

# НАУКОВІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ПОЛІТИКИ

УДК 004.942:622.68

О.В. СТОГНІЙ, канд. техн. наук, М.І. КАПЛІН, В.М. МАКАРОВ, Т.Р. БІЛАН  
Інститут загальної енергетики НАН України, м. Київ

## МОЖЛИВОСТІ ЗАМІЩЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ ВУГІЛЛЯМ ВЛАСНОГО ВИДОБУТКУ

*Наведено основи методичного підходу щодо оцінки доцільності та обсягів заміщення споживання природного газу в економіці країни вугільною продукцією власного виробництва. Потенціалом пропонованого заміщення є досяжний рівень зростання видобутку вугілля у необхідному асортименті марок та належної якості, що забезпечується всіма можливими напрямками розвитку вітчизняних паливних баз. Запропоновано рейтингову модель поступового переведення споживачів газу на вугільне паливо. Рейтинги заміщення газових технологій розраховуються в моделі за показниками екологічної прийнятності, а також вартості впровадження відповідних вугільних технологій.*

*Ключові слова:* природний газ, вугілля, заміщення, власний видобуток, рейтингова модель.

Непередбачувана поведінка основних гравців світового ринку газу та викликана нею нестабільність цін породжує перед державами виклики щодо створення стійкої системи забезпечення економік вуглецевмісними паливами у межах міждержавних об'єднань для концентрації зусиль в напрямку подолання енергетичних загроз. Попри наявність чіткого бачення розвитку енергетичних секторів країн-членів Європейського співтовариства [1] в частині співвідношення часток колективних систем постачання паливних продуктів та їх власного видобутку, важко переоцінити вплив чинників надзвичайної сили, зокрема політичних, значимість яких стрімко зростає й спричинить потребу в коректуванні міждержавних енергетичних угод. У цих умовах по суті єдиним джерелом енергетичної стабільності в державі та надійним гарантом забезпечення мінімально необхідного рівня енергетичних потреб є видобуток паливних продуктів з національних паливних баз. Для української економіки енергоносієм, наявних обсягів якого достатньо для

задоволення потреб найбільш енергоємних виробництв, є вугілля. Незважаючи на складні гірничо-геологічні умови видобутку, інколи недостатню якість вугільної продукції, асортимент марок вугілля, що видобувається в державі у повному обсязі, забезпечує енергетичний сектор економіки та більшу частину технологічних процесів спалювання в промисловості. Разом з тим, численні сучасні технології споживання вугільних видів палива вимагають застосування конкретних марок вугілля із достатньо високими якісними показниками. Тому, метою цієї роботи є дослідження можливостей та оцінка обсягів заміщення природного газу вугіллям із врахуванням технічної можливості впровадження заданих вугільних технологій спалювання на заміщення газових у межах досяжного обсягу власного видобутку технологічно потрібних видів/марок вугілля.

Найбільшими споживачами газу в Україні [2] є населення, теплокомуненерго (ТКЕ), енергетика, в промисловості – металургія та хімічне виробництво.

У 2005 р. частка газу в енергетичному балансі країни досягала 41%. Споживання газу до

© О.В. СТОГНІЙ, М.І. КАПЛІН, В.М. МАКАРОВ, Т.Р. БІЛАН,  
2014

цього часу значно скоротилося в порівнянні з майже 120 млрд м<sup>3</sup> на рік на початку 90-х років внаслідок демонтажу частини промислових потужностей.

За даними «Нафтогазу України», у 2005 р. в країні було використано 78 млрд м<sup>3</sup> газу, з яких 60 млрд м<sup>3</sup> – імпортований. У 2006–2008 рр. різке підвищення цін, як зовнішніх (купівлі, в тому числі імпортованого газу), так і внутрішніх – для промислових і комерційних споживачів, позначилося на обсягах споживання. У 2007 р. споживання газу становило вже 69,8 млрд м<sup>3</sup>, з яких 49,1 млрд м<sup>3</sup> припадало на імпорт. Подальше зниження газових показників в економіці України відбулося вже внаслідок кризи.

У 2009 р. різко скоротилися обсяги виробництва найбільших промислових споживачів газу – металургійних та хімічних підприємств. Зменшення виробництва електроенергії внаслідок зниження її споживання дозволило практично відмовитися від використання газу і в цій галузі. Всього, за даними «Нафтогазу», в 2009 р. споживання газу знизилось до 51,9 млрд м<sup>3</sup> – більш ніж на третину порівняно з 2005 р. З них 26,8 млрд м<sup>3</sup> становив імпорт при власному видобутку 21,2 млрд м<sup>3</sup>.

У розрахунковому балансі газу, підготовленому Кабінетом Міністрів у грудні 2009 р., споживання газу в 2010 р. оцінювалося в 57,1 млрд м<sup>3</sup>. Задовольнити ці потреби передбачалося за рахунок 20,7 млрд м<sup>3</sup> власного видобутку та імпортування 27,0 млрд м<sup>3</sup> (як і в 2009 р.). У 2011 р., згідно з газовими контрактами, очікувалось збільшення обсягів споживання до дещо більше 62 млрд м<sup>3</sup>.

Зростання обсягів споживання природного газу спричинювалось також збільшенням кількості споживачів, зокрема, до 2010 р. споживання газу газифікованими квартирами становило 17,05 млрд м<sup>3</sup>. Зменшенню споживання природного газу населенням сприяють декілька факторів: встановлення газових лічильників, використання електричних приладів для обігріву та приготування їжі.

Існує декілька можливих шляхів економії газу в житловому секторі: оснащення всіх газифікованих квартир та приватних будинків лічильниками при значному підвищенні цін на газ для населення. За рахунок цього використання газу домогосподарствами можна буде скоротити на 30%, тобто до близько 12 млрд м<sup>3</sup>

на рік. Іншим напрямком економії газу в цій галузі є ремонт і модернізація розподільчих мереж, зокрема, заміна застарілих труб, що дають витоки.

Одним з основних джерел заощадження газу в Україні є енергетичний сектор. За даними Мінпаливенерго, в 2009 р. ТЕС використовували 0,4 млрд м<sup>3</sup> газу порівняно з 1,6 млрд м<sup>3</sup> в 2008 р., всього споживання газу на енергетичних об'єктах міністерства знизилось до 3,7 млрд м<sup>3</sup>. В 2007 р. цей показник перевищував 8,4 млрд м<sup>3</sup>.

Незважаючи на те, що споживання електроенергії в Україні зростає при пожевленні економіки, згідно з очікуваними тенденціями скорочення кількості споживачів у галузі необхідно передбачати, що в майбутньому збільшення вироблення електроенергії можна буде забезпечити без залучення додаткових обсягів газу. Цьому сприятимуть модернізація енергоблоків ТЕС із збільшенням їх продуктивності, а також введення в роботу нових блоків Дністровської ГАЕС, а в перспективі – і атомних. В осяжному майбутньому велика енергетика потребуватиме 3–4 млрд м<sup>3</sup> газу на рік.

У промисловості найбільшими споживачами газу є металургійні та хімічні підприємства, які в докризовому 2007 р. сукупно використовували більше 18,3 млрд м<sup>3</sup> газу, що становило більше 70% від обсягу його споживання в промисловому секторі і понад 26% – від загальнонаціонального показника. Після кризи в 2009 р. хімічна галузь використовувала 4,7 млрд м<sup>3</sup> проти 8,3–8,6 млрд м<sup>3</sup> в 2006–2007 рр. Металургійні підприємства використали близько 5 млрд м<sup>3</sup> газу, тоді як до кризи споживали близько 9,5–9,7 млрд м<sup>3</sup> на рік.

У металургійній галузі економія газу досягається, в основному, за трьома напрямками: встановлення установок із вдування пиловугільного палива; заміна природного газу коксівним або доменним; зменшення споживання газу за рахунок заміни мартенівських печей електричними або кисневими конвертерами. Проекти встановлення конвертерів вимагають значних інвестицій і до кризи повністю реалізувати їх не вдалося жодному підприємству, де використовуються мартенівські технології. За рахунок впровадження в металургії установок із вдування ПВП споживання газу в масштабах галузі може скоротитися більш ніж на 2,5 млрд м<sup>3</sup> на рік. Повна заміна мартенів кон-

вертерами дасть ще близько 1,4 млрд м<sup>3</sup>, близько 0,5–1 млрд м<sup>3</sup> в рік може забезпечити використання коксового, доменного та інших відхідних газів. У післякризовому періоді металургійна галузь зможе обмежити споживання газу до 5–5,5 млрд м<sup>3</sup> на рік. Після завершення реалізації модернізаційних проектів обсяг споживання становитиме 7,5–8,5 млрд м<sup>3</sup> на рік.

У хімічній галузі економія пов'язана з модернізацією потужностей. За умови повного завантаження потужностей і проведення повної реконструкції, використання газу підприємствами хімічної галузі становитиме 6,8–7,2 млрд м<sup>3</sup> на рік.

Можливості для скорочення споживання газу є і в інших галузях, наприклад, при виробництві цегли або цементу. У 2007 р. промислові споживачі (без металургії та хімічної промисловості) використали майже 7,5 млрд м<sup>3</sup> газу. Цей показник в найближчому майбутньому може бути знижений до 6–6,5 млрд м<sup>3</sup> на рік.

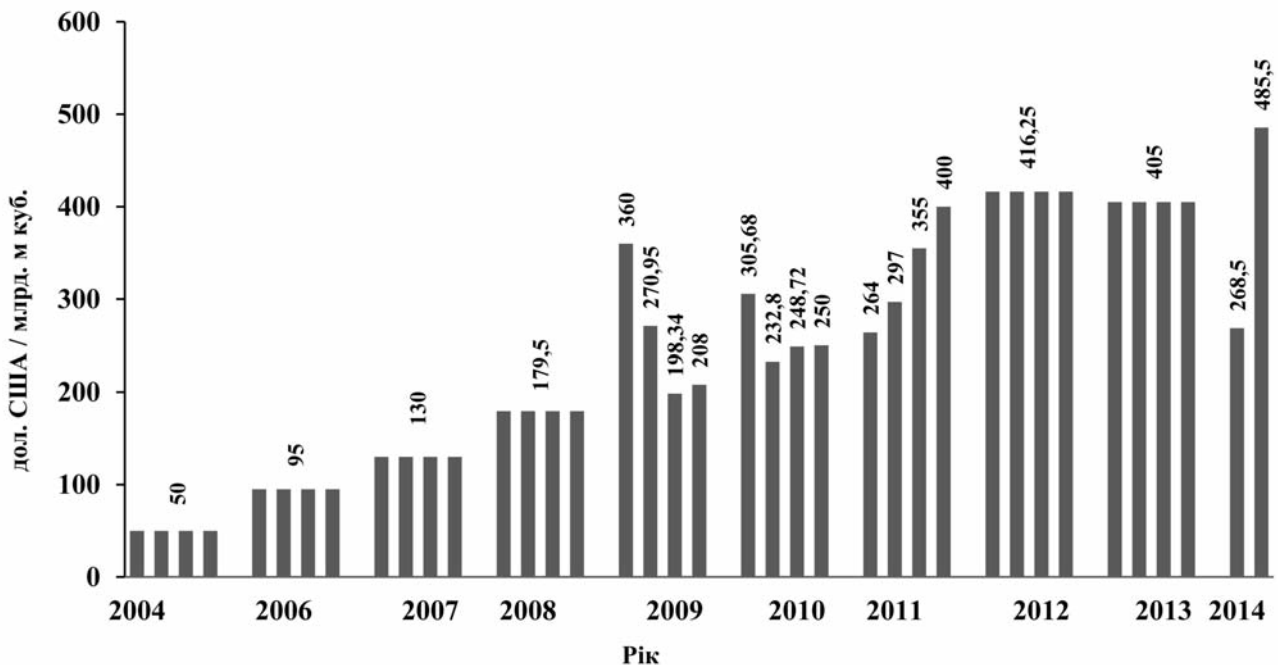
Споживання технічного газу за останні роки скоротилося завдяки модернізації потужностей «Укртрансгазу» по перекачуванню, встановленню нових газових турбін, зниженню втрат. На 2010 р. в балансі газу було передбачено 6,6

млрд м<sup>3</sup> технологічного газу. У найближчі роки цей показник навряд чи зазнає суттєвих змін.

Таким чином, орієнтовний обсяг споживання газу в Україні при прогнозованому обсязі 43 млрд м<sup>3</sup> на рік у 2012 році фактично становив 54 млрд м<sup>3</sup>, і в найближчій перспективі, враховуючи основні показники динаміки економіки, становитиме 50–53 млрд м<sup>3</sup> на рік з тенденцією до скорочення.

Описані вище зміни обсягів споживання газу були викликані, зокрема, й значними коливаннями цін на імпортований газ. Для періоду 2004–2014 рр. ці коливання зображені на рисунку поквартально.

Як видно, ціна на природний газ демонструє стійку тенденцію до зростання, спричинену як станом світових ринків, так і монополізацією постачання ресурсу до країни. Особливо чітко вплив монопольних чинників виявився впродовж 2013–2014 рр., що характеризує стан постачання природного газу як небезпечний для паливозабезпечення країни. Очевидно, що в різких коливаннях цін останнього часу необхідно вбачати вплив передусім політичних чинників, який важко передбачити і в майбутньому.



Зміни ціни на російський газ

Тому, для зміцнення енергетичної безпеки та стабілізації ціноутворення на внутрішньому ринку енергоносіїв державна політика паливо-забезпечення має орієнтуватися переважно на палива власного видобутку, основним із яких для України є вугілля. У цьому контексті дослідження обсягів та шляхів переходу економіки на споживання вітчизняних видів палива вбачається складною науково-технічною проблемою, складність якої пов'язана, в першу чергу, з багатоваріантністю можливих заміщень технологій спалювання, достатньо широким асортиментом вугільних паливних продуктів [3, 4], економічними (вартісними) та технологічними аспектами їх впровадження. Проте, первинним для вирішення даної проблеми є питання оцінки досяжних обсягів власного виробництва вугільного палива в країні. Нижче наведемо огляд поточних можливостей та перспектив розвитку вітчизняного вуглевидобування.

**Визначення потенціалу видобутку енергетичного та коксівного вугілля в Україні на період до 2030 року.** Наразі, виробничі потужності державних шахт використовуються лише на 60%. Тільки за попереднє десятиліття обсяг видобутку зменшився з 82,0 до найнижчого рівня 72,0 млн т (2009 р.).

Із врахуванням зростання попиту на українську вугільну продукцію за прогнозований період (до 2030 р.) попередній розподіл обсягів цього попиту між діючими шахтами України наведено в [5]. Загальна виробнича потужність шахт, визначених для забезпечення паливо-енергетичного балансу енергетичного сектору держави, на 1 січня 2013 р. становить 66,5 млн т/рік. Вже до 2015 р. виробнича

потужність українських шахт з видобутку вугілля енергетичного призначення зросте на 17,5 млн т, до 2020 р. ще на 7,6 млн т. За останнє прогнозоване десятиріччя сумарна виробнича потужність шахт, поступово зростаючи, досягне рівня 96,9 млн т (за умови введення в експлуатацію шахт новобудов), перевищивши рівень 2013 р. на 30,4 млн т (73%).

У секторі енергетичного вугілля значні виробничі потужності зберігатимуться у компанії ДТЕК. При цьому вона планує потужності з видобутку вугілля газової групи збільшити до 2030 р. на 5,8 млн т (32,0%), а вугілля антрацитової групи (П+А) – на 3,7 млн т (27,3%).

На шахтах державної форми власності, що видобувають енергетичне вугілля, виробничі потужності можуть бути значно збільшені. Ці шахти мають забезпечити вугіллям не лише теплову енергетику, а й потреби заводів із газифікації вугілля, що будуть побудовані в майбутньому. Тому виробничі потужності тут треба збільшити в 1,7 раза. Фактичні за 2013 р. та прогнозні (2015–2030 рр.) обсяги видобутку енергетичного вугілля за марками наведено в табл. 1.

За прогнозований період у балансі коксівного вугілля будуть мати місце зміни марочного складу, пов'язані з необхідністю значного підвищення якості коксу, що виробляється з шихти українського вугілля. Експерти передбачають збільшення частки марки Ж з 33,5% у 2010 р. до 40,0% у 2030 р. За той самий період частка марки П зросте з 9,9 до 15%. Натомість частка марки Г буде зменшуватись з 24,5 до 15,0% і її потреба буде задовольнятися тільки за рахунок імпорту низькосірчистого вугілля. Вугілля марки ДГ вміщуватись у баланс коксів-

**Таблиця 1 – Прогноз видобутку енергетичного вугілля в Україні за марками на період 2013–2030 рр., тис. т**

Марка вугілля	2013 р. (факт)	2015 р.	2020 р.	2030 р.
Д	362,6	1000	1200	1500
ДГ	16572,7	21670	21170	20150
Г	12500,5	25550	31500	39450
Ж	246,6	-	-	-
П	9176,0	9895	10950	11700
А	21114,5	25950	26850	24100
<b>Всього</b>	<b>59972,9</b>	<b>84065</b>	<b>91670</b>	<b>96900</b>

ного вугілля не буде вже з 2015 р.

Збільшення виробничої потужності шахт, що перебувають у державній формі власності і видобувають коксівне вугілля, в наявних нині умовах може відбуватися тільки в межах потреби для досягнення обсягів видобутку вугілля, які дозволяють шахті працювати беззбитково (без державного субсидювання) та забезпечу-

вати при цьому просте відтворення виробництва.

Фактичні за 2013 р. та прогнозні (2015–2030 рр.) обсяги видобутку коксівного вугілля за марками наведено в табл. 2.

У табл. 3 наведено приріст виробничої потужності та необхідні інвестиції у розвиток вугільних шахт на 2013–2030 рр.

**Таблиця 2 – Прогноз видобутку коксівного вугілля в Україні за марками на період 2013–2030 рр., тис. т**

Марка вугілля	2013 р. (факт)	2015 р.	2020 р.	2030 р.
ДГ	954,2	-	-	-
Г	1420,3	-	-	-
Ж	9229,4	10282	10693,5	13379,1
К	11322,6	11611,4	12577,7	16948
ПС	797,9	1250	1400	1150
<b>Всього</b>	<b>23724,5</b>	<b>23143,4</b>	<b>24671,2</b>	<b>31477,1</b>

**Таблиця 3 – Приріст потужності та інвестиції у розвиток вугільних шахт України на 2013–2030 рр.**

Шахта	Виробнича потужність, тис. т			Загальна вартість інвестиційного проекту, млн грн
	2013 р.	2030 р.	Приріст	
Всього по галузі	87664	128377	40713	176686,1
Шахти, що видобувають енергетичне вугілля	66495	96900	30405	150748,4
Шахти, що видобувають коксівне вугілля	21169	31477	10308	25937,7

У зв'язку з політичною та економічною кризою в Україні необхідно також розглянути песимістичний варіант розвитку вугільної промисловості на період до 2030 р., який передбачає: до 2015 р. – підтримання продуктивності діючих шахт на рівні 90,3 млн т, в т. ч. 65,8 млн т енергетичного вугілля; до 2020 р. – модернізація діючих шахт, із сумарним прогнозованим видобутком на рівні 100,3 млн т, в т. ч. 74,1 млн т енергетичного вугілля; до 2030 р. – прогнозований видобуток на рівні 115,6 млн т, в т. ч. 82,1 млн т енергетичного вугілля.

Прогнозні показники видобутку за марками енергетичного та коксівного вугілля на період до 2030 р. за песимістичним сценарієм наведено в табл. 4.

Розглядаючи можливості збільшення обсягів видобутку енергетичного та коксівного вугілля до 2020 р. порівняно з 2013 роком, можна надати оцінку гранично-можливого обсягу заміщення споживання природного газу вугільним паливом. За середньою теплотворною здатністю вугілля та газового палива перевищення обсягу видобутку вугілля в 2020 р. над 2013 р. – 16,7726 млн т, згідно з табл. 4, еквівалентно 12,781 млрд м<sup>3</sup> природного газу. Водночас, беручи за базове значення обсягу споживання газу 51,1 млрд м<sup>3</sup> відповідно до наведених вище прогнозних даних, можна очікувати можливе його скорочення у 2020 р. до 38,32 млрд м<sup>3</sup>. Враховуючи приблизно стабіль-

Таблиця 4 – Прогнозні обсяги видобутку вугілля за песимістичним сценарієм розвитку вугільної промисловості України на період до 2030 р.

Марка вугілля	2013 р. (факт)	2015 р.	2020 р.	2030 р.
Д	362,6	440	1150	1750
ДГ	16572,7	17820	19250	19600
Г	12500,5	16420	21930	29950
Ж	246,6	300	300	-
П	9176,0	9330	10020	10920
А	21114,5	21470	21500	19840
<b>Всього енергетичне:</b>	<b>59972,9</b>	<b>65780</b>	<b>74150</b>	<b>82060</b>
ДГ	954,2	-	-	-
Г	1420,3	-	-	-
Ж	9229,4	11320	11300	13300
К	11322,6	12320	13320	18900
ПС	797,9	870	1500	1300
<b>Всього коксівне:</b>	<b>23724,5</b>	<b>24510</b>	<b>26120</b>	<b>33500</b>
<b>Всього:</b>	<b>83697,4</b>	<b>90290</b>	<b>100270</b>	<b>115560</b>

ний обсяг власного видобутку у межах 20–21 млрд м<sup>3</sup> за рік, отримуємо приблизну оцінку необхідного імпорту на рівні 18,3 млрд м<sup>3</sup>. Цю величину, очевидно, необхідно розглядати як допустиму, враховуючи перспективи реверсного постачання природного газу з країн Європи, обсягом до 20 млрд м<sup>3</sup>. Такий обсяг наразі вважається загальною технічною можливістю за напрямками постачання через Словаччину, Угорщину, Польщу та Румунію. Разом з тим, враховуючи збільшення обсягів споживання вугілля, пов'язане із зростанням економіки, за даними Енергетичної стратегії України (у редакції 2012 р.) до 41,2 млн т готової вугільної продукції, необхідно зменшити потенціал заміщення вугіллям природного газу на 4,68 млн т. Проте, ця величина отримана розробниками Стратегії у припущенні прогнозованого переведення економіки країни на споживання вугільного палива. Тому, для отримання граничного потенціалу заміщення динаміку попиту на вугільну продукцію, спричинену загальним економічним зростанням, враховувати недоцільно. У підсумку отримуємо за найбільш грубими оцінками можливого збільшення обсягу власного видобутку вугілля, забезпечення здатності економіки країни скоротити споживання природного газу у 2020 р. до 38,32 млрд м<sup>3</sup> за сукупного обсягу власного видобутку та надходження за

імпортом (20–21)+20=40–41 млрд м<sup>3</sup>. Таким чином, виходячи з оцінок обсягів заміщення на основі теплотворної здатності палив, потенціал вугільної галузі є достатнім для задоволення потреб економіки при вимушеному скороченні споживання природного газу.

Проте, зроблені висновки щодо можливостей заміщення палив можуть виявитися хибними, а загальний обсяг – недостатнім у зв'язку з наявністю продуктивних – асортиментних, технологічних, інвестиційних, екологічних – обмежень, що виникають при диференційованому за парами взаємозаміщуваних технологій розгляді процесу переорієнтування всієї економіки країни на споживання палива переважно власного видобутку. Врахування цих особливостей на найбільш деталізованому рівні вимагає вивчення всієї сукупності можливих проектів заміщення устаткування спалювання природного газу на відповідне вугільне з подальшою оцінкою проектів за згаданими показниками для умов окремих споживачів природного газу (див., наприклад, табл. 5, а також [6]).

Проект впровадження технології та обладнання для вдування пиловугільного палива (ПВП) [7] у доменні печі на середньому металургійному підприємстві, рівня Єнакіївського МЗ, експерти оцінюють в 120–150 млн дол. США з терміном окупності 1,5–2 роки.

**Таблиця 5 – Вартісні та екологічні показники деяких технологій спалювання вугілля для заміщення природного газу**

Технологія спалювання	Кап. витрати, євро/кВт (з сіркоочищ.)	Експл. витрати, євро/кВт/рік	Викиди SO <sub>x</sub> , кг/МВт	Викиди NO <sub>x</sub> , кг/МВт	Викиди CO <sub>2</sub> , кг/МВт
Суперкритичні параметри пари	1200	47	0,6	1,2	760
Спалювання у ЦКШ	1000	-	0,66	0,8	860
Спалювання у ЦКШ під тиском	1500	-	0,66	0,8	820
Комбінований цикл комплексної газифікації (IGCC)	1700	60	0,06	0,4	740

Типовий проект реконструкції котельні з заміщенням природного газу на вугілля, що спалюється за технологією ЦКШ, передбачає два варіанти реконструкції: поетапне переведення котлів на спалювання твердого палива, та повну заміну котлоагрегатів з великим терміном напрацювання.

Наприклад, для котельні [8], устаткованої водогрійними та паровими котлами, загальною тепловою потужністю 55 Гкал/год, що споживає природний газ з нижчою теплою згоряння 8100 ккал/нм<sup>3</sup>, затрати на реконструкцію наведено у табл. 6.

Системний аналіз цього процесу, натомість, передбачає узагальнення – формалізацію

опису заміщень палив з позицій загально-економічних критеріїв доцільності та/чи ефективності.

Метою системного підходу та формалізації заміщення палив є зниження витрат, зокрема питомих капітальних вкладень, оптимальне впорядкування цього процесу в часі, врахування екологічних вимог у напрямку дотримання умов сталого розвитку країни. Відповідно до цих критеріїв математична модель заміщення газових технологій енергозабезпечення функціонування секторів економіки вугільними може бути подана у вигляді задачі лінійного програмування такою системою співвідношень:

**Таблиця 6 – Витрати на переведення котельні на спалювання вугілля**

Назва витрат, тис. грн	Варіант 1			Варіант 2		
	1-й етап	2-й етап	Разом	1-й етап	2-й етап	Разом
Обладнання	6490	7835	14325	8765	7595	16360
Демонтажні та монтажні роботи	5320	6060	11380	5395	4970	10365
Будівельні роботи	2395	2265	4660	2395	1335	3730
Інші витрати	2130	970	3100	2485	970	3455
Всього (без ПДВ)	16335	17130	33465	19040	14870	33910
ПДВ (20%)	3267	3426	6693	3808	2974	6782
Разом з ПДВ	19602	20556	40158	22848	17844	40692

$$\sum_{i=1}^N r_i \cdot x_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_i} \rho_{ij} \cdot y_j \rightarrow \max, \quad (1')$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \leq G_m^{\max}, \quad (2)$$

$$X_i^{\min} \leq x_i \leq X_i^{\max}, \quad (3)$$

$$r_i = R_i^{\text{екол}} \cdot R_i^{\text{еарм}}, \quad (4)$$

$$r_i = \frac{X_i^{\max} - X_i^{\min}}{\max_{i=1, N} (X_i^{\max} - X_i^{\min})}, \quad (4')$$

$$\sum_{i=1}^N z_i \cdot x_i \leq K_p, \quad (5)$$

де  $x_i$  – обсяг споживання газу в  $i$ -й технології, що заміщується вугільною технологією на одиницю продукції споживача;

$r_i$  – рейтинг  $i$ -ї технології споживання газу, що заміщується вугільною технологією;

$N$  – загальна кількість технологій споживання газу, що допускають заміщення вугільними технологіями;

$G_m^{\max}$  – загальний обсяг природного газу, який можна замінити вугільними технологіями спалювання вугілля марки  $m$ ;

$V_m^{\max}$  – загальний обсяг вугілля, марки  $m$ , необхідний для заміщення відповідних газових технологій, пов'язаний з загальним обсягом заміщуваного природного газу технологічним коефіцієнтом співвідношення теплотвірних здатностей:  $G_m^{\max} = g_{\text{зв}, m} \cdot V_m^{\max}$ ;

$g_{\text{зв}, m}$  – технологічний коефіцієнт заміщення природного газу вугіллям марки  $m$ , розрахований за вищою тепловою згорання;

$\rho_{ij}$  – продуктова ефективність заміщення  $i$ -ї газової технології  $j$ -ю вугільною, м<sup>3</sup>/т;

$y_j$  – обсяг споживання вугілля при заміщенні  $i$ -ї газової технології  $j$ -ю вугільною;

$X_i^{\max}$  – максимально досяжний обсяг природного газу, який можна замінити вугіллям у  $i$ -й технології споживання;

$R_i^{\text{екол}}$  – показник екологічної прийнятності заміщення  $i$ -ї технології споживання природного газу вугільною технологією; може набувати двох значень, що характеризують допусти-

мість заміщення: 0 – ні, 1 – так;

$R_i^{\text{еарм}}$  – середня вартість заміни  $i$ -ї газової технології вугільною для різних споживачів;

$z_i$  – питомі затрати на переоснащення  $i$ -ї газової технології на споживання вугілля, у.о./ (м<sup>3</sup>/од. прод.);

$K_p$  – річний допустимий обсяг капіталовкладень у переоснащення споживачів вугільними технологіями спалювання.

Формулами (1) та (1') задаються два альтернативних підходи до проблеми заміщення. Критерій оптимізації в (1) засновано на показниках рейтингів заміщуваних газових технологій. У цій постановці доцільність переоснащення вважається залежною від екологічної прийнятності та вартості. У випадку відсутності інформації про вартісні оцінки варіантів переоснащення замість рейтингового показника (4) можна використати відносний обсяг скорочення споживання газу при заміщенні  $i$ -ї технології (4'). У цьому випадку, критерій (1') являє собою сукупну продуктову ефективність переоснащення, що виражається сумарним обсягом вугільної продукції, необхідної для забезпечення потреб споживачів природного газу. Загальними обмеженнями оптимізаційної задачі, незалежними від вибраного критерію, є об'єктивні граничні значення обсягів переведення на вугілля (3), та обсягу інвестицій у реконструкцію об'єктів заміщення (5). Крім того, сумарний обсяг природного газу (2), який може бути заміщений вугільною продукцією, не перевищує граничного значення, що відповідає можливому обсягу зростання видобутку вугілля з вітчизняних паливних баз за теплотворними здатностями цих видів палива.

## ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано можливість задоволення енергетичних потреб країни в природному газі на рівні 51,1 млрд м<sup>3</sup> шляхом заміщення вже в 2020 р. 12,7 млрд м<sup>3</sup> газу вугільним паливом, скоротивши фактичний обсяг споживання газу до 38,3 млрд м<sup>3</sup>. Із врахуванням власного видобутку на рівні 20 млрд м<sup>3</sup> це визначає потребу імпортування в обсязі 18,3 млрд м<sup>3</sup>, що може бути задоволено сукупним обсягом реверсного постачання з країн Європи, технічна можливість якого наразі становить 20 млрд м<sup>3</sup>.

2. Активізація з 2010 р. економічних реформ в Україні, надходження у вугільну промисловість приватного капіталу, що супроводжували-



ся активним технологічним переоснащенням вугільних підприємств видобувною технікою нового технічного рівня, привели до збільшення видобутку українського вугілля з 72,0 млн т у 2009 р. до 83,7 млн т (в т.ч. 60 млн т енергетичного вугілля) в 2013 р. та прогнозованого його зростання до 100,270 млн т (з них 74,150 млн т – енергетичного) у 2020 р., та 115,560 млн т (82,060 млн т енергетичного) у 2030 р.

3. Планування щорічних обсягів заміщення природного газу вугільним паливом має вирішуватися на основі системного підходу згідно з вибраними пріоритетами доцільності переоснащення. З цією метою запропоновано модельний підхід до визначення річних обсягів переорієнтування галузей економіки на споживання вугільного палива з використанням вартісного та обсягового критеріїв заміщення, які можуть бути використані з метою забезпечення енергетичної незалежності в умовах кризових явищ на світових ринках природного газу або різкого скорочення обсягів постачання з окремих джерел.

4. Асортиментний аспект заміщення природного газу може перемістити проблему дефіциту паливозабезпечення у площину нарощування обсягів імпортування вугілля. Перевага такого вирішення задачі забезпечення паливом полягає у значно ширших можливостях диверсифікації постачання з світових вугільних ринків у порівнянні з ринками природного газу. З позицій енергетичної безпеки країни переорієнтування галузей споживання та переробки палива на вугілля відповідає вимогам європейських енергетичних конвенцій та тенденцій сталого розвитку.

1. *Дорожня карта ЄС з енергетики* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/energy2020/roadmap/index_en.htm).

2. *Тарнавский В.* Потребление газа в Украине: объемы, тенденции, перспективы [Електронний ресурс] / В. Тарнавский. – Режим доступу: [http://escosys.narod.ru/2010\\_8/art097.htm](http://escosys.narod.ru/2010_8/art097.htm).

3. *Чернявский Н.В.* О перспективах и особенностях использования угля в промышленности и коммунальной энергетике /

Н.В. Чернявский. – Режим доступу: <http://modern.science.triacon.org/ru/issues/2012/files/papers/1/80-88.pdf>.

4. *Вольчин И.* Перспективы внедрения чистых угольных технологий в теплоэнергетику Украины / И.Вольчин. – Режим доступу: <http://www.lcoir-ua.eu/RU/news/news1/Prez-14-15.09.11/2-1-Volchyn.pdf>.

5. *Програма розвитку вугільної промисловості України на період до 2030 року* [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міністерства енергетики і вугільної промисловості. – Режим доступу: [http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article;jsessionid=9C10CCF1B37C036C2170B6B7B6C272F1?art\\_id=229386&cat\\_id=200576](http://mpe.kmu.gov.ua/fuel/control/uk/publish/article;jsessionid=9C10CCF1B37C036C2170B6B7B6C272F1?art_id=229386&cat_id=200576).

6. *Цены на газ для украинской металлургии* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.metallbulletin.ru/analytics/ores/298/>.

7. *Реальный срок перевода основных доменных цехов на технологию вдувания пылеугольного топлива – не менее пяти лет* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bin.ua/news/economics/economic/133410-realnyj-srok-perevoda-osnovnyx-domennyx-cehov-na.html>.

8. *Реконструкция котельной с переводом котельного оборудования на сжигание угля и замещением природного газа* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.atit-group.ru/biblioteka/rekonstruktsiya-kotel-noj-s-perevodom-kotel-nogo-oborudovaniya-na-szhiganie-uglya-i-zameshheniem-prirodnogo-gaza/#page19>.

*Надійшла до редколегії 18.04.2014*

*Рецензент*

*Директор ІЗЕ НАН України,  
академік НАН України,*

*д-р техн. наук  
М.М. Кулик*