

УДК 620.9

**Олена Маляренко\***, канд. техн. наук, ст. наук. співр., <https://orcid.org/0000-0001-5882-916X>  
**Наталія Іваненко**, канд. техн. наук, ст. досл., <https://orcid.org/0000-0001-5438-1556>  
Інститут загальної енергетики НАН України, вул. Антоновича, 172, м. Київ, 03150,  
Україна  
\*Автор-кореспондент: [malyarenlena@gmail.com](mailto:malyarenlena@gmail.com)

## ВРАХУВАННЯ ОБМЕЖЕНЬ НА ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ СПОЖИВАННЯ ПАЛИВА НА РІВНІ КРАЇНИ

***Анотація.** Моделі прогнозування попиту на енергоресурси розроблялись в Інституті загальної енергетики НАН України протягом десятиліть. Відомими є удосконалений нормативний метод, який враховує технологічний і структурний потенціал енергозбереження; новий комплексний метод прогнозування попиту на енергоресурси, який розроблено акад. НАН України Куликом М.М. та розвинуто в частині врахування обсягів палива на перетворення; моделі життєвого циклу, які широко удосконалювались в Інституті для різних предметних галузей (атомної енергетики, вугільної промисловості, нафтогазової промисловості); балансовий метод, який набув розвитку для прогнозування попиту на вугілля. Ці моделі використовувались при розробленні Енергетичних стратегій України за участі Інституту загальної енергетики НАН України. Все більш актуальною стає задача врахування в цих моделях обмежень на викиди парникових газів, які взяла на себе Україна як підписант Паризької угоди. Оновлений національно визначений внесок України до Паризької угоди 2021 року (НВВ2), розроблений для реалізації взятих зобов'язань у цій царині, накладає обмеження на обсяг викидів парникових газів у 2030 р. до 35 % від обсягу викидів парникових газів у 1990 році. Прийнято припущення, що таке ж обмеження можна застосувати і для споживання палива. Метою статті є розвиток математичної моделі прогнозування попиту на паливо шляхом врахування показника граничних викидів парникових газів у 2030 р., який дозволяє обирати такі прогнозні сценарії попиту на паливо, які за сумарними прогнозними обсягами викидів парникових газів від його споживання відповідають прийнятим обмеженням. У статті розглянуто споживання вугілля і нафтопродуктів. Розраховано прогнозні обсяги споживання вугілля і нафтопродуктів при структурних та/або технологічних зрушеннях. Наведено оцінку технологічних заходів зі скорочення викидів парникових газів у різних галузях економіки України.*

**Ключові слова:** паливо, прогноз, ВВП, парникові гази, граничні викиди.

### 1. Вступ

Детальний літературний огляд математичних моделей, що враховують вплив екологічного фактора та розроблені в Інституті загальної енергетики НАН України (ІЗЕ), виконано у статті [1]. Зокрема, аналізуються публікації В.М. Макарова, М.І. Капліна, Т.Р. Білан, Т.П. Нечаєвої, І.Ч. Лещенко та ін. [2–17]. У приведених математичних моделях використано різні показники екологічної ефективності, зокрема, коефіцієнт екологічної прийнятності для доцільності будівництва шахт [2, 3, 5], податок на викиди в атмосферу від ТЕС [4, 6], плата за викиди [8], викиди парникових газів у нафтогазовій галузі [9–11].

У відомій в Україні математичній моделі TIMES-Україна як показники екологічної ефективності використовуються вуглецевоємність ВВП та питомі викиди парникових газів на одну особу [18–19].

У статті індійських вчених [20] запропоновано емпіричну залежність між інтенсивністю викидів вуглецю та низкою факторів: питомою енергоємністю ВВП на 1 особу, обсягом використаної енергії з

відновлюваних джерел, обсягом використаного викопного палива, економічним зростанням на прикладі Індії. Цей підхід можливо адаптувати для України з визначенням відповідних коефіцієнтів багатofакторної моделі.

Відомою є модель POLES, що дозволяє виконувати прогнози різних видів енергоресурсів, викидів парникових газів та забруднюючих речовин [21].

В роботі німецьких вчених [22] для балансової моделі електроенергії виконується оцінка викидів CO<sub>2</sub> за різними технологіями виробництва енергії та впливу змін в електроенергетичній системі на ці викиди, що досліджувалось протягом багатьох років [22–23]. У публікації [22] констатовано, що доцільно використовувати показник граничних викидів парникових газів при визначенні прогнозів енергоресурсів.

Метою роботи є розвиток математичної моделі прогнозування попиту на паливо шляхом врахування показника граничних викидів парникових газів у 2030 р., який дозволяє обирати такі прогнозні сценарії попиту на вугілля і нафтопродукти, які за сумарними прогнозними обсягами викидів парникових газів від його споживання відповідають прийнятним обмеженням на викиди парникових газів. Розглянуто сумарне споживання вугілля та нафтопродуктів, включаючи їх перероблення в інші види паливно-енергетичних ресурсів. Викиди від видобування, транспортування і зберігання різних видів палива не враховуються.

## 2. Методи та матеріали

При визначенні прогнозного попиту на паливо є два підходи: визначати попит на окремі види палива з подальшим їх підсумовуванням або визначати попит на паливо разом і структуру паливоспоживання, яка залежить для взаємозамінних видів від цінового фактора, можливого обсягу поставок та ін. На даному етапі використано перший підхід. У статті розглянуто такі види органічного палива, як вугілля і нафтопродукти.

На національному рівні (ТОР-рівні) сумарне споживання палива визначається за формулою [14, 15]:

$$E_{ij}^{TOP} = e_{\sigma_j}^{BBП} \cdot V_t^{BBП} \pm E_{ij}^{cmp\ i} - \sum_i E_{iji}^{mexh} \pm \sum_l A_{ijl}^{ek}, \quad (1)$$

де  $E_{ij}^{TOP}$  – прогноз споживання палива  $j$ -виду у  $t$  році на ТОР-рівні; де  $e_{\sigma_j}^{BBП}$  – енергоємність ВВП  $j$ -виду палива у базовому році на ТОР-рівні, кг у.п./грн, кг н.е./грн, МДж/грн;  $V_t^{BBП}$  – прогнозний обсяг ВВП економіки у  $t$  році на ТОР-рівні у постійних цінах (приведених до цін базового року) згідно з [24, 25], тис. грн;  $E_{ij}^{cmp\ i}$  – структурний потенціал енергозбереження: сумарне зниження або збільшення енергоспоживання  $j$ -виду палива у  $t$  році шляхом зміни структури економіки та/або структури її секторів [14, 26], кг у.п./грн, кг н.е./грн, МДж/грн;  $\sum_i E_{iji}^{mexh}$  – технологічний потенціал енергозбереження: зниження споживання  $j$ -виду палива у  $t$  році шляхом запровадження технологічних змін, кг у.п./грн, кг н.е./грн, МДж/грн [14];  $\sum_l A_{ijl}^{ek}$  – обсяги заміщення  $j$ -виду палива іншими видами, які містять менше вуглецю, чи біопаливом або впровадження  $l$  екологічних технологій, що не є енергоощадними у  $t$  році, тис. т у.п., тис. т н.е., ГДж [14, 27–32].

Результати розрахунків за рівнянням (1) перевіряються на виконання обмеження на обсяги прогнозних викидів парникових газів від споживання вугілля і нафтопродуктів (сумарно за видами) згідно з Оновленим національно визначеним внеском України до Паризької угоди 2021 року (НВВ2) [33], який надає обмеження на прогнозні обсяги викидів парникових газів у 2030 р. до 35 % від обсягу викидів парникових газів у 1990 році. Припустимо, що такі ж обмеження стосуються обсягу викидів

парникових газів від спалювання вугілля і нафтопродуктів. Враховано коефіцієнти глобального потепління (для метану – 27, для закису азоту – 273 [34]):

$$V_{2030}^{ПГ} = (V_{2030}^{CO_2} + 27V_{2030}^{CH_4} + 27V_{2030}^{N_2O}) \leq 0,35V_{1990}^{ПГ}, \quad (2)$$

де  $V_{2030}^{ПГ}$  – обсяг викидів парникових газів у 2030 році, кт  $CO_{2-екв.}$ ;  $V_{2030}^{CO_2}$  – обсяг викидів діоксиду вуглецю у 2030 році, кт  $CO_{2-екв.}$ ;  $V_{2030}^{CH_4}$  – обсяг викидів метану у 2030 році, кт  $CH_4$ ;  $V_{2030}^{N_2O}$  – обсяг викидів закису азоту у 2030 році, кт  $N_2O$ ;  $V_{1990}^{ПГ}$  – обсяг викидів парникових газів у 2030 році, кт  $CO_{2-екв.}$

Якщо умова (2) не виконується, то робиться висновок, що зниження викидів парникових газів за рахунок заданого обсягу структурних і технологічних зрушень не є достатнім. У такому випадку необхідно розширювати цей обсяг.

Визначена у (2) величина граничних викидів парникових газів на 2030 рік дозволяє визначити ті прогнози сценарії попиту на вугілля (за сценарними прогнозами), які за сумарними прогнозними обсягами викидів парникових газів від споживання вугілля та нафтопродуктів (за сценарними прогнозами) відповідають обмеженням на викиди парникових газів.

### 3. Результати та обговорення

Був розглянутий сценарій прогнозування споживання вугілля, що розроблений за участю автора (сценарій 1), та розроблений новий сценарій 2, що враховує реалії воєнного часу. Очевидно, що сценарій 1 наразі не є реалістичним, але він використовується для порівняльного аналізу.

Питомі викиди  $CO_2$  для різних видів палива визначаються за таблицею, розміщеною на веб-сайті Міндовкілля [40]. Ця таблиця містить середньозважені коефіцієнти викидів парникових газів та значення нижчих теплотворних здатностей (НТЗ) палив на одиницю маси, що використовуються в «Національному кадастрі антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990–2021 рр.».

Сценарій 1 розглядається на даний час як помірний [35], що враховував помірне зростання економіки та зберігав тенденції її розвитку за 2019–2021 рр. Вугілля за сценарієм 1 споживається в енергетичному секторі за прогнозною структурою виробництва електроенергії до 2030 р., що наведена у [36]. Підприємства чорної металургії мали залишатися лідерами у споживанні вугілля промисловістю, зокрема у виробництві коксу. Значну частку споживання вугілля відводилось підприємствам цементної промисловості [37]. Технологічний потенціал енергозбереження, що врахований у прогнозі, включає заходи та технології з підвищення ефективності використання вугілля [35], зокрема зниження питомих витрат палива на виробництво електричної енергії на ТЕС і ТЕЦ загального користування та промислових електростанцій з 0,4011 кг у.п./кВт·год (2017 р.) до 0,3363 кг у.п./кВт·год (2040 р.) з урахуванням зниження частки вугільної електрогенерації згідно з [36]; зниження питомих витрат палива на відпуск теплової енергії у промислових котельнях з 0,1633 кг у.п./Гкал (2017 р.) до 0,148 кг у.п./Гкал (2040 р.) з урахуванням зниження частки вугільної теплогенерації; заміщення вугілля, що спалюють у котельнях секції «Сільське господарство та ін.», на інші види палива: біогаз, відходи біомаси, торф, впровадження теплонасосних установок на підземних водах, ін. Це дозволить скоротити обсяги споживання вугілля на перетворення у котельнях сільськогосподарських підприємств на 40 % відносно 2020 р. Економію вугілля в обсязі 282,7 тис. т можливо досягти у виробництві коксу при впровадженні низки енергоефективних заходів [38, 39]. У табл. 1 наведено прогнози рівні споживання вугілля з урахуванням структурних і технологічних змін [35] та обчислені прогнози обсяги викидів парникових газів (ПГ) за цим сценарієм прогнозного споживання.

**Таблиця 1.** Прогнозні рівні споживання вугілля по країні з населенням та прогнозні викиди ПГ від спалювання вугілля до 2040 р. за сценарієм 1

Показники	2017 факт	2021 очік.	2025	2030	2035	2040
Споживання вугілля по країні при структурних і технологічних змінах зі споживання населенням, тис. т вугілля, тис. т. у т.ч.	42664,6	38947	36583	37704,4	37741,2	36348,1
Разом за ВЕД, тис. т вугілля у т.ч. за секціями, тис. т	42355,8	38261,8	35990,3	37196,3	37299,6	36220,7
А Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство (з обсягами на перетворення в енергетичних установках), у т.ч.	115,3	92,8	85,5	81,0	77,5	70,9
В Добувна промисловість та розроблення кар'єрів (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	210,3	243,9	252,3	254,4	254,7	220,8
С Переробна промисловість кар'єрів (з обсягами на перетворення в промислових та енергетичних установках)	16964,9	14972,7	15467,3	17345,7	18700,6	20230,2
Д, Е Постачання електроенергії, газу, ін.; водопостачання; каналізація, ін. (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)*	24654,9	22506,1	19660,2	18852,1	17492,4	14844,3
Н Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	31,2	31,6	34,7	44,6	52,3	52,3
F, G, I-U Інші ВЕД (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	379,3	414,7	490,3	618,5	722,0	802,2
Прогнозні викиди ПГ від спалювання вугілля, тис. т CO <sub>2</sub>						
Разом по країні при структурному і технологічному ПЕЗ з населенням	85079,9	77643,6	72930,8	75166,4	75239,8	72462,6
Сільське господарство	25,9	33,1	41,5	52,1	63,8	72,0
Добувна і переробна промисловість разом (без обсягів перетворення в енергетичних установках)	33516,1	30335,4	31338,2	35087,1	37788,8	40770,5
Сектор енергетики, включно з обсягами споживання вугілля на перетворення в електричну і теплову енергію за всіма ВЕД	49151,3	44867,5	39194,0	37583,0	34872,4	29593,2
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	62,2	63,0	69,2	88,9	104,3	104,3
Інші ВЕД	756,2	826,7	977,4	1233,0	1439,4	1599,2

Прогнозні обсяги викидів парникових газів обчислено за питомими викидами CO<sub>2</sub> (94,5 т CO<sub>2</sub>/ТДж) [40]. Розрахунок прогнозних викидів ПГ виконано за методичним підходом, описаним у публікації [41].

Сценарій 2 – консервативний низьковуглецевий – обчислено за новим прогнозом ВВП, розробленим Майстренко Н.Ю. [25] на 2025–2030 рр. з урахуванням військового стану в Україні внаслідок повномасштабної агресії росії. Прогноз враховує зниження споживання вугілля в металургійному комплексі (на 45 %), масштабне переведення котельних, що працюють у сільському господарстві та в секціях групи «Інші ВЕД», на відновлювані джерела енергії (біогазові, біопаливні котли, сонячні установки на гаряче водопостачання, теплонасосні установки на стічних каналізаційних

водах), що сумарно дозволить скоротити використання вугілля на виробництво теплової енергії у зазначених секціях до 60 % від споживання у базовому році; невідновлення пошкоджених теплових електростанцій та теплоелектроцентралей, які працюють на вугіллі.

Прогнозна оцінка потреби у вугіллі з урахуванням невідновлюваних руйнувань надана у табл. 2. Розрахунок викидів ПГ виконано згідно з методичним підходом, описаним у публікації [41].

**Таблиця 2.** Прогнозні рівні споживання вугілля по країні з населенням та прогнозні викиди ПГ від спалювання вугілля до 2040 р. за сценарієм 2

Показники	2017 факт	2021 очік	2025	2030	2035	2040
Споживання вугілля по країні при структурних і технологічних змінах зі споживання населенням, тис. т вугілля у т.ч.	42664,6	40107,5	24029,9	23978,3	22584,9	21106,45
Разом за ВЕД, тис. т вугілля у т.ч. за секціями	42355,8	38149,1	23816,4	23798,2	22422,5	20963,7
А Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	115,3	92,8	85,5	81,0	77,5	70,9
В Добувна промисловість та розроблення кар'єрів (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	210,3	243,9	252,3	254,4	254,7	220,8
С Переробна промисловість кар'єрів (з обсягами на перетворення в промислових та енергетичних установках)	16964,9	14860,0	9217,1	9698,8	11001,5	12004,5
Д, Е Постачання електроенергії, газу, ін.; водопостачання; каналізація, ін. (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)*	24654,9	22506,1	13762,2	13196,5	10495,4	8164,4
Н Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	31,2	31,6	34,7	31,2	31,3	28,8
Г, І, ІІ Інші ВЕД (з обсягами на перетворення в енергетичних установках)	379,3	414,7	490,3	556,6	577,6	481,3
Прогнозні викиди ПГ від спалювання вугілля, тис. т CO <sub>2</sub> -екв.						
Разом по країні при структурному і технологічному ПЕЗ з населенням	85079,9	77643,6	49958,2	49850,9	46954,0	43880,2
Сільське господарство	25,9	33,1	41,5	52,1	63,8	72,0
Добувна і переробна промисловість разом (без обсягів перетворення в енергетичних установках)	33516,1	30335,4	19665,1	20671,4	23378,8	25396,5
Сектор енергетики, включно з обсягами споживання вугілля на перетворення в електричну і теплову енергію за ВЕД	49151,3	44867,5	28611,6	27435,5	21819,9	16973,8
Транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність	62,2	63,0	69,2	88,9	104,3	104,3
Інші ВЕД	756,2	826,7	977,4	1157,2	1200,8	1000,6

Прогноз споживання нафтопродуктів-разом виконано у 2023 р. та наведено у публікації [42] (табл. 3). Прогноз споживання по окремих видах нафтопродуктів та викидів від їх використання також виконано у 2023 р. і представлено у публікації [43].

**Таблиця 3.** Прогноз споживання нафтопродуктів в Україні за базовою та прогнозною структурами ВВП до 2040 року з урахуванням потенціалів енергозбереження, тис. т

Показники	2015*	2020	2025	2030	2035	2040
Прогноз ВВП у цінах 2016 р., млрд грн	1681,50	2509,80	3077,60	3894,10	4669,80	5283,50
Прогноз ВДВ за структурою економіки 2020 р. у цінах 2016 р., млрд грн	1681,50	2136,16	2615,60	3309,50	3968,70	4490,20
Прогноз ВДВ при структурних змінах у цінах 2016 р., млрд грн	1681,50	2136,16	2656,00	3422,90	4146,70	4697,00
Економія / Перевитрати нафтопродуктів при структурних змінах в економіці, тис. т	0,0	0,0	126,68	-1536,20	-2749,60	-2546,24
Технологічний потенціал енергозбереження в економіці, тис. т	0,0	0,0	332,62	648,10	949,47	1368,15
Споживання нафтопродуктів по країні з урахуванням структурного і технологічного енергозбереження, тис. т - верхній рівень - $E_{TS}^t$ , у т.ч.	10062,00	10019,00	13504,33	18441,74	22704,70	24777,00
Бензин, тис. т	2360,8	1767,7	-	3268,1	4658,8	5777,3
Дизельне паливо, тис. т	4770,9	5173,9	-	9470,3	10579,9	10367,5
Мазут, тис. т	367,3	98,2	-	175,4	215,9	235,6
Зріджений пропан та бутан, тис. т	675,8	1384,1	-	2602,0	3603,8	4369,7
Прогнозні викиди ПГ від спалювання нафтопродуктів-разом, тис. т CO <sub>2</sub> -екв.						
Разом по країні при структурному і технологічному ПЕЗ з населенням	30609	30478	41080	56100	69068	75372

#### 4. Висновки

Проведено аналітичний огляд існуючих математичних моделей, в яких запропоновано різні екологічні показники: коефіцієнт екологічної прийнятності, інтенсивність викидів, загальний обсяг викидів, граничний обсяг викидів, питомі викиди, податок на викиди, плата за викиди. Для доповнення існуючої моделі прогнозування попиту на паливо нормативним методом обрано показник граничного обсягу викидів парникових газів. Оцінено вплив структурних змін в економіці, які забезпечили зниження викидів парникових газів для країни в цілому за двома сценаріями прогнозу вугілля з оцінкою зниження викидів парникових газів по країні та енергоємних секціях економіки, зокрема скорочення споживання вугілля шляхом невідновлення пошкоджених коксохімічних та металургійних заводів і вугільних електростанцій. Враховано технологічні зміни, які включають заміщення вугілля в системах теплозабезпечення відновлюваними джерелами енергії та альтернативними паливами. Можливе зниження споживання вугілля внаслідок структурних змін та руйнування енергетичних та промислових об'єктів під час війни складає 21 млн т вугілля (2-й сценарій) проти 36 млн т (1-й сценарій – для порівняння). Відповідне зниження ПГ можливе до 44 млн т CO<sub>2екв</sub> з 72 млн т CO<sub>2екв</sub> у 2040 році. Прогноз споживання нафтопродуктів з обчисленням прогнозних викидів парникових газів виконано для нафтопродуктів разом та для їх основних видів. З урахуванням заданого обсягу впровадження структурних і технологічних зрушень обсяг граничних викидів парникових газів для прогнозних сценаріїв попиту на вугілля та нафтопродукти відповідає прийнятним обмеженням на викиди парникових газів.

#### Фінансування роботи

Дана робота виконана в рамках виконання фундаментальної бюджетної наукової роботи «Розвиток системи математичних моделей довгострокового прогнозування споживання основних видів паливно-енергетичних ресурсів в економіці країни з урахуванням діючих екологічних обмежень», №ДР РК0122U000178.

## Посилання

1. Maistrenko N. Taking into account environmental constraints on emissions in economic models long-term forecasting of energy consumption (review of publications). *System Research in Energy*. 2023. No 3(74). P. 85—94. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.085>
2. Макаров В., Перов М. Оцінка перспективності діючих вуглевидобувних підприємств. *Системні дослідження в енергетиці*. 2023. № 2(73). С. 18—29. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.02.018>
3. Макортецький М.М., Перов М.О., Новицький І.Ю. Математична модель оптимальної структури вугільної продукції для ТЕС України із врахуванням екологічних обмежень. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 2(49). С. 40—48. <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.040>
4. Каплін М.І., Макаров В.М., Білан Т.Р. Балансово-оптимізаційна модель взаємодії енергетики з паливними галузями ПЕК України з урахуванням європейських екологічних норм. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. Вип. 1(52). С. 5—11. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.005>
5. Макаров В.М., Каплін М.І., Перов М.О. Врахування екологічних обмежень при моделюванні розвитку вугільної промисловості. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 4(59). С. 36—44. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.036>
6. Каплін М.І., Білан Т.Р., Новицький І.Ю. Моделювання енергозабезпечення країни за структурою даних продуктового енергетичного балансу в форматі міжнародної енергетичної агенції. *Проблеми загальної енергетики*. 2022. Вип. 1-2(68-69). С. 58—69. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.058>
7. Кулик М.М., Малярєнко О.Є., Майстрєнко Н.Ю., Станиціна В.В., Спітківський А.І. Застосування методу комплексного прогнозування для визначення перспективного попиту на енергетичні ресурси. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 1(48), С. 5—15. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>
8. Нечаєва Т.П. Оцінка доцільності впровадження перспективних ядерних реакторів з урахуванням вимог до надійності та екологічності функціонування ОЕС України. *Проблеми загальної енергетики*. 2018. Вип. 1(52). С. 41—50. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.041>
9. Лещенко І.Ч. Система математичних моделей дослідження перспектив функціонування і розвитку газової галузі в сучасних умовах. *Проблеми загальної енергетики*. 2017. Вип. 3(50). С. 5—14. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.005>
10. Лещенко І.Ч., Єгер Д.О. Загальна оцінка потенціалу скорочення викидів парникових газів у нафтогазовій галузі України на період до 2040 року. *Проблеми загальної енергетики*. 2020. Вип. 1(60). С. 55—65. <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.055>
11. Лещенко І.Ч. Оцінка зниження викидів парникових газів вугільним сектором України для виконання міжнародних кліматичних угод. *Проблеми загальної енергетики*. 2022. Вип. 1-2(68-69). С. 139—149. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.139>
12. Leshchenko I., Shulzhenko S., Kaplin M., Maistrenko N., Shcherbyna Ye. Assessment of the greenhouse gases reduction by the oil and gas sector of Ukraine to meet international climate agreements. *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.). Springer, Cham., 2023. Vol. 456. P. 199—212. Scopus (ISSN 2198-4182). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22500-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22500-0_13)
13. Kulyk M., Nechaieva T., Zgurovets O., Shulzhenko S., Maistrenko N. Comparative Analysis of Energy-Economic Indicators of Renewable Technologies in Market Conditions and Fixed Pricing on the Example of the Power System of Ukraine. *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.). Springer, Cham., 2023. Vol. 454. P. 433—449. Scopus (ISSN 2198-4182). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5_26)
14. Кулик М.М., Малярєнко О.Є., Майстрєнко Н.Ю., Станиціна В.В., Куц Г.О. Енергоефективність та прогнозування енергоспоживання на різних ієрархічних рівнях економіки: методологія, прогнозні оцінки до 2040 року. Київ: НВП «Видавництво «Наукова думка» НАН України», 2021. 234 с. ISBN 978-966-00-1739-9.
15. Майстрєнко Н.Ю. Методика прогнозування рівнів енергоспоживання з урахуванням екологічних, технологічних та структурних факторів в економіці на ієрархічних рівнях. Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій. 2022: колективна монографія. Полтава – Львів: НУПП імені Юрія Кондратюка, НУ «Львівська політехніка». Дніпро: Середняк Т.К., 2022. С. 623—635. ISBN 978-617-8111-24-3 book. <https://doi.org/10.23939/monograph2022>
16. Костюковський Б.А. Моделювання розвитку електроенергетичної системи України для обґрунтування Другого національно визначеного внеску щодо обмеження викидів парникових газів. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 2(65). С. 28—35. <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.028>
17. Костюковський Б.А., Рубан-Максимець О.О. Удосконалення методів формування прогнозного балансу палива для ТЕС генеруючих компаній при формуванні прогнозного балансу електроенергії ОЕС України. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 3(66). С. 23—27. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.023>
18. Довгострокове енергетичне моделювання та прогнозування в Україні: сценарії для плану дій реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2035 року. Українсько-Данський Енергетичний центр. Двостороння співпраця урядів із стратегічного енергетичного планування. Київ-Копенгаген, 2019. 57 с. URL: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/long-term\\_energy\\_modelling\\_and\\_forecasting\\_in\\_ukraine\\_ukrainian.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/long-term_energy_modelling_and_forecasting_in_ukraine_ukrainian.pdf) (дата звернення: 28.04.2023).

19. Дячук О.А., Подолець Р.З., Серебренніков Б.С., Зеленюк Т.А. Ефективність і екологічність використання енергетичних ресурсів у світі та Україні. Економічний аналіз: зб. наук. праць. Тернопільський національний економічний університет. Редкол.: В.А. Дерій (голов. ред.) та ін. Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2014. Том 15. № 1. С. 59—75.
20. Oktay Ö., Obekpa H.O., Alola A.A. Examining the nexus of energy intensity, renewables, natural resources, and carbon intensity in India. *Energy & Environment*. 2023. <https://doi.org/10.1177/0958305X231169706>
21. Després J., Keramidas K., Schmitz A., Kitous A., Schade B. POLES-JRC model documentation. 2018 update, EUR 29454 EN, *Publications Office of the European Union*. Luxembourg, 2018. ISBN 978-92-79-97300-0. JRC113757. <https://doi.org/10.2760/814959>
22. Ripp C., Steinke F. Modeling Time-dependent CO<sub>2</sub> Intensities in Multi-modal Energy Systems with Storage. 2019. URL: <https://arxiv.org/pdf/1806.04003.pdf> (дата звернення: 01.02.2024).
23. Hawkes A. Long-run marginal CO<sub>2</sub> emissions factors in national electricity systems. *Applied Energy*. 2014. Vol. 125. P. 197—205. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.060>
24. Maliarenko O., Maistrenko N., Horskyi V., Leshchenko I., Ivanenko N. Mathematical Simulation of Projecting Energy Demand for Ukraine's Budget Institutional Buildings. In A. Zaporozhets (Eds.), *Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham., 2023. Vol. 481. P. 57—70. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_4)
25. Майстренко Н.Ю. Структура економіки України та споживання електроенергії в основних секціях економіки у воєнний та повоєнний період. *Збірка наукових праць: XIX Міжнародна науково-практична конференція «Теплова енергетика: шляхи реновації та розвитку»*. Київ: ТОВ «Гнозіс», 2023. С. 205—207. ISBN 978-617-7852-39-0. <https://doi.org/10.48126/conf2023>
26. Майстренко Н.Ю., Богославська О.Ю. Особливості прогнозування рівнів енергоспоживання України при застосуванні різних прогнозних структур економіки. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 2(57), С. 21—26. <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.021>
27. Костюковський Б.А. Моделювання розвитку електроенергетичної системи України для обґрунтування Другого національно визначеного внеску щодо обмеження викидів парникових газів. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 2(65). С. 28—35. <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.028>
28. Сміхула А.В., Сігал І.Я., Бондаренко Б.І., Семенюк Н.І. Технології зниження шкідливих викидів до атмосфери тепловими електростанціями та котельними великої і середньої потужності України. Київ: ФОП Маслаков, 2019. 107 с.
29. Національний план скорочення викидів від великих спалювальних установок. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FN053698> (дата звернення: 01.02.2024).
30. Басок Б.І., Дубовський С.В., Пастушенко Е.П., Нікітін Є.Є. Теплові насоси як тренд низьковуглецевого розвитку енергетики. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. № 75(2). С. 23—34. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.02>
31. Тесленко О.І. Сценарії розвитку джерел централізованого тепlopостачання України, включених до Національного плану скорочення викидів. *Проблеми загальної енергетики*. 2019. Вип. 4(59). С. 54—62. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.054>
32. Дубовской С.В., Бабин М.Е., Коберник В.С., Каденский Н.Я. Оптимальные параметры отбора теплоты уходящих газов котельных установок для ее использования тепловым насосом. *Проблеми загальної енергетики*. 2013. Вип. 2(33). С. 32—38.
33. Про схвалення Оновленого національно визначеного внеску України до Паризької угоди: розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 липня 2021 р. № 868-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 01.02.2024).
34. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> (дата звернення: 01.02.2024).
35. Маляренко О.Є., Майстренко Н.Ю., Горський В.В. Прогноз споживання палива та вугілля в Україні до 2040 р. за комплексним методом прогнозування енергоспоживання. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. Вип. 3(66). С. 28—35. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.028>
36. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей для покриття прогнозного попиту на електричну енергію та забезпечення необхідного резерву у 2020 році. *Сайт НЕК «Укренерго»*. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2021/06/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchyhpotuzhnostej-dlya-pokryttya-prognozovanogo-popytu-na-elektrychnu-energiyu-ta-zabezpechennya-neobhidnogo-rezervu-u-2020.pdf>
37. Антидемпінг в дії: В Україні прогнозують ріст виробництва цементу. *Бізнес*. 30.05.2019. URL: <https://www.business.ua/uk/v-ukrajini-prognozuuyut-rist-virobnitstva-tsementu> (дата звернення: 21.01.2021).
38. Шабалина Л.В., Земелько Ю.С. Повышение конкурентоспособности металлургической отрасли Украины на внешних рынках. URL: <http://89.185.3.253/bitstream/123456789/18334/1/%D0%A8%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%B8>



- D0%BD%D0%B0\_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F.pdf (дата звернення: 15.02.2021).
39. Федіна І.В. Енергозбереження при виробництві чорних та кольорових металів. *Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві*. 2014. Вип. 4(9). С. 152—159. URL: <http://dspace.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/2944/1/18.pdf> (дата звернення: 15.02.2021).
  40. Коефіцієнти викидів парникових газів та значення нижчих теплотворних здатностей (НТЗ) палив на одиницю маси. *Сайт Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України*. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/monitoring-zvitnist-ta-veryfikatsiya-vykydiv-parnykovykh-gaziv-mzv/koefitsiyenty-vykydiv-parnykovykh-gaziv-ta-znachennya-nyzhchyyh-teplotvornyyh-zdatnostej-ntz-palyv-na-odnyutsyu-masy/> (дата звернення: 01.02.2024).
  41. Маляренко О.С., Майстренко Н.Ю., Панченко Г.Г. Прогнозна оцінка зменшення викидів парникових газів від використання вугілля в економіці України. *Проблеми загальної енергетики*. 2021. №1(64). С. 60—67. <https://doi.org/10.15407/pge2021.01.060>
  42. Маляренко О.С., Майстренко Н.Ю. Методичний підхід до прогнозування споживання нафтопродуктів за їх основними видами. *Енерготехнології та ресурсозбереження*. 2023. Вип. 74(1). С. 14—24 <https://doi.org/10.33070/etars.1.2023.02>
  43. Maliarenko O., Ivanenko N., Maistrenko N., Teslenko O., Zaporozhets A. Forecasted Petroleum Products Consumption in Ukraine and Estimated Greenhouse Gas Emissions from Their Use. 978-3-031-44350-3, 610457\_1\_En. Chapter 6. *Studies in Systems, Decision and Control. Modern Technologies in Energy and Transport*. In S. Boichenko et al. (Eds.). 2023. Vol. 510. P. 113—135. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44351-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44351-0_6)

## References

1. Maistrenko, N. (2023). Taking into account environmental constraints on emissions in economic models long-term forecasting of energy consumption (review of publications). *System Research in Energy*, 3(74), 85–94. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.03.085>
2. Makarov, V., & Perov, M. (2023). Assessment of the prospectiveness of operating coal mining enterprises. *System Research in Energy*, 2(73), 18–29 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/srenergy2023.02.018>
3. Makortetskiy, M.M., Perov, M.O., & Novytskyi, I.Yu. (2017). Mathematical model of the optimal structure of coal production for thermal power plants of Ukraine with taking into account environmental constraints. *The Problems of General Energy*, 2(49), 40–48 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.02.040>
4. Kaplin, M.I., Makarov, V.M., & Bilan, T.R. (2018). The balance-optimization model of the Ukrainian power sector and fuel industries mutually coordinated operation in the view of European environmental legislation. *The Problems of General Energy*, 1(52), 5–11 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.005>
5. Makarov, V.M., Kaplin, M.I., & Perov, M.O. (2019). Consideration of environmental constraints in modeling the development of coal industry. *The Problems of General Energy*, 4(59), 36–44 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.036>
6. Kaplin, M.I., Bilan, T.R., & Novytskyi, I.Yu. (2022). Modeling of country energy supply by structure of product energy balance data in the format of the international energy agency. *The Problems of General Energy*, 1-2(68-69), 58–69 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.058>
7. Kulyk, M.M., Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V., & Spitkovskiy, A.I. (2017). Application of the method of complex forecasting for the determination of long-term demand for energy resources. *The Problems of General Energy*, 1(48), 5–15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.01.005>
8. Nechaieva, T.P. (2018). Assessment of the expediency of introducing advanced nuclear reactors with regard for requirements to the reliability and ecological compatibility of the operation of Ukrainian UPS. *The Problems of General Energy*, 1(52), 41–50 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2018.01.041>
9. Leshchenko, I.Ch. (2017). A system of mathematical models for studying the prospects of functioning and development of gas industry under current conditions. *The Problems of General Energy*, 3(50), 5–14 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2017.03.005>
10. Leshchenko, I.Ch., & Yeager, D.O. (2020). Overall estimation of the potential of ghg reduction in Ukraine's oil and gas industry by 2040. *The Problems of General Energy*, 1(60), 55–65 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2020.01.055>
11. Leshchenko, I.Ch. (2022). Assessment of the greenhouse gases emissions reduction by the coal sector of Ukraine to meet international climate agreements. *The Problems of General Energy*, 1-2(68-69), 139–149 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2022.01-02.139>
12. Leshchenko, I., Shulzhenko, S., Kaplin, M., Maistrenko, N., & Shcherbyna, Ye. (2023). Assessment of the greenhouse gases reduction by the oil and gas sector of Ukraine to meet international climate agreements. *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.). Springer, Cham., 456, 199–212. Scopus (ISSN 2198-4182). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22500-0\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22500-0_13)

13. Kulyk, M., Nechaieva, T., Zgurovets, O., Shulzhenko, S., & Maistrenko, N. (2023). Comparative Analysis of Energy-Economic Indicators of Renewable Technologies in Market Conditions and Fixed Pricing on the Example of the Power System of Ukraine. *Studies in Systems, Decision and Control. Systems, Decision and Control in Energy IV*. In A. Zaporozhets & V. Artemchuk (Eds.). Springer, Cham., 454, 433–449. Scopus (ISSN 2198-4182). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5\\_26](https://doi.org/10.1007/978-3-031-22464-5_26)
14. Kulyk, M.M., Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., Stanytsina, V.V., & Kuts, H.O. (2021). Enerhoefektyvnist ta prohnozuvannya enerhospozhyvannya na riznykh iierarkhichnykh rivniakh ekonomiky: metodolohiia, prohnozni otsinky do 2040 roku. Kyiv: NVP "Vydavnytstvo "Naukova dumka" NAN Ukrainy", 234 p. ISBN 978-966-00-1739-9 [in Ukrainian].
15. Maistrenko, N.Yu. (2022). Metodyka prohnozuvannya rivniv enerhospozhyvannya z urakhuvanniam ekolohichnykh, tekhnolohichnykh ta strukturnykh faktoriv v ekonomitsi na iierarkhichnykh rivniakh. Podolannya ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii: kolektyvna monohrafiia Poltava – Lviv: NUPP imeni Yuriia Kondratiuka, NU "Lvivska politehnika". Dnipro: Seredniak T.K., 623–635. ISBN 978-617-8111-24-3 book [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.23939/monograph2022>
16. Kostyukovskyi, B.A. (2021). The Modelling of Power System of Ukraine Development for Assessment of Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement. *The Problems of General Energy*, 2(65), 28–35 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.028>
17. Kostyukovskyi, B.A., & Ruban-Maksimets, O.O. (2021). Improvement of methods for formation of prognostic balance of fuel for TPP of generating companies for formation of prognostic balance of electricity of the UES of Ukraine. *The Problems of General Energy*, 3(66), 23–27 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.023>
18. Dovhostrokovye enerhetychne modeliuвання ta prohnozuvannya v Ukraini: stsensarii dlia planu dii realizatsii Enerhetychnoi stratehii Ukrainy na period do 2035 roku. (2019). Ukrainsko-Danskyi Enerhetychnyi tsentr. Dvostoronnia spivpratsia uradiiv iz stratehichnoho enerhetychnoho planuvannya. Kyiv-Kopenhahen, 57 p. URL: [https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/long-term\\_energy\\_modelling\\_and\\_forecasting\\_in\\_ukraine\\_ukrainian.pdf](https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Globalcooperation/long-term_energy_modelling_and_forecasting_in_ukraine_ukrainian.pdf) (Last accessed: 28.04.2023) [in Ukrainian].
19. Diachuk, O.A., Podolets, R.Z., Serebrennikov, B.S., & Zeleniuk, T.A. (2014). Efektyvnist i ekolohichnist vyklrystannia enerhetychnykh resursiv u sviti ta Ukraini. Ekonomichniy analiz: zb. nauk. prats. Ternopilskyi natsionalnyi ekonomichniy universytet. Redkol.: V.A. Derii (holov. red.) ta in. Ternopil: Vydavnycho-polihrafichnyi tsentr Ternopilskoho natsionalnoho ekonomichnoho universytetu "Ekonomichna dumka", 15(1), 59–75 [in Ukrainian].
20. Oktay, Ö., Obekpa, H.O., & Alola, A.A. (2023). Examining the nexus of energy intensity, renewables, natural resources, and carbon intensity in India. *Energy & Environment*. <https://doi.org/10.1177/0958305X231169706>
21. Després, J., Keramidias, K., Schmitz, A., Kitous, A., & Schade, B. (2018). POLES-JRC model documentation. 2018 update, EUR 29454 EN. *Publications Office of the European Union*, Luxembourg. ISBN 978-92-79-97300-0. JRC113757. <https://doi.org/10.2760/814959>
22. Ripp, C., & Steinke, F. (2019). Modeling Time-dependent CO<sub>2</sub> Intensities in Multi-modal Energy Systems with Storage. URL: <https://arxiv.org/pdf/1806.04003.pdf> (Last accessed: 01.02.2024).
23. Hawkes, A. (2014). Long-run marginal CO<sub>2</sub> emissions factors in national electricity systems. *Applied Energy*, 125, 197–205. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.03.060>
24. Maliarenko, O., Maistrenko, N., Horskyi, V., Leshchenko, I., & Ivanenko, N. (2023). Mathematical Simulation of Projecting Energy Demand for Ukraine's Budget Institutional Buildings. In A. Zaporozhets (Eds.). *Systems, Decision and Control in Energy V. Studies in Systems, Decision and Control*. Springer, Cham., 481, 57–70. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35088-7_4)
25. Maistrenko, N.Yu. (2023). Struktura ekonomiky Ukrainy ta spozhyvannya elektroenerhii v osnovnykh sektsiakh ekonomiky u voiennyi ta povoiennyi period. *Zbirka naukovykh prats: XIX Mizhnarodna nauково-praktychna konferentsiia "Teplova enerhetyka: shliakhy renovatsii ta rozvytku"*. Kyiv: TOV "Hnozis", 205–207. ISBN 978-617-7852-39-0 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.48126/conf2023>
26. Maistrenko, N.Yu., & Bogoslavskaya, O.Yu. (2019). Specific features of forecasting the levels of energy consumption in Ukraine at the application of different predicted structures of economy. *The Problems of General Energy*, 2(57), 21–26 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.02.021>
27. Kostyukovskyi, B.A. (2021). The Modelling of Power System of Ukraine Development for Assessment of Nationally Determined Contribution of Ukraine to the Paris Agreement. *The Problems of General Energy*, 2(65), 28–35 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.02.028>
28. Smikhula, A.V., Sihal, I.Ya., Bondarenko, B.I., & Semeniuk, N.I. (2019). Tekhnolohii znyzhennia shkidlyvykh vykydiv do atmosfery teplovymy elektrostantsiiamy ta kotelnymy velykoi i serednoi potuzhnosti Ukrainy. Kyiv: FOP Maslakov, 107 p. [in Ukrainian].
29. Natsionalnyi plan skorochennia vykydiv vid velykykh spaliuvalnykh ustanovok. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/FN053698> (Last accessed: 01.02.2024) [in Ukrainian].
30. Basok, B., Dubovskyi, S., Pastushenko, E., Nikitin, Y., & Bazeev, Y. (2023). Heat pumps as a trend of low-carbon energy development. *Energy Technologies & Resource Saving*, 75(2), 23–44 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.02>

31. Teslenko, O.I. (2019). Scenarios of the Development of district heating systems in of Ukraine, included to the National Plan for the reduction of emissions. *The Problems of General Energy*, 4(59), 54–62 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2019.04.054>
32. Dubovskoy, S.V., Babin, M.Ye., Kobernik, V.S., & Kadenskiy, N.Y. (2013). Optimal parameters for extracting exhaust gas heat from boilers to be used by heat pump. *The Problems of General Energy*, 2, 32–38 [in Russian].
33. Pro skhvalennia Onovlenoho natsionalno vyznachenoho vnesku Ukrainy do Paryzkoï uhody: rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30 lypnia 2021 r. № 868-r. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/868-2021-%D1%80#Text> (Last accessed: 01.02.2024) [in Ukrainian].
34. U.S. Environmental Protection Agency. URL: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials> (Last accessed: 01.02.2024).
35. Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Horskyi, V.V. (2021). Forecast of fuel and coal consumption in Ukraine until 2040 by a complex method of forecasting energy consumption. *The Problems of General Energy*, 3(66), 28–35 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.03.028>
36. Zvit z otsinky vidpovidnosti (dostatnosti) heneruiuchykh potuzhnosti dlia pokryttia prohnnoznoho popytu na elektrychnu enerhiu ta zabezpechennia neobkhidnoho rezervu u 2020 rotsi. *Sait NEK "Ukrenerho"*. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2021/06/Zvit-z-otsinky-vidpovidnosti-dostatnosti-generuyuchykh-potuzhnostej-dlya-pokryttia-prognozovanogo-popytu-na-elektrychnu-energiyu-ta-zabezpechennya-neobkhidnogo-rezervu-u-2020.pdf>. [in Ukrainian].
37. Antydempinh v dii: V Ukraini prohnzuiu rist vyrobnytstva tsementu. (2019, May 30). *Biznes*. URL: <https://www.business.ua/uk/v-ukrajini-prognozuyut-rist-virobnitstva-tsementu> (Last accessed: 21.01.2021) [in Ukrainian].
38. Shabalyna, L.V., & Zemelko, Yu.S. Povyshenye konkurentosposobnosti metallurhicheskoi otrasly Ukrayny na vneshnykh rynkakh. URL: [http://89.185.3.253/bitstream/123456789/18334/1/%D0%A8%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0\\_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F.pdf](http://89.185.3.253/bitstream/123456789/18334/1/%D0%A8%D0%B0%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%BD%D0%B0_%D0%97%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BA%D0%BE%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F.pdf) (Last accessed: 15.02.2021) [in Russian].
39. Fedina, I.V. (2014). Surfaces chromium plating processing difficulties and methods to solve them. *Information technologies in education, science and production*, 4(9), 152–159. URL: <http://space.opu.ua/jspui/bitstream/123456789/2944/1/18.pdf> (Last accessed: 15.02.2021) [in Ukrainian].
40. Koefitsiienty vykydiv parnykovykh haziv ta znachennia nyzhchykh teplotvornykh zdatnosti (NTZ) palyv na odynytysiu masy. *Sait Ministerstva zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy*. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/zmina-klimatu/monitoryng-zvitnist-ta-veryfikatsiya-vykydiv-parnykovykh-gaziv-mzv/koefitsiyenty-vykydiv-parnykovykh-gaziv-ta-znachennya-nyzhchyh-teplotvornyh-zdatnostej-ntz-palyv-na-odynytysiu-masy/> (Last accessed: 01.02.2024) [in Ukrainian].
41. Maliarenko, O.Ye., Maistrenko, N.Yu., & Panchenko, G.G. (2021). Forecast estimation of the reduction of greenhouse gas emissions from the use of coal in the economy of Ukraine. *The Problems of General Energy*, 1(64), 60–67 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/pge2021.01.060>
42. Maliarenko, O.Ye., & Maistrenko, N.Yu. (2023). A methodical approach to forecasting the consumption of petroleum products by their main types. *Energy Technologies & Resource Saving*, 74(1), 14–24 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33070/etars.1.2023.02>
43. Maliarenko, O., Ivanenko, N., Maistrenko, N., Teslenko, O., & Zaporozhets, A. (2023). Forecasted Petroleum Products Consumption in Ukraine and Estimated Greenhouse Gas Emissions from Their Use. 978-3-031-44350-3, 610457\_1\_En. (Chapter 6). *Studies in Systems, Decision and Control. Modern Technologies in Energy and Transport*. In S. Boichenko et al. (Eds.), 510, 113–135. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-44351-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-44351-0_6)

## **TAKING INTO ACCOUNT LIMITATIONS ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN THE FUEL CONSUMPTION FORECASTING MODEL AT THE NATIONAL LEVEL**

**Olena Maliarenko\***, PhD (Engin.), Senior Research Scientist, <https://orcid.org/0000-0001-5882-916X>  
**Nataliia Ivanenko**, PhD (Engin.), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-5438-1556>  
 General Energy Institute of NAS of Ukraine, 172, Antonovycha St., Kyiv, 03150, Ukraine  
 \*Corresponding author: [malyarenlena@gmail.com](mailto:malyarenlena@gmail.com)

**Abstract.** *Energy demand forecasting models have been developed at the General Energy Institute of National Academy of Sciences of Ukraine for decades. An improved normative method is known, which takes into account, the technological and structural potential of energy saving; a new complex method of forecasting the demand for energy resources, which was developed by Kulyk M.M. and improved by taking into account the fuel for conversion; life cycle models that have been extensively improved at the Institute over the past decade for various areas (nuclear energy, coal industry, oil and gas industry); the balance*

*method developed for coal demand forecasting. These models were used in the development of Energy Strategies in Ukraine with the participation of the General Energy Institute. The actual problem is taking into account environmental restrictions in these models, which Ukraine undertook as a signatory of the Paris Agreement. Ukraine`s updated 2021 National Determined Contribution to the Paris Agreement of (NDC2), which was developed to implement environmental commitments, limits the forecast levels of greenhouse gas emissions in 2030 up to 35 % of greenhouse gas emissions in 1990. It is assumed that the same limitation can be applied to fuel consumption. The purpose of the article is to develop a mathematical model for forecasting fuel demand by taking into account the limit of greenhouse gas emissions in 2030, which allows to choose such forecast scenarios of fuel demand that, according to the total forecast volumes of greenhouse gas emissions from its consumption, meet the accepted restrictions. The article discusses the consumption of coal and oil products. Estimated volumes of coal and petroleum products consumption in case of structural and/or technological changes are calculated. An assessment of technological measures to reduce greenhouse gas emissions in various sectors of the Ukrainian economy is presented.*

**Keywords:** fuel, forecast, GDP, greenhouse gases, emissions limitation.

*Надійшла до редколегії: 02.02.2024*