

SECTION 9. METALLURGY AND ENERGY**9.1 Mathematical model of optimization of coal production for energy and economy of the country**

Вперше розроблено математичну модель оптимізації забезпечення якісною вугільною продукцією економіки країни, в якій враховано вугільну продукцію не тільки для потреб енергетики, а й для інших споживачів за видами економічної діяльності та населенням. На відміну від відомих, модель поєднує детальне врахування техніко-економічних показників технологічного обладнання шахт і збагачувальних фабрик з алгоритмами узгодження потоків всіх видів вугільної продукції, що надало можливість прогнозувати структуру готової вугільної продукції із забезпеченням необхідних показників її якості у технологічному ланцюгу «шахта - збагачувальна фабрика - споживач».

Цільовою функцією математичної моделі оптимізації виробництва готової вугільної продукції є сума загальної вартості вугільної продукції для електроенергетики S^{EN} та вартості вугільної продукції для інших споживачів S^{OSE}

$$S = S^{EN} + S^{OSE} \quad (1)$$

Очікувані тенденції в паливозабезпеченні вугільних електрогенеруючих підприємств (ВЕГП) вугільною продукцією, орієнтовані на підвищення ролі вугілля на ВЕГП і посилення екологічних вимог, зумовлюють по-перше – необхідність змін у технологічній структурі виробництва електроенергії, по-друге – підвищення споживчої якості вугільної продукції, що може бути забезпечено оптимізацією обсягів постачання вугілля на збагачувальні фабрики. Дослідження з оптимізації структури вугільної продукції різного технологічного призначення із врахуванням показників якості, нинішніх і перспективних вимог споживачів теплової генерації із врахуванням екологічних обмежень наразі є актуальним.

Питанням надійності забезпечення та ефективності використання паливних ресурсів на енергетичних об'єктах присвячено зокрема роботи [418, 419] та ін.

Загальна вартість вугільної продукції, що поступає на ВЕГП, обчислюється відповідно до встановленої базової ціни на вугільну продукцію із врахуванням теплофізичних характеристик її складових та витрат на транспортування, що можна виразити формулою [420–422]:

$$S^{EN} = \sum_{k=1}^G \sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \sum_{l=1}^{L^k} S_{ijl}^k \cdot x_{ijl}^k, \quad (2)$$

де S^{EN} – загальна вартість вугільної продукції на всіх ВЕГП, грн;

G – кількість ВЕГП;

N^k – кількість постачальників вугільної продукції на k -те ВЕГП;

M^k – кількість марок енергетичного вугілля, що поступає на k -те ВЕГП;

L^k – кількість видів вугільної продукції, що поступає на k -те ВЕГП (рядове вугілля, що відвантажується споживачам, та продукти переробки на збагачувальних фабриках: концентрат, промпродукт, відсів, шлам);

S_{ijl}^k – ціна 1 т готової вугільної продукції, що поступає на k -те ВЕГП, грн/т;

x_{ijl}^k – обсяги готової вугільної продукції, що поступає на k -те ВЕГП, тис. т.

Як бачимо з (2), загальна вартість вугільної продукції S^{EN} залежить від обсягів, отриманих від постачальників, і оптової ціни на цю продукцію, яка, в свою чергу, в значній мірі залежить від її показників якості, тобто

$$S_{ijl}^k = f(A_{ijl}^k, W_{ijl}^k), \quad (3)$$

де A_{ijl}^k , W_{ijl}^k – процент зольності і вологи в компонентах вугільної продукції відповідно.

Якість готової вугільної продукції в свою чергу залежить від обсягів переробки рядового вугілля на збагачувальних фабриках, що в значній мірі впливає на її вартість, маємо

$$S_{ijl}^k = f[A_{ijl}^k(\theta_i), W_{ijl}^k(\theta_i)], \quad (4)$$

де θ_i – параметр, що характеризує рівень обсягів рядового вугілля, відправленого на збагачувальні фабрики.

Крім того, на ефективність роботи ВЕГП в значній мірі впливають витрати пов'язані з екологічними обмеженнями, що випливають з вимог кіотського протоколу. Тому в рівнянні (2) необхідно враховувати і фінансові витрати у вигляді податків за обсяги викидів в атмосферу шкідливих речовин [423], що утворюються в результаті спалювання на ВЕГП вугільної продукції, а також витрати на встановлення газоочисного обладнання, які пропорційні електричній потужності ВЕГП і залежать від рівня очистки викидів відповідно до екологічних обмежень, тобто математичну модель забезпечення ВЕГП вугільною продукцією із заданими теплофізичними властивостями при мінімальних загальних витратах (S^{EN}) можна сформулювати таким чином:

$$S^{EN} = \sum_{k=1}^G \left\{ \Omega^{mk} \sum_{m=1}^H d^{mk} + \sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \sum_{l=1}^{L^k} \left[s_{ijl}^k \cdot x_{ijl}^k + \sum_{m=1}^H (c^m \cdot z^{mk}) \right] \right\}, \quad (5)$$

при обмеженнях:

– на середньозважену калорійність запасів палива кожного ВЕГП

$$\delta_1^k \cdot q_p^k \leq \sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \sum_{l=1}^{L^k} q_{ijl}^k \cdot x_{ijl}^k / \sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \sum_{l=1}^{L^k} x_{ijl}^k \leq \delta_2^k \cdot q_p^k; \quad k=1, \dots, G; \quad (6)$$

– на загальні обсяги потреб вугільної продукції кожного ВЕГП, т.у.п./рік:

$$\sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \sum_{l=1}^{L^k} \overline{x_{ijl}^k} \geq \overline{X^k}; \quad k=1, \dots, G; \quad (7)$$

– на обсяги m -го викиду шкідливої речовини на k -му ВЕГП

$$\sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \sum_{l=1}^{L^k} z_{ijl}^{mk} < Z^{mk}; \quad m=1, \dots, H, \quad (8)$$

де c^m – питома вартість податку за обсяги m -го викиду в атмосферу, грн/т;

z_{ijl}^{mk} – обсяги викидів шкідливих речовин;

H – кількість видів шкідливих речовин;

$d^{mk} = \eta^{mk} \cdot d_0^{mk}$ – питома вартість очисного обладнання для m -го викиду k -го ВЕГП, грн/кВт, величина d_0^{mk} – максимально допустима величина питомої вартості очистки;

η^{mk} – змінна величина, що характеризує глибину очистки встановленого обладнання від викидів шкідливих речовин, $0 \leq \eta^{mk} \leq 1$;

Ω^{mk} – електрична потужність k -го ВЕГП, МВт;

$\overline{x_{ijl}^k}$ – обсяги вугільної продукції в перерахунку на умовне паливо, тобто ;

$$\overline{x_{ijl}^k} = q_{ijl} \cdot x_{ijl}^k / Q_u;$$

q_p^k – проектне для k -го ВЕГП значення нижньої теплоти згорання палива, МДж/кг;

δ_1^k, δ_2^k – сталі величини, які встановлюють нижню і верхню проектно допустимі межі калорійності палива для k -го ВЕГП, $0 < \delta_i^k < 1$;

Варто зазначити, що в разі дефіциту вугільної продукції для забезпечення потреб ВЕГП, передбачається її імпортування в необхідних обсягах.

Вугільний еквівалент Q_u для перерахунку натурального палива в умовне дорівнює величині 29,33 МДж/кг.

Калорійність вугільної продукції в обмеженні (6) обчислюється за формулою [424]:

$$\begin{cases} q_{ijl}^k = q_{ijl}^{daf} (1 - A_{ijl}^k(\theta_i))(1 - W_{ijl}^k(\theta_i)) - \\ - 2,442 \left[W_{ijl}^k(\theta_i) + v_{ijl} (1 - A_{ijl}^k(\theta_i))(1 - W_{ijl}^k(\theta_i)) \right], \\ k = 1, \dots, G; i = 1, \dots, N^k; j = 1, \dots, M^k; l = 1, \dots, L^k \end{cases}, \quad (9)$$

де q_{ijl}^k – питома теплота згорання вугільної продукції, МДж/кг;

q_{ijl}^{daf} – середні значення вищої теплоти згорання на сухий беззольний стан палива, МДж/кг;

v_{ijl} – коефіцієнт, що враховує вміст водню у вугіллі (усереднені значення: 0,46 для бурого і кам'яного вугілля крім антрациту і 0,21 – для антрациту).

З метою отримання оптимальної структури вугільної продукції величина v_{ijl} вважається невідомою величиною, яка на рівні з обсягами вугільної продукції є аргументом цільової функції (6).

Розв'язок задачі (5) – (8) забезпечує оптимальну структуру запасів палива енергогенеруючої галузі країни з допустимими параметрами якості при мінімальних фінансових витратах.

Основні види викидів, що надходять в атмосферу від спалювання вугільного палива на ВЕГП, це оксид вуглецю, діоксид азоту, діоксид сірки, бенз(а)пірен, пил (тверді частинки), вуглекислий газ. Для обчислення їх використані матеріали робіт [425–430], де детально описані методи розрахунків обсягів вказаних шкідливих речовин, маємо: сумарна кількість Z^{mk} забруднюючої речовини m , що надходить в атмосферу з димовими газами (г/с, т/рік) визначається за рівнянням

$$Z^{mk} = C^m \cdot V^k \cdot x^k \cdot b, \quad (10)$$

де C^m – масова концентрація забруднюючої речовини m в сухих димових газах при стандартному коефіцієнті надлишку повітря $a_0 = 1,4$ і нормальних умовах (температура 273 К і тиск 101,3 кПа), мг/м³;

V^k – обсяг сухих димових газів, що утворюються при повному згорянні 1 кг (1 м³) палива, при $a_0 = 1,4$, нм³/кг палива (м³/м³ палива);

x^k – розрахункові витрати палива на k -му підприємстві, при визначенні викидів в грамах в секунду x^k береться в т/рік (тис. м³/рік); при визначенні викидів в тоннах на рік x^k береться в т/рік (тис. м³/рік);

b – коефіцієнт перерахунку. При визначенні викидів в грамах за секунду $b = 0.278 \cdot 10^{-3}$; при визначенні викидів в тоннах на рік $b = 10^{-6}$.

Алгоритм визначення обсягів сухих димових газів V^k детально викладений в роботі [419], після виконання якого з рівняння (9) однозначно визначається сумарна кількість викидів забруднюючих речовин.

Варто зазначити, що величина податку за викиди в значній мірі залежить від рівня їх очистки. Математичні залежності для визначення обсягів димових газів V^k враховують рівень очистки викидів шкідливих речовин коефіцієнтом η^{mk} , значення якого для кожного електрогенеруючого підприємства залежить від потужності встановленого очисного обладнання. Однак в практичних розрахунках в силу відсутності цих даних пропонується вважати параметр η^{mk} невідомою величиною і визначати його в залежності від встановлених обмежень на викиди [431], тобто η^{mk} на рівні з величинами x_{ijl}^k і v_{ijl} є аргументами цільової функції (3). Це, враховуючи високу вартість очисного обладнання, в значній мірі впливає на загальні витрати ВЕГП.

Загальна вартість готової вугільної продукції, отриманої споживачами неенергетичних галузей економіки розраховується за формулою:

$$S^{OSE} = \sum_{k=1}^G \sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} S_{ij}^k \cdot x_{ij}^k \quad (11)$$

при обмеженнях:

- на середньозважену калорійність запасів палива кожного споживача

$$\gamma^k \cdot q_p^k \geq \frac{\sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} q_{ij} \cdot x_{ij}^k}{\sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} x_{ij}^k} \geq \delta^k \cdot q_p^k; \quad k=1, \dots, G, \quad (12)$$

- на потенційні можливості постачальників

$$\sum_{k=1}^G x_{ij}^k \leq X_{ij}; \quad i=1, \dots, N_k; \quad j=1, \dots, M; \quad (13)$$

- на загальні обсяги потреб кожного споживача

$$\sum_{i=1}^{N^k} \sum_{j=1}^{M^k} \overline{x_{ij}^k} \geq \overline{X^k}; \quad k=1, \dots, G, \quad (14)$$

де S^{OSE} – загальна вартість готової вугільної продукції, отриманої споживачами неенергетичних галузей економіки, грн.;

G – кількість споживачів;

N^k – кількість постачальників вугільної продукції k -му споживачеві;

M^k – кількість марок вугільної продукції;

S_{ij}^k – вартість 1 т готової вугільної продукції, грн/т;

x_{ij}^k – обсяги готової вугільної продукції, т;

q_p^k – проектне для k -го споживача значення нижньої теплоти згорання палива, ккал/кг;

γ^k і δ^k – сталі величини, які встановлюють, відповідно, верхню і нижню межу калорійності палива для k -го споживача: $\gamma^k \geq 1$, $\delta^k \leq 1$;

$\overline{x}_{ij}^k$ – обсяги вугільної продукції в перерахунку на умовне паливо.