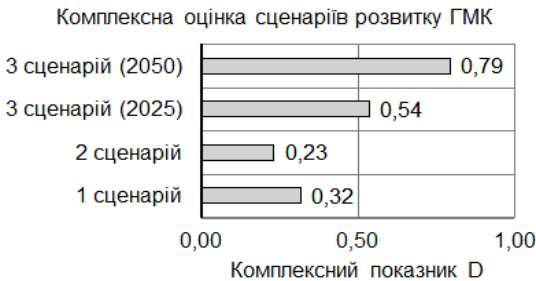


Рисунок 8 – Комплексна оцінка сценаріїв розвитку ГМК до 2050 року.

Висновки

Для розв'язання багатокритеріальних задач і оптимізації роботи складних виробничих систем, зокрема, металургійного виробництва, використано та удосконалено узагальнену функцію бажаності Харрінгтона. Для переходу від безрозмірного показника цієї функції до показника у реальних випадках введено показник ймовірність події. Для аналізу стану та прогнозу металургійної галузі визначено 24 параметри, що характеризують її роботу.

Обговорено можливі сценарії та етапи розвитку чорної металургії, визначено пріоритетні напрями на найближчу, середню та довгострокову перспективи. Наведені результати свідчать, що у 2021 році стан чорної металургії України можна оцінювати як «задовільно», а у 2022 році як «дуже погано» внаслідок військової агресії РФ проти України. Проте, навіть в умовах воєнного стану, втрати 60 % металургійних потужностей, постійних ракетних обстрілів та зруйнованої логістики галузь за можливості продовжувала виробляти продукцію.

Аналіз показав, що післявоєнні роки не будуть легкими для металургів і до 2025 року стан галузі слід очікувати як «задовільно». Вихід стану ГМК України на рівень «добре-дуже добре» можливий до 2050 року. Проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити висновок про можливість та доцільність застосування функції бажаності Харрінгтона для вирішення проблеми оцінки досягнення поставлених завдань розвитку металургійної галузі.

Отримані результати показують, що використання функції Харрінгтона дає можливість отримання єдиного показника цільової функції розвитку складної промислової система, зокрема ГМК. Отримання такого показника є дуже важливим, зокрема для розроблення та оцінювання Концепції перспективного розвитку гірничо-металургійного комплексу України.

Перелік посилань

1. Большаков В. И., Тубольцев Л. Г. Нужна ли Украине стратегия развития черной металлургии? *Зеркало недели. Украина*. № 21, 12 июня 2015.
2. Масштабы разрушений из-за войны. URL: <https://ubn.news/ru/proizvodstvo-staliv-ukraine-v-2022-godu-s>.
3. Большаков В. И., Тубольцев Л. Г. Чорна металургія і національна безпека України. *Вісник Національної академії наук України*. 2014. Вип. 9. С. 48-58.
4. Метод Тагучи. URL: <http://statistica.ru/local-portals/quality-control/funktsiya-poter-taguchi/>
5. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 280 с.
6. Безбородова Т. И. Использование функции Харрингтона при рейтинговой оценке деятельности организации в условиях антикризисного управления. *Финансовая аналитика: проблемы и решения*. 2014. № 1. С. 24.
7. Норихико Судзуки. Innovations and management in the japanese corporation. *Published by Industrial Engineering and Management Press Institute of Industrial Engineers*, 2000
8. Тубольцев Л. Г., Меркулов О. Є., Пригунова А. Г., Нарівський А. А. Концепція сталого розвитку чорної металургії України в сучасних умовах. *Метал та литво України*. 2022. № 4. С. 8-18.
9. Хаустов В., Венгер В. С чего начиналось и что имеем? *Зеркало недели*, 2019, 23 марта.
10. Тубольцев Л. Г., Бабаченко А. И., Падун Н. И. Характеристика черной металлургии Украины как базовой отрасли экономики (2015 г.). *Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии*. Вип. 30. 2015. С. 17-26.

References

1. Bolshakov V. I., Tuboltsev L. G. Nuzhna li Ukraine strategiya razvitiya chernoy metallurgii? [Does Ukraine need a strategy for the development of ferrous metallurgy?]. *Zerkalo nedeli. Ukraina. No 21, 12 iyunya 2015*. [In Russian].
2. Masshtaby razrusheniy iz-za voyny [The scale of destruction due to the war]. Retrieved from: <https://ubn.news/ru/proizvodstvo-staliv-ukraine-v-2022-godu-s> [In Russian].
3. Bolshakov V. I., Tuboltsev L. G. Chorna metalurhiya i natsional'na bezpeka Ukrayiny [Ferrous metallurgy and national security of Ukraine]. *Visnyk Natsional'noyi akademiyi nauk Ukrayiny*. 2014, 9. P. 48-58. [In Ukrainian].
4. Metod Taguchi [Taguchi method] Retrieved from: <http://statistica.ru/local-portals/quality-control/funktsiya-poter-taguchi/>. [In Russian].
5. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovsky Yu. V. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. М. : Nauka, 1976. 280 p. [In Russian].
6. Bezborodova T. I. Ispol'zovaniye funktsii Kharringtona pri reytingovoy otsenke deyatel'nosti organizatsii v usloviyakh antikrizisnogo upravleniya [Using the Harrington function in the rating assessment of the organization's activities in the conditions of anti-crisis management]. *Finansovaya analitika: problemy i resheniya*, 2014. No 1. P. 24. [In Russian].
7. Norykhyko Sudzuky. Innovations and management in the japanese corporation.

Published by Industrial Engineering and Management Press Institute of Industrial Engineers, 2000. [In English].

8. Tuboltsev L. G., Merkulov O. Ye., Prygunova A. G., Narivskiy A. A. Kontsepsiya staloho rozvytku chernoyi metalurhiyi Ukrayiny v suchasnykh umovakh [The concept of sustainable development of ferrous metallurgy of Ukraine in modern conditions]. *Metal ta lytvo Ukrayiny*. 2022. No 4. P. 8-18. [In Ukrainian].
9. Khaustov V., Venger V. S chego nachinalos' i chto imeyem? [How did it begin and what do we have?]. *Zerkalo Nedeli*, March 23, 2019. [In Russian].
10. Tuboltsev L. G., Babachenko A. I., Padun N. I. Kharakteristika chernoy metallurgii Ukrainy kak bazovoy otrasli ekonomiki (2015 g.) [Characteristics of ferrous metallurgy of Ukraine as a basic sector of the economy (2015)]. *Fundamental'nyye i prikladnyye problemy chernoy metallurgii*, 2015, 30. P. 17-26. [In Russian].

L. G. Tuboltsev, Ph. D. (Tech.), Senior Researcher, ORCID 0000-0001-9540-3037
V. O. Gorokhova, Leading Engineer, ORCID 0000-0002-7867-0659

Iron and Steel Institute of Z. I. Nekrasov National Academy of Sciences of Ukraine

EXPERT-MATHEMATICAL ASSESSMENT OF THE DEVELOPMENT OF BLACK METALLURGY OF UKRAINE

Summary. The article considers the possibility of analyzing the current state and development prospects of the metallurgical industry through the use of a complex indicator of probability. It is shown that the assessment of the state and prospects of the development of metallurgical production is connected with the need to take into account many criteria that have different values and dimensions, since the very concept of the state and prospects is complex and characterized by a large number of private parameters. The use of expert evaluation and logical experiments based on expert evaluations using the data of experimental studies deserves special attention. To solve multi-criteria problems and optimize the operation of complex production systems, in particular, metallurgical production, the generalized Harrington desirability function was used and improved. To move from a dimensionless indicator of this function to an indicator in real cases, an indicator of the probability of an event is introduced. To analyze the state and forecast of the metallurgical industry, 24 parameters characterizing its work have been determined. Possible scenarios and stages of development of ferrous metallurgy were discussed, priority directions for the near, medium and long term were determined. The presented results show that in 2021 the state of Ukrainian ferrous metallurgy can be assessed as "satisfactory" and in 2022 as "very bad" due to the military aggression of the Russian Federation against Ukraine. However, even in the conditions of martial law, the loss of 60% of metallurgical capacities, constant missile attacks and destroyed logistics, the industry continued to produce products as much as possible. The analysis showed that the post-war years will not be easy for metallurgists and by 2025 the state of the industry should be expected as "satisfactory". The state of MMC of Ukraine can reach the level of "good-very good" by 2050. The conducted theoretical studies allow us to draw a conclusion about the possibility and expediency of using Harrington's desirability function to solve the problem of assessing the achievement of the objectives of the development of the metallurgical industry.

Key words: ferrous metallurgy, Harrington function, probability, expert assessment, perspective, development scenarios.

For citation: Tuboltsev L. G, Gorokhova V. O. Ekspertno-matematychna otsinka rozvytku chornoyi metalurhiyi Ukrainy [Expert-mathematical assessment of the development of black metallurgy of Ukraine]. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 21-34. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-21-34.

*Стаття надійшла до редакції збірника 01.11.2022 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)*