

НАУКОВІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ БАЛАНСІВ

ISSN 2522-4344 (Online), ISSN 1562-8965 (Print). The problems of general energy. 2017, 4(51): 15-22
doi: <https://doi.org/10.15407/pge2017.04.015>

УДК 620.9:004.942

Т.Р. БІЛАН, канд. техн. наук,
Інститут загальної енергетики НАН України,
вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150, України

БАЛАНСОВО-ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ОБСЯГІВ ВЛАСНОГО ВИДОБУТКУ ВУГІЛЛЯ ТА ЙОГО ІМПОРТУВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ЗАХОДІВ З МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РЕКОНСТРУКЦІЇ НА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУГЛЕВИДОБУВНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Запропоновано розроблену структуру балансово-оптимізаційної моделі визначення обсягів власного видобутку та імпортування вугілля з урахуванням підвищення конкурентоспроможності галузі, яке здійснюється шляхом зменшення собівартості видобутку вугілля на підприємствах державної форми власності за рахунок проведення заходів з реконструкції та модернізації виробничих ділянок. Розроблена модель враховує одночасне споживання окремих марок вугілля в умовах обмежених можливостей постачання з національної ресурсної бази та обмежених обсягів пропускної здатності морських портів країни. Виконання балансу надходження та споживання вугільної продукції виконується за рахунок її імпортування.

Ключові слова: балансово-оптимізаційна модель, вугілля, імпортування, видобуток, реконструкція, модернізація.

Постановка задачі. Зміни в структурі видобувного сектору паливно-енергетичного комплексу, викликані причинами політичного та економічного характеру, призвели до суттєвого, а для деяких марок вугілля і повного, скорочення видобутку. Територіальна відокремленість шахтопідприємств, що видобувають антрацитову групу вугілля на даний час унеможлиблює надійне та безперебійне постачання цього виду палива до споживачів з джерел власного видобутку. За такого стану галузі забезпечення потреби споживачів у вугіллі антрацитової групи можливе лише за рахунок імпортування.

З точки зору вимог енергетичної безпеки прийнятним є такий стан системи вуглезабезпечення, за якого постачання з власних джерел країни превалює над обсягами імпорту. Такого стану можливо досягти при проведенні заходів з модернізації або реконструкції

діючих шахтопідприємств, які мають потенціал збільшення виробничої потужності з метою підвищення рівня власного видобутку.

Виклад основного матеріалу. Метою системи вуглезабезпечення країни є задоволення потреби споживачів вугільної продукції різних типів, досягнення якої можливе шляхом видобутку, переробки та збагачення вугілля на підприємствах країни, а також його імпортування з-за кордону морськими та залізничними шляхами. Потреба у вугіллі, у свою чергу, має бути розподілена на окремі частки – споживання коксівного та енергетичного вугілля. Система вуглезабезпечення країни являє собою сукупність економічних та технологічних ланок постачання всіх марок вугілля в економіку країни як з джерел власного видобутку, так і з джерел імпортування. Технологічні процеси забезпечення потреби з покладів шахтопідприємств країни включають у себе процеси видобутку, збагачення та транспортування вугілля від місця

видобутку до кінцевого споживача. Ланцюги імпортування є поєднанням ланок закупівлі вугілля у необхідних обсягах, його транспортування міждержавними шляхами, а також перевезення в межах країни.

З метою врахування цих технологічних процесів у межах вирішення однієї задачі визначення оптимальних обсягів та напрямків постачання вугілля у конкурентному середовищі пропонується балансово-оптимізаційна модель вуглезабезпечення країни, яка враховує диференціацію вугільної продукції за марками та технологічним призначенням, а також підвищення конкурентоспроможності галузі шляхом здійснення заходів з модернізації та реконструкції. Модель розроблено у вигляді економіко-математичної моделі, цільовою функцією якої є затрати на постачання вугілля всіх марок як з джерел імпортування, так і з джерел власного видобутку, функціонування яких можливе в одному із двох варіантів – без проведення заходів з модернізації та реконструкції [1], та, відповідно, функціонування із встановленою потужністю, що має місце на даний момент часу.

Обмеженнями моделі є вимоги щодо задоволення потреби у кожній марці вугілля, пропускна здатність морського шляху імпортування, обсяги власного видобутку на підприємстві, що визначаються варіантом його функціонування, а також виконання вимог енергетичної безпеки за обсяговими критеріями «Частка власних джерел у балансі паливно-енергетичних ресурсів держави» та «Частка імпорту палива з однієї країни (компанії) у загальному обсязі його імпорту».

Розроблена балансово-оптимізаційна модель подається такими співвідношеннями:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{\kappa=1}^N \sum_{i \in I} \sum_{s \in \{0,1\}} \theta_{i,\kappa,s} \cdot C_{i,\kappa,s}^{66} \cdot x_{i,\kappa,s}^{66} + \\
 & + \sum_{i \in I} \sum_{\partial=1}^M C_{i,\partial}^{imn} \cdot x_{i,\partial}^{imn} \rightarrow \min
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\sum_{\kappa=1}^N \sum_{i \in I} \sum_{s \in \{0,1\}} g_{i,\kappa,s}^{66} \cdot x_{i,\kappa,s}^{66} \cdot \theta_{i,\kappa,s} + \tag{2}$$

$$+ \sum_{i \in I} \sum_{\partial=1}^M x_{i,\partial}^{imn} \geq X_{i,max}$$

$$\sum_{i \in I} x_{i,\partial}^{imn} \leq X_{nzn,max} \tag{3}$$

$$\sum_{\kappa=1}^N \sum_{s \in \{0,1\}} x_{i,\kappa,s}^{66} \cdot \theta_{i,\kappa,s} = x_i^{66} \Big|_{i \in I} \tag{4}$$

$$\sum_{\partial=1}^M x_{i,\partial}^{imn} = x_i^{imn} \Big|_{i \in I} \tag{5}$$

$$x_i^{66} = \gamma \cdot X_{надх,i} + e_i \Big|_{i \in I}, \tag{6}$$

$$e_i \leq 0 \Big|_{i \in I}$$

$$x_i^{66} + x_i^{imn} = X_{надх,i}, \tag{7}$$

$$\gamma_{\min} \leq \gamma \leq \gamma_{\max}$$

$$x_{i,\partial}^{imn} = \lambda \cdot \sum_{\partial=1}^M x_{i,\partial}^{imn} + \Delta_i \Big|_{i \in I}, \tag{8}$$

$$\Delta_i \geq 0 \Big|_{i \in I}$$

$$\lambda_{\min} \leq \lambda \leq \lambda_{\max}.$$

У моделі постачання вугілля в країну за марками за вимогами енергетичної безпеки коефіцієнти цільової функції являють собою вартості надходження вугілля в країну:

$$C_{i,k,s}^{66} = C_{i,k,s} \text{ видоб} \cdot \theta_{i,k,s} + C_{i,k} \text{ переробка} \quad (9)$$

$$C_{i,d}^{imn} = C_{i,d} \text{ имн} + C_{i,d} \text{ трансп, зовн} \quad (10)$$

У співвідношеннях (1) – (10) введено такі позначення:

Z – сукупні затрати на постачання всіх марок з джерел власного видобутку та імпортування;

$C_{i,k,s}^{66}$ – вартість вугілля власного видобутку марки i на підприємстві k у варіанті його функціонування s протягом розрахункового періоду;

$g_{i,k,s}^{66}$ – граничний обсяг власного видобутку вугілля марки i з джерела власного видобутку k у варіанті його функціонування s протягом розрахункового періоду;

$\theta_{i,k,s}$ – бінарна змінна, що визначає варіант функціонування підприємства k , що видобуває вугілля марки i ,

$$\theta_{i,k,s} = \begin{cases} 0, \text{ при } s = \text{без реконструкції}; \\ 1, \text{ при } s = \text{з реконструкцією}. \end{cases}$$

$C_{i,d}^{imn}$ – вартість постачання вугілля марки i з джерела імпортування d ;

$x_{i,d}^{imn}$ – обсяг імпортування вугілля марки i з джерела імпортування d ;

I – множина всіх марок вугілля – енергетичного та коксівного;

$g_{i,k,s}^{66}$ – технологічний коефіцієнт збагачення вугілля марки i , що видобувається на підприємстві k у варіанті його функціонування s протягом розрахункового періоду;

$X_{i,max}$ – сукупна потреба споживачів у вугіллі марки i ;

N – кількість джерел власного видобутку;

M – кількість джерел імпортування;

$X_{пзн, max}$ – пропускна здатність морського шляху імпортування (сукупна пропускна здатність морських портів);

x_i^{66} – сукупний обсяг власного видобутку вугілля марки i всіма підприємствами галузі, що розглядаються;

x_i^{imn} – сукупний обсяг імпортування вугілля марки i з усіх джерел;

e_i – вирівнювальна змінна, що визначає величину небалансу, утвореного при постачанні вугілля марки i при порушенні умови енергетичної безпеки «Частка власних джерел у загальному надходженні палива в систему»;

γ – значення індикатора енергетичної безпеки, що визначає частку власних джерел у балансі паливно-енергетичних ресурсів держави;

$X_{надх,i}^{\Sigma}$ – сукупне надходження вугілля марки i в країну;

$\gamma_{min}, \gamma_{max}$ – відповідно мінімально- та максимально-допустима частка власних джерел у загальному надходженні палива в систему, допустима згідно з вимогами енергетичної безпеки;

Δ_i – вирівнювальна змінна, що визначає величину небалансу, утвореного при постачанні вугілля марки i при порушенні умови енергетичної безпеки «Частка імпорту палива з однієї країни (компанії) у загальному обсязі його імпорту»;

λ – значення індикатора енергетичної безпеки, що визначає частку імпорту палива з однієї країни (компанії) у загальному обсязі його імпорту;

$\lambda_{min}, \lambda_{max}$ – відповідно мінімально- та максимально-допустима частка обсягу імпортування з одного джерела, допустима згідно з вимогами енергетичної безпеки;

$C_{i,k,s} \text{ видоб}$ – вартість видобутку вугілля марки i на k -му підприємстві у варіантах його функціонування s ;

$$C_{i,k, \text{ видоб}}^{\theta} = \begin{cases} C_{i,k}^0, \text{ вартість видобутку без реконструкції}; \\ C_{i,k}^1, \text{ вартість видобутку після реконструкції}; \end{cases}$$

$C_{i,k} \text{ переробка}$ – вартість переробки вугілля марки i , що видобувається на k -му підприємстві;

$C_{\text{трансп, внутр}}$ – вартість внутрішнього перевезення вугілля;

$C_{i,d} \text{ имн}$ – закупівельна вартість вугілля марки i у джерелі імпортування d ;

Таблиця 1 – Розрахункова ціна готової вугільної продукції підприємств до та після реконструкції/модернізації

Підприємство	До реконструкції (2015)	Після реконструкції (2020)
ш.Південнодонбаська №3	1616	871
ДП ш/у Південнодонбаське №1	1156	1010
ДП Красноармійськвугілля (Ж)	890	820
ДП Красноармійськвугілля (Г)	1588	1021
ДП Селидіввугілля (ДГ)	2480	1309
ДП Селидіввугілля (Г)	1097	1097
ДП Торецьквугілля	2586	1987
ДП Первомайськвугілля (ДГ)	4131	1352
ДП Первомайськвугілля (Г)	3436	1352
ВАТ Лисичанськвугілля	1560	1177
ДП Львіввугілля	2214	1271
ДП Волиньвугілля	2651	2047

Таблиця 2 – Розрахункові значення ціни готової вугільної продукції на прогнозований період

Підприємство	Розрахункові значення					
	2025		2030		2035	
	I	II	I	II	I	II
Південнодонбаська №3 (ім.М.С. Сургая)	969,11	1148,69	870,67	1148,69	844,11	1148,69
ДП Красноармійськвугілля (Г)	870,67	1375,03	797,71	1375,03	758,37	1375,03
ДП Селидіввугілля (Г)	797,71	797,71	787,83	797,71	787,83	797,71
ДП Первомайськвугілля (Г)	901,62	2350,47	797,71	2350,47	797,71	2350,47
ДП Львіввугілля	891,98	951,26	863,43	951,26	923,65	1085,55
Шахти-новобудови	624,25		447,57		328,90	
ДП ш/у Південнодонбаське №1	1057,74	1057,74	1010,44	1057,74	1008,12	1057,74
ДП Селидіввугілля (ДГ)	988,02	1452,00	934,40	1452,00	903,25	1452,00
ДП Первомайськвугілля (ДГ)	1556,18	3578,13	1351,65	3578,13	1351,65	3578,13
ВАТ Лисичанськвугілля	911,58	973,21	881,13	973,21	881,13	973,21
ДП Волиньвугілля	2047,31	2624,97	2047,31	2624,97	2047,31	2624,97
Шахти-новобудови	694,83	878,10	624,25	878,10	624,25	878,10
ДП Красноармійськвугілля (Ж)	844,11	1057,74	819,90	1407,36	797,71	1407,36
ДП Торецьквугілля	1177,32	1407,36	1177,32	1057,74	1177,32	1057,74
Шахти-новобудови	870,67		624,25		624,25	
Шахти-новобудови	624,25		479,40		479,40	

$C_{i,d \text{ трансп, зовн}}$ – вартість зовнішнього перевезення вугілля марки i з джерела імпортування d .

На підприємствах вугільної галузі України, що розташовані на території, що наразі контролюється державною владою, лише частина шахт та лав може бути реконструйована чи модернізована. Інші підприємства мають практично вичерпані запаси, а тому проведення високовитратних заходів вважається недоцільним. Варто відзначити, що питання реконструкції підприємств, що знаходяться у приватній власності, у даній роботі не розглядається з огляду на те, що держава не має суттєвих важелів для проведення інвестиційних заходів для збільшення їх виробничої потужності.

Економічна ефективність технологічного оновлення шахт формується як за рахунок підвищення енергетичної та екологічної ефективності (у вартісному виразі) [1], так і покращення основних техніко-економічних показників – збільшення обсягів видобутку вугілля (i , відповідно, обсягів випуску товарної вугільної продукції), зменшення витрат мате-

ріальних і трудових ресурсів завдяки концентрації виробництва (як результат – зменшення собівартості видобутку вугілля), покращення якості вугільної продукції, зокрема зменшення її зольності (як результат – збільшення ціни вугілля). Розрахункова ціна готової вугільної продукції на підприємствах державної форми власності, що є доцільними для проведення на них заходів з реконструкції та модернізації, за показниками 2015 р. та на першому етапі реконструкції (2020 р.), наведена у табл. 1.

Розрахункові значення цін готової вугільної продукції на прогнозований період (до 2035 р.) у цінах 2015 р. за умови проведення заходів з реконструкції та модернізації (I) та без них (II), наведено у табл. 2.

Економічні показники функціонування приватних підприємств наведено у табл. 3.

Основою для розрахунків вугільних балансів країни за допомогою розробленої балансово-оптимізаційної моделі є оперування обсягами споживання різних типів вугільної продукції, збалансованих із обсягами постачання з різних джерел та шляхів.

Таблиця 3 – Розрахункові значення собівартості та розрахункової ціни готової вугільної продукції на прогнозований період

Підприємство	Розрахункові значення		
	2025	2030	2035
ТОВ «ДТЕК Добропіллявугілля»	481,51	451,20	418,69
ВАТ Павлоградвугілля	587,85	681,34	870,67
ТДВ ш. Білозірська	870,67	797,71	758,37
Шахти-новобудови	624,25	447,57	328,90
ВАТ Павлоградвугілля	286,48	336,06	385,25
Шахти-новобудови	694,83	624,25	624,25
ВАТ «Краснолиманське»	1141,86	1141,86	1141,86
ВАТ «Укрвуглебуд»	1482,79	1482,79	1482,79
Шахти-новобудови	870,67	624,25	624,25
ПАТ «ш/у «Покровське»	400,10	400,10	447,57
Шахти-новобудови	624,25	479,40	479,40

Таблиця 4 – Результати розрахунків вугільних балансів на період до 2035 р.

Показник	2020	2025	2030	2035
<i>Обсяги споживання, млн т (вихідні дані)</i>				
А+П	2,067	0,0	0,0	0,0
Г+Д+ДГ	23,917	32,801	41,6	52,401
Коксівне, всього	19,225	18,946	20,726	21,452
<i>Обсяги постачання, млн т (розрахункові величини)</i>				
Імпортування				
А				
В'єтнам	0,62	0,0	0,0	0,0
ПАР	0,62	0,0	0,0	0,0
Росія	0,62	0,0	0,0	0,0
ОРДЛО	0,207	0,0	0,0	0,0
Д				
Росія	0,0	0,0	0,0	2,403
Казахстан	0,0	0,0	0,0	2,403
ОРДЛО	0,0	0,0	0,0	2,06
Г				
Австралія	0,0	0,0	1,313	1,727
Росія	0,0	0,0	1,313	1,727
ОРДЛО	0,0	0,0	1,125	1,48
Г(к)				
Австралія	0,447	0,0	0,0	0,0
ОРДЛО	0,0	0,0	0,0	0,0
ПС				
Австралія	3,22	1,911	1,803	2,582
Росія	3,22	1,911	1,803	2,582
ОРДЛО	2,76	1,638	1,545	2,213
<i>Обсяги власного видобутку, млн т</i>				
ДГ				
ДП ш/у «Південнодонбаське №1»	0,95	0,95	1,045*	0,95
ДП «Селідіввугілля»	0,491	0,491	1,230	1,320

Продовження табл. 4

Показник	2020	2025	2030	2035
ДП «Первомайськвугілля»	0,075	0,075	0,535	0,570
ДП «Лисичанськвугілля»	1,13	1,13	1,390	1,13
ВАТ «Павлоградвугілля»	14,55	14,44	10,355	7,79
ДП «Волиньвугілля»	0,143	0,143	0,24	0,24
Шахти-новобудови	0,8	0,172	2,85	2,85
Г				
ДП «Південнодонбаське №3 ім. М.С. Сургая	0,8	0,8	1,425	1,520
ДП «Селідіввугілля»	1,71	1,71	1,71	1,71
ДП «Первомайськвугілля»	0,18	0,18	0,91	1,140
ВАТ «Павлоградвугілля»	1,053	3,23	2,375	1,425
ДП «Львіввугілля»	1,185	1,185	1,450	1,185
ДП «Красноармійськвугілля»	0,85	0,915	1,4	1,9
Шахти-новобудови	0,0	2,85	5,7	10,83
ТОВ ДТЕК «Добропіллявугілля»	1,196	4,895	5,605	6,55
ТДВ ш. Білозірська	0,0	1,425	1,71	1,9
К				
Шахти-новобудови	0,0	2,85	4,94	4,94
ПАТ ш/у «Покровське»	7,2	7,2	7,2	5,7
Ж				
ДП «Красноармійськвугілля»	1,4	1,4	1,4	1,4
ДП «Торецьквугілля»	0,625	0,755	0,755	0,755
ВАТ «Краснолиманське»	0,8	0,81	0,81	0,81
ВАТ «Укрвуглебуд»	0,0	0,47	0,47	0,47
Шахти-новобудови	0,0	0,0	0,0	0,0
Сукупні обсяги збагачення газової групи	1,196	1,790	2,080	2,620

* – тут і далі в таблиці жирним виділено варіант функціонування шахтопідприємства, що потребує проведення заходів з реконструкції/модернізації.

Проте, при визначенні остаточних обсягів споживання на прогнозований період необхідно враховувати такі чинники: – відсутність сформованих на державному

рівні стратегій та планів розвитку промислових галузей, що унеможлиблює однозначне визначення структури та обсягів споживання вугільного палива;

- відсутність у широкому доступі планів реконструкції підприємств-споживачів;

- відсутність впевненості у відновленні шахтного фонду країни та гарантованого відновлення видобутку дефіцитних марок вугілля, що наразі залишаються на територіях, що не контролюються органами державної влади;

- скорочення залишкового ресурсу енергоблоків теплових електростанцій, що споживають вугільне паливо, а також необхідність будівництва нових або докорінної реконструкції існуючих генеруючих потужностей, які будуть відповідати екологічним нормативам європейського законодавства та будуть експлуатуватись після закінчення ресурсу існуючих енергоблоків;

- спорудження нових генеруючих потужностей потребує можливості використання проектного палива, проте, залишається невизначеним питання доступності окремих марок вугілля на середньо- та довгострокову перспективу.

З урахуванням викладеного вище, при проведенні тестових розрахунків виконане припущення щодо повного припинення споживання антрацитової групи енергетичного вугілля та переведення всіх споживачів на газову групу після 2025 р. Споживання коксівного вугілля взято як різниця між сукупними обсягами споживання [2] та обсягами споживання енергетичного вугілля.

У табл. 4 наведено результати розрахунків вугільних балансів, проведених на основі розробленої балансово-оптимізаційної моделі вуглезабезпечення країни з диференціацією за марками і технологічним призначенням.

Наведені результати розрахунків показують, що зміни у структурі споживання суттєво впливають на необхідність проведення заходів з реконструкції вуглевидобувних підприємств. Повне припинення споживання антрацитової групи енергетичного вугілля вимагає проведення заходів з реконструкції та

модернізації вуглевидобувних підприємств до 2025 р., при цьому у 2035 р. майже всі вуглевидобувні потужності, що наразі знаходяться на територіях, контрольованих державною формою, мають бути реконструйовані та вийти на граничні значення своєї видобувної потужності. За таких умов імпорт газової групи вугілля буде становити 3,751 млн т у 2030 р. та 11,8 млн т у 2035 р. Обсяги імпорту коксівного вугілля становитимуть 9,647 млн т, 5,46 млн т, 5,151 млн т та 7,377 млн т у 2020, 2025, 2030 та 2035 рр. відповідно.

ВИСНОВКИ

Таким чином, з метою дослідження оптимального розподілу вугільних потоків з різних джерел та напрямків у системі вуглезабезпечення розроблено структуру моделі забезпечення вугіллям економіки країни, що враховує одночасне споживання окремих марок вугілля в умовах обмежених можливостей постачання з національної ресурсної бази, обмежених обсягів перевезення транспортними шляхами, а також при забезпеченні максимально досяжного рівня енергетичної безпеки. Забезпечення постачання недостатніх обсягів необхідних видів вугільної продукції забезпечується в моделі її імпортування. У запропонованій моделі вуглезабезпечення країни оптимізація сукупних затрат здійснюється за рахунок зміни структури постачання палива, а також проведення заходів з реконструкції та модернізації підприємств вугільної галузі країни.

1. Макаров В. М. Оптимізація розвитку технологічних систем вуглевидобування за показниками енергетичної та економічної ефективності: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.01. Макаров Віталій Михайлович. Київ, 2017. 207 с.
2. Кулик М.М., Горбулін В.П., Кириленко О.В. Концептуальні підходи до розвитку енергетики України (аналітичні матеріали) . К.: Інститут загальної енергетики НАН України, 2017. 78 с.

Надійшла до редколегії 10.11.2017.