



УДК 044.942:622.68

**Сергєєва В.В.**

*кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри економіки та обліку господарської діяльності  
Нововолинського навчально-наукового інституту економіки та менеджменту  
Тернопільського національного економічного університету*

**Попов О.І.**

*заступник директора  
ТзОВ «Вест Стрім», м. Нововолинськ*

**Белзецький Р.С.**

*кандидат технічних наук,  
старший викладач кафедри інтеграції навчання з виробництвом  
Вінницького національного технічного університету*

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗВИТКУ ВУГІЛЬНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ

У статті проведено аналіз сучасного стану та визначено тенденції розвитку вугільної галузі. Визначені особливості розвитку вугільної промисловості Західного регіону України. Виокремлено основні проблеми функціонування галузі в сучасних умовах.

**Ключові слова:** вугільна промисловість, енергетичне вугілля, марка, оптимізація, симплекс-метод.

### **Сергеева В.В., Попов А.И., Белзетский Р.С. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ЗАПАДНОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ**

В статье проведен анализ современного состояния и определены тенденции развития угольной отрасли. Определены особенности развития угольной промышленности Западного региона Украины. В проведенном исследовании были выделены основные проблемы функционирования отрасли в современных условиях.

**Ключевые слова:** угольная промышленность, энергетический уголь, марка, оптимизация, симплекс-метод.

### **Sierhieieva V.V., Popov A.I., Belzetskiy R.S. MATHEMATICAL MODEL OF COAL INDUSTRY DEVELOPMENT OF THE WESTERN REGION OF UKRAINE**

This article analyzes current state and tendencies of the development of the coal industry. It was identified features of the development of the coal industry of the Western region of Ukraine. In the current study identified the key problems of the functioning of the sector in modern conditions.

**Keywords:** coal, thermal coal, brand, optimization, simplex method.

**Постановка проблеми.** Оскільки напруження енергетичних котлів більшості теплоелектроцентралей (ТЕЦ) в Україні перевищує парковий ресурс – 200 тис. годин, необхідною умовою їх подальшої експлуатації є глибока реконструкція з подовженням ресурсу або заміна. В умовах прогнозованого підвищення цін на природний газ і мазут, одним з найбільш доцільних варіантів глибокої реконструкції котлів ТЕЦ є їх поетапне переведення на спалювання вугілля. Незважаючи на те, що цей варіант реконструкції вже застосовується на багатьох діючих ТЕЦ, необхідним елементом проектів такої реконструкції є вибір оптимального виду вугільного палива, що має здійснюватися на основі всебічного аналізу подальшої тривалої роботи ТЕЦ на вибраному паливі [1].

Вугільна галузь належить до найбільш проблемних у промисловості України: з одного боку, вона є основним джерелом забезпечення національної економіки власними енергоресурсами, а з іншого – через складні природні умови розробки родовищ та загалом невисокий технічний рівень є недостатньо конкурентоспроможною, важко адаптується до ринкових умов господарювання, потребує вагомої державної підтримки та приватних інвестицій. Бюджетне субсидування вітчизняної вугільної галузі, що постійно зростає, є важким тягарем для національної економіки. Крім того, варто мати на увазі небезпечність розробки складних українських вугільних родовищ, високий рівень травматизму (у тому числі смертельного) у галузі, а також більш негативні екологічні наслідки видобування і

споживання вугілля порівняно з іншими видами палива.

Сучасні посткризові умови господарювання вимагають оптимізації виробництва, розподілу та використання стратегічних ресурсів, особливо тих видів економічної діяльності та галузей, що мають вагомий вплив на економічну безпеку держави. До них належить вугільна промисловість, яка є найважливішою сировинною базою для електроенергетики, металургії, комунально-побутового сектора та інших галузей господарства України. Від ефективності та стабільності її функціонування суттєво залежить подальший розвиток економіки держави та її енергетична безпека.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемам вугільної галузі присвятили свої роботи такі науковці, як О. Амоша, В. Вербиченко, О. Власюк, В. Дубницький, П. Жук, С. Писаренко, П. Пономаренко, В. Радченко, Е. Чуприна, І. Ширнін, С. Янко та ін.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка основних методичних засад та побудова математичної моделі визначення оптимального виду вугільної продукції та її цінової політики для паливного забезпечення котлоагрегатів ТЕЦ при переведенні їх із спалювання газу-мазуту на спалювання піловугільного палива.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В техніко-економічних задачах вибору найкращого рішення, як правило, мають місце декілька критеріїв оптимальності. Ці критерії можуть відображати оцінки різних властивостей об'єкта або процесу,

стосовно яких приймається рішення. Вибір марки вугілля для спалювання у котлі ТЕЦ є типовою задачею оптимізації. Це випливає як із умов існування множини проектних палив для котлоагрегатів кожного типу, так і наявних конкретних умов постачання вугільної продукції для їх роботи.

У цій роботі розглядаються такі параметри вугільної продукції [2], які можуть давати критеріальну оцінку системи за різними властивостями або з різних сторін її функціонування:

1. Зольність, %.
2. Вихід летких речовин, %.
3. Вміст сірки, %.
4. Ціна, грн/т.
5. Волога, %.

Згідно з отриманими даними (табл. 1), формуємо лінійне рівняння оптимізаційної задачі [3]:

Таблиця 1  
Основні фізико-хімічні властивості вугілля  
м. Нововолинськ

	Види вугілля		min
	Г	Г/Ж	
Зольність, %	40	26,3	30
Волога, %	7	6	6
Сірка, %	3,2	2,6	1,4
Вихід летких речовин, %	41,2	35,5	8
Ціна, грн/т	820	820	

Розв'яжемо пряму задачу лінійного програмування симплексним методом, з використанням симплексної таблиці. При обчисленнях значення  $F_c=820$  тимчасово не враховуємо. Визначимо мінімальне значення цільової функції  $F(x)=820x_1+820x_2+820$  за наступних умов-обмежень.

$$\begin{cases} 40x_1 + 26,3x_2 \geq 30 \\ 7x_1 + 6x_2 \geq 6 \\ 3,2x_1 + 2,6x_2 \geq 1,4 \\ 41,2x_1 + 35,5x_2 \geq 8 \end{cases}; \quad (1)$$

Для побудови першого опорного плану систему нерівностей приведемо до системи рівнянь шляхом введення додаткових змінних (перехід до канонічної форми) (2).

У 1-му нерівність сенсу ( $\geq$ ) вводимо базисну змінну  $x_3$  зі знаком мінус. У 2-му нерівність сенсу ( $\geq$ ) вводимо базисну змінну  $x_4$  зі знаком мінус. У 3-му нерівність сенсу ( $\geq$ ) вводимо базисну змінну  $x_5$  зі знаком мінус. У 4-му нерівність сенсу ( $\geq$ ) вводимо базисну змінну  $x_6$  зі знаком мінус.

$$\begin{cases} 40x_1 + 26,3x_2 - 1x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6 = 30 \\ 7x_1 + 6x_2 + 0x_3 - 1x_4 + 0x_5 + 0x_6 = 6 \\ 3,2x_1 + 2,6x_2 + 0x_3 + 0x_4 - 1x_5 + 0x_6 = 1,4 \\ 41,2x_1 + 35,5x_2 + 0x_3 + 0x_4 + 0x_5 - 1x_6 = 8 \end{cases}; \quad (2)$$

Помножимо всі рядки на (-1) і шукаємо первісний опорний план (3):

$$\begin{cases} -40x_1 - 26,3x_2 + 1x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 0x_6 = -30 \\ -7x_1 - 6x_2 + 0x_3 + 1x_4 + 0x_5 + 0x_6 = -6 \\ -3,2x_1 - 2,6x_2 + 0x_3 + 0x_4 + 1x_5 + 0x_6 = -1,4 \\ -41,2x_1 - 35,5x_2 + 0x_3 + 0x_4 + 0x_5 + 1x_6 = -8 \end{cases}; \quad (3)$$

Матриця коефіцієнтів  $A=a_{ij}$  цієї системи рівнянь матиме вигляд (4):

$$A = \begin{pmatrix} -40 & -26,3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -7 & -6 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -3,2 & -2,6 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -41,2 & -35,5 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (4)$$

Розв'яжемо систему рівнянь щодо базисних змінних:  $x_3, x_4, x_5, x_6$ .

Вважаючи, що вільні змінні рівні 0, отримаємо перший опорний план (табл. 2):

$$X_1 = (0, 0, -30, -6, -1,4, -8).$$

Таблиця 2

Перший опорний план

Базис	В	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_3$	-30	-40	-26,3	1	0	0	0
$x_4$	-6	-7	-6	0	1	0	0
$x_5$	-1,4	-3,2	-2,6	0	0	1	0
$x_6$	-8	-41,2	-35,5	0	0	0	1
$F(X_0)$	820	820	820	0	0	0	0

1. Перевірка критерію оптимальності. План 0 в симплексної таблиці є псевдопланом, тому визначаємо провідні рядок і стовпець.

2. Визначення нової вільної змінної. Серед негативних значень базисних змінних вибираємо найбільший по модулю. Провідною буде перший рядок, а змінну  $x_3$  варто вивести з базису.

3. Визначення нової базисної змінної (табл. 3). Мінімальне значення  $\theta$  відповідає 2-му стовпцю, тобто змінну  $x_2$  необхідно ввести в базис. На перетині провідних рядка і стовпця знаходиться розрахунковий елемент (РЕ), рівний (-26,3).

Таблиця 3

Визначення нової базисної змінної

Базис	В	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_3$	-30	-40	-26,3	1	0	0	0
$x_4$	-6	-7	-6	0	1	0	0
$x_5$	-1,4	-3,2	-2,6	0	0	1	0
$x_6$	-8	-41,2	-35,5	0	0	0	1
$F(X_0)$	820	820	820	0	0	0	0
$\theta$	0	$\frac{820}{-40} = -20,5$	$\frac{820}{-26,3} = -31,18$	-	-	-	-

4. Перерахунок симплекс-таблиці (табл. 4) та виконання перетворення симплексної таблиці методом Жордана-Гаусса.

Таблиця 4

Перерахунок симплекс-таблиці

Базис	В	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_2$	1,14	1,52	1	-0,038	0	0	0
$x_4$	0,84	2,13	0	-0,23	1	0	0
$x_5$	1,57	0,75	0	-0,0989	0	1	0
$x_6$	32,49	12,79	0	-1,35	0	0	1
$F(X_0)$	-115,36	-427,15	0	31,18	0	0	0

Представлений розв'язок кожного елемента буде у вигляді таблиці, що дасть можливість перейти до основного алгоритму симплекс-методу.

Ітерація № 0.

1. Перевірка критерію оптимальності. Поточний опорний план неоптимальний, тому що в індексному рядку знаходяться негативні коефіцієнти.

2. Визначення нової базисної змінної. В індексному рядку  $F(x)$  вибираємо максимальний по модулю елемент. В якості ведучого виберемо стовпець, відповідний змінної  $x_1$ , так як це найбільший коефіцієнт за модулем.

3. Визначення нової вільної змінної. Обчислимо значення  $D_i$  по рядках як частка від ділення:  $b_i/a_{i1}$  і з них виберемо найменше:

$$\min\left(\frac{1,14}{1,52}, \frac{0,84}{2,13}, \frac{1,57}{0,75}, \frac{32,49}{12,79}\right) = 0,4, \quad (5)$$

Отже, другий рядок є провідним (табл. 6). Розв'язний елемент дорівнює (2,13) і знаходиться на перетині провідного стовпця і ведучого рядка.

Таблица 6

Базис	В	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	min
$x_2$	1,14	1,52	1	-0,038	0	0	0	0,75
$x_4$	0,84	2,13	0	-0,23	1	0	0	0,4
$x_5$	1,57	0,75	0	-0,0989	0	1	0	2,08
$x_6$	32,49	12,79	0	-1,35	0	0	1	2,54
$F(X_1)$	-115,36	-427,15	0	31,18	0	0	0	0

4. Перерахунок симплекс-таблиці. Формуємо наступну частину симплексного таблиці. Замість змінної  $x_4$  в план 1 увійде змінна  $x_1$ . Рядок, що відповідає змінній  $x_1$  в плані 1, отриманий в результаті поділу всіх елементів рядка  $x_4$  плану 0 на елемент  $PE = 2,13$ . На місці розрахункового елемента в плані 1 отримуємо 1. В інших клітинках стовпця  $x_1$  плану 1 записуємо нулі.

Таким чином, у новому плані 1 заповнені рядок  $x_1$  і стовпець  $x_1$ .

Всі інші елементи нового плану 1, включаючи елементи індексного рядка, визначаються за правилом прямокутника. Для цього вибираємо зі старого плану чотири числа, які розташовані у вершинах прямокутника і завжди включають розрахунковий елемент  $PE$  (6) [3]:

$$HE = CE - (A * B) / PE; \quad (6)$$

де  $STE$  – елемент старого плану,  $PE$  – розрахунковий елемент (2,13),  $A$  і  $B$  – елементи старого плану, що утворюють прямокутник з елементами  $STE$  і  $PE$ .

Розрахунок кожного елемента буде у вигляді таблиці. Після перетворення отримаємо нову таблицю (табл. 7)

Таблица 7

Базис	В	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_3$	4,29	0	7,99	1	-5,71	0	0
$x_1$	0,86	1	0,86	0	-0,14	0	0
$x_5$	1,34	0	0,14	0	-0,46	1	0
$x_6$	27,31	0	-0,19	0	-5,89	0	1
$F(X_2)$	117,14	0	117,14	0	117,14	0	0

1. Перевірка критерію оптимальності. Серед значень індексного рядка немає негативних. Тому ця таблиця визначає оптимальний план задачі. Остаточний варіант симплекс-таблиці матиме вигляд (табл. 8):

 2.  
Таблица 8

Базис	В	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_3$	4,29	0	7,99	1	-5,71	0	0
$x_1$	0,86	1	0,86	0	-0,14	0	0
$x_5$	1,34	0	0,14	0	-0,46	1	0
$x_6$	27,31	0	-0,19	0	-5,89	0	1
$F(X_3)$	117,14	0	117,14	0	117,14	0	0

Оптимальний план можна записати так (7-8):

$$x_1 = 0,86, \quad (7)$$

$$F(x) = 820 \cdot 0,86 + 820 = 1522,857. \quad (8)$$

Аналіз оптимального плану. У оптимальний план увійшла додаткова змінна  $x_3$ . Отже, при реалізації такого плану є недовикористані ресурси 1-го виду в кількості 4,29. У оптимальний план увійшла додаткова змінна  $x_5$ . Отже, при реалізації такого плану є недовикористані ресурси 3-го виду в кількості 1,34. У оптимальний план увійшла додаткова змінна  $x_6$ . Отже, при реалізації такого плану є недовикористані ресурси 4-го виду в кількості 27,31

Значення 0 в стовпці  $x_1$  означає, що використання  $x_1$  – вигідно.

Значення  $117,14 > 0$  в стовпці  $x_2$  означає, що використання  $x_2$  – не вигідно.

Значення  $117,4$  в стовпці  $x_4$  означає, що тіньова ціна (двоїста оцінка) дорівнює  $117,4$ .

**Висновки з проведеного дослідження.** Згідно отриманих розрахунків можна зробити висновки, по-перше, вугілля марки «Г/Ж» є найбільш оптимальним для використання його як паливного елемента для ТЕЦ. По-друге, заявлена ціна у 820 грн за одну тону енергетичного вугілля марок «Г» і «Г/Ж» не є об'єктивною та справедливою, оскільки значно поступається ринковій і є суттєво заниженою. По-третє, реальна вартість такого виду вугілля повинна складати не менше ніж 1522,86 грн/т. Така цінова політика дасть можливість скоротити видатки з державного бюджету на часткове покриття собівартості видобування твердого палива.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Стогній О.Г. Визначення оптимальної марки вугілля ТЕЦ при переведенні їх котлоагрегатів на пилувугільне спалювання / О.В. Стогній, В.М. Макаров, М.І. Каплін та ін. // Проблеми загальної енергетики: Інститут загальної енергетики НАН України. – Київ. – 1(32). – 2013. – С. 28-36. – ISBN 1562-8965.
2. Послання Президента України до Верховної Ради «Європейський вибір. Концептуальні засади стратегії економічного та соціального розвитку України на 2002–2011 р.» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/p0001100-02> – Назва з екрану.
3. Ногин В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 144 с. – ISBN 5-9221-0274-5.