

*О. Г. Левицька, О. В. Січевий**Дніпровський національний університет ім. О. Гончара*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПРИ ЗАСТОСУВАННІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПРИРОДНОМУ ГАЗУ БІОПАЛИВ

Характеристика теми та постановка проблеми. В роботі вперше наведена порівняльна характеристика викидів шкідливих речовин при спалюванні традиційних палив (природного газу) та біомаси у паливних топках котлоагрегатів та рекомендовані до застосування більш ефективні з екологічної точки зору види палива. Порівняльна характеристика викидів шкідливих речовин при спалюванні різних видів палива дозволяє визначити їх оптимальний вид при побудові і введенні в експлуатацію нових енергетичних установок, а також додає актуальної інформації, що буде корисною у розповсюджених сьогодні наукових і науково-популярних дискусіях щодо вичерпності та заміни невідновлювальних джерел енергії, безпеки альтернативних палив та їх переваг в порівнянні із невідновлювальними.

Метою роботи є визначення величини викидів шкідливих речовин, що потрапляють у навколишнє середовище при спалюванні природного газу та твердих альтернативних палив – відходів деревини, соломи, костриці льняної та лузги соняшника і їх порівняння, обґрунтування розрахунку вмісту вуглецю у паливі заданого хімічного складу.

Результати. При проведенні порівняльного аналізу виявлені високі значення у викидах діоксиду вуглецю для всіх розглянутих матеріалів. Також зазначено, що при спалюванні природного газу відсутні викиди суспендованих твердих частинок, діоксиду сірки та визначено, що при його спалюванні викиди метану будуть найменшими. Оцінюючи рівень безпеки при застосуванні невідновлювальних і альтернативних видів палива в ході проведених розрахунків визначено вищий вміст метану, оксиду діазоту та НМЛЮС та нижчий вміст оксиду азоту, діоксиду вуглецю у викидах при спалюванні альтернативних видів палива порівняно із викидами при спалюванні невідновлювальних видів палива. При спалюванні природного газу у незначних кількостях у викидах присутня ртуть, а при спалюванні мазутів – сполуки ванадію.

Наукова новизна. В роботі вперше наведена порівняльна характеристика викидів шкідливих речовин при спалюванні традиційних палив (природного газу та мазуту) та біомаси у паливних топках котлоагрегатів та рекомендовані до застосування більш ефективні з екологічної точки зору палива. При проведенні розрахункових робіт виявлені такі закономірності. У невідновлювальних і альтернативних палива більша частка вуглецю переходить у викид діоксиду вуглецю і менша – у викид оксиду вуглецю, при цьому частка вуглецю у викиді діоксиду вуглецю вища у невідновлювальних видів палива. Крім цього, у невідновлювальних і альтернативних палива більша частка азоту переходить у викид оксиду азоту і менша – у викид оксиду діазоту, при цьому частка азоту у викиді оксиду азоту також вища у невідновлювальних видів палива. В роботі визначена формула для розрахунку вмісту вуглецю у природному газі із газопроводу Середня Азія-Центр. Наведені розрахунки та введення спрощених формул слугують прикладом для розрахунку коефіцієнтів емісії та викидів при оцінці рівня безпеки діючого устаткування та можуть бути використаними при розробці дозвільних документів підприємств, що здійснюють викиди шкідливих речовин у довкілля.

Ключові слова: паливо, викид, показники емісії, теплота згоряння, ефективність очищення.

Постановка проблеми. В XX і XXI століттях разом із розвитком і вдосконаленням технологій переробки палива з'являються проблеми вичерпності викопних видів палив та забрудненості атмосферного повітря, що призводить до глобаль-

них наслідків, таких як парниковий ефект. На заміну приходять альтернативні види палива. Однак порівняльний аналіз викидів при спалюванні традиційних видів палива, зокрема природного газу

Інформація про авторів:

Левицька Олена Григоріївна, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, доцент кафедри безпеки життєдіяльності (фізико-технічний факультет), кандидат технічних наук, LLevi@ukr.net, 0963717129.

Січевий Олексій Володимирович, Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності (фізико-технічний факультет), доктор технічних наук, професор, asi@ua.fm, 0972314203

та мазуту, із альтернативною біомасою наразі залишається актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналітичні прогнози ринку енергетичних ресурсів свідчать не на користь викопного палива. Автори [1] зазначають, що глобальне виробництво та споживання останнього за деякими оцінками майже повністю закінчиться протягом 50 років. Потужний розвиток новітніх енергетичних технологій спровокує прихід "нової енергетичної епохи", і тоді "нова енергетична революція" може відбутися раніше, ніж це очікується [2]. Перспективою для неї є постійне збільшення частки альтернативних енергоресурсів в економіці багатьох країн світу. Сьогодні досліджуються тверді біопалива із бавовняних відходів [3], пеллети із верби та із тирси [4].

Забезпечуючи власні потреби, Україна виступає експортером продукції із біомаси. Так, за 2015 рік експортовано 150440 т пеллет із деревини (найбільші експортери – Волинська, Київська, Вінницька, Житомирська, Закарпатська області), 821730 т пеллет із лушпиння соняшника (найбільші експортери – Одеська, Київська, Львівська, Черкаська, Полтавська, Вінницька області), 119 т пеллет із соломи (єдиний експортер – Київська область) [5]. Зазначені об'єми експортної продукції або сировини для її виготовлення є потенційним джерелом для збільшення частки енергоресурсів із біомаси в економіці нашої країни.

Метою роботи є визначення та порівняння значень викидів шкідливих речовин при спалюванні традиційних видів палива (природного газу та мазутів із різним вмістом сполук сірки) та біомаси, що використовується при роботі паливних топків котлоагрегатів з урахуванням теплових характеристик та хімічного складу палива, типів обладнання, що застосовуються для процесів горіння, а також обґрунтування розрахунку вмісту вуглецю у паливах із врахуванням хімічного складу природного газу із газопроводу Середня Азія-Центр.

Методика. Враховуючи CORINAIR «Керівництво з інвентаризації атмосферних викидів» та сукупність опублікованих у довідниках та використовуваних фахівцями-екологами України розрахунків щодо визначення величини викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря, Українським науковим центром технічної екології були розроблені розрахункові методи визначення показників емісії, котрі використані в роботі для таких поллютантів [6]:

1. Суспендовані тверді частинки при спалюванні твердого палива:

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} a_z \frac{A^r}{100 - \Gamma_z} (1 - \eta_{zu}) + k_{\text{ТВ}S}$$

2. Суспендовані тверді частинки при спалюванні мазуту:

$$k_{\text{ТВ}} = \frac{10^6}{Q_i^r} \left(a_z \frac{A^r}{100} + \frac{q_4}{100} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_c} \right) (1 - \eta_{zu}) + k_{\text{ТВ}S}$$

3. Діоксид сірки:

$$k_{\text{SO}_2} = \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \frac{2S^r}{100} (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta)$$

4. Оксиди азоту:

$$k_{\text{NO}_x} = (k_{\text{NO}_{x_0}}) f_n (1 - \eta_I)(1 - \eta_{II}\beta)$$

5. Оксиди вуглецю:

$$k_{\text{CO}} = k_{\text{CO}_0} \left(1 - \frac{q_4}{100} \right)$$

6. Діоксиди вуглецю:

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \cdot \varepsilon_c$$

7. Ртуть для природного газу:

$$k_{\text{Hg}} = k_{\text{Hg}_0} (1 - \eta_{gz_u})$$

де Q_i^r – нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг; A^r, S^r, C^r – масовий вміст відповідно золи, сірки, вуглецю в паливі на робочу масу, %, значення взяті за методикою [6]; a_z – частка золи, яка виходить з котла у вигляді легкої золи, значення взяті за методикою [6] для мазутів; Q_c – теплота згорання вуглецю до CO_2 , значення взяті за методикою [6]; q_4 – втрати тепла, пов'язані з механічним недопалом палива, значення взяті за методикою [6] для твердих палив, %; $\eta_I, \eta_{zu}, \eta_{II}$ – ефективності зв'язування сірки золою та ефективності очищення димових газів від суспендованих твердих частинок, ртуті та оксидів сірки, оксидів азоту відповідно; значення взяті за методикою [6]; β – коефіцієнт роботи очисної установки; $k_{\text{ТВ}S}, k_{\text{NO}_{x_0}}, k_{\text{CO}_0}, k_{\text{Hg}_0}$ – показники емісії відповідно твердих продуктів взаємодії сорбенту та забрудників, оксидів азоту без урахування заходів скорочення викиду, оксидів вуглецю при відсутності механічного недопалу, ртуті без використання золоуловлювальної установки, г/ГДж; f_n – ступінь зменшення викиду оксидів азоту під час роботи на низькому навантаженні; ε_c – ступінь окислення вуглецю палива.

Результати роботи. При проведенні розрахунків враховувалось обладнання, в якому проходять процеси горіння, та способи спалювання, що наведені у таблиці 1.

Процеси і обладнання для спалювання палива

Вид палива	Топка	Процес спалювання	Q_i^r , нижча робоча теплота згорання палива, МДж/кг [6]
Відходи деревини	шахтна	шарове спалювання	12,30
Солома	шахтна	шарове спалювання	15,70
Костриця льняна	шахтна	шарове спалювання	15,93
Лузга соняшника	шахтна	шарове спалювання	15,43
Природний газ	камерна	факельне спалювання	44,78*

* - при нехтуванні значенням W^r – вмісту вологи, прийнято $Q^d = Q^r$.

Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок. При очищенні димових газів від золи у топкових пристроях шахтного типу застосовуються циклони, зокрема вищу ефективність забезпечують батарейні циклони. Однак їх ефективність збільшується із збільшенням розміру фракції золи. Так, суспендовані тверді частки, що утворюються при спалюванні твердого палива, уловлюються циклонами за коректних умов ведення технологічних процесів із ефективністю 95,5%–99,8%. Тому в розрахунках приймемо середнє значення вказаного діапазону – 98%. Чисельне значення $\frac{a_z}{100 - \Gamma_z}$ для твердих відходів приймається за методикою [6]. При використанні газоподібного палива викиди зазначених поллютантів будуть відсутніми.

Параметри розрахунку показників емісії речовин у вигляді суспендованих твердих частинок для різних видів палива наведені у табл. 2. Найвищі показники емісії будуть при використанні соломи.

Таблиця 2

Параметри розрахунку показників емісії речовин у вигляді суспендованих твердих частинок для різних видів палива

Паливо	η_{zu}	$k_{тв}$
Відходи деревини	0,98	2,163
Солома	0,98	10,892
Костриця льняна	0,98	6,918
Лузга соняшника	0,98	5,911

Діоксид сірки. У методиці [6] наведений орієнтовний склад природного газу із газопроводів Уренгой–Ужгород та Середня Азія – Центр, де зазначено, що вміст сірководню у природному газі із обох газопроводів дорівнює нулю. Вміст сірки у відходах деревини за [6] дорівнює нулю.

У табл. 3 показані розраховані значення показника емісії діоксиду сірки для палива, які розглядаються.

Таблиця 3

Показники емісії діоксиду сірки для різних видів палив

Паливо	k_{SO_2}
Солома	127,389
Костриця льняна	125,549
Лузга соняшника	207,388

Оксиди азоту та оксиди діазоту. Практика експлуатації енергетичного устаткування показує, що в Україні практично не застосовується азоточисне обладнання, тому для порівняльної характеристики викидів оксидів азоту будуть використані коефіцієнти емісії діоксиду азоту для розглянутих видів палива за методикою [6].

Оксиди та діоксиди вуглецю. Рекомендований методикою [6] ступінь окислення вуглецю палива для природного газу ε_c становить 0,995, для твердих палив приймемо значення 0,99.

Розраховані значення показників емісії оксидів та діоксидів вуглецю наведені у табл. 4.

При оцінці вмісту вуглецю C^{daf} врахуємо хімічний склад природного газу із газопроводу Середня Азія–Центр. При перерахунку C^{daf} у C^r врахуємо, що для природного газу $A^r=0$. Значення вологості природного газу низьке, тому в розрахунках ним можна знехтувати.

Таблиця 4

Показники емісії оксидів та діоксидів вуглецю для різних видів палива

Паливо	k_{CO}	k_{CO_2}
Відходи деревини	191,1	103040
Солома	117,6	99624
Костриця льняна	117,6	100025
Лузга соняшника	117,6	100893
Природний газ	17	59459

Тоді, $C^{daf} = C^r$. Отже, для природного газу:

$$C^{daf} = C^r = \frac{100}{\rho_n} \left(\frac{12}{12+4} m_{CH_4} + \frac{12 \cdot 2}{12 \cdot 2 + 6} m_{C_2H_6} + \frac{12 \cdot 3}{12 \cdot 3 + 8} m_{C_3H_8} + \frac{12 \cdot 4}{12 \cdot 4 + 10} m_{C_4H_{10}} + 0,273 m_{CO_2} \right)$$

де: ρ_n – густина природного газу за нормальних умов, кг/м³; $V_{C_p H_q}$ – питомий об'єм сполуки, що містить р атомів вуглецю та q атомів водню, м³.

Враховуючи вищевикладене, $C^r = 72,98\%$.

Метан та неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС). Викиди енергетичного устаткування сьогодні не очищують від метану та НМЛОС. Тому розрахункових поправок при визначенні показників емісії цих сполук не вносяться. Показники емісії метану та НМЛОС взяті за методикою [6].

Показники емісії є найнижчими для природного газу і найвищими для соломи, костриці льняної, лузги соняшника. Також вони є значно нижчими для невідновлювальних видів палива порівняно з відновлюваними.

Ртуть при спалюванні природного газу. При спалюванні природного газу у незначних кількостях можливе виділення ртуті.

Враховуючи значення $k_{Hg_0} = 10^{-4}$ та $\eta_{gzu} = 0,36$ [6], $k_{Hg} = 0,64 \cdot 10^{-4}$ г/ГДж.

Валовий викид забрудника, т, при потрап-лянні у повітря за певний період:

$$E = 10^{-6} k_i B_i Q_i^r,$$

де B_i – витрата палива за певний період.

Оскільки метою роботи є порівняння величин викидів шкідливих речовин при спалюванні різних видів палива, а при застосуванні різних типів устаткування для спалювання палив можна досягати різних значень витрат одного і того ж палива, кращим варіантом буде прийняти однакові значення витрати для різних палив. Тому викиди будуть розраховані для спалювання 1 т палива.

Викиди шкідливих речовин при спалюванні різних видів палива в котлоагрегатах наведені в табл. 5.

діоксида вуглецю. При цьому викиди при спалюванні природного газу будуть вищими, ніж викиди при спалюванні деревини, соломи, костриці льняної та лузги соняшника. І хоча маса викидів оксиду вуглецю при спалюванні останніх вища за масу викидів оксиду вуглецю при спалюванні природного газу, загальний рівень забруднення оксидами вуглецю при спалюванні палива безперечно вищий при використанні саме природного газу.

Крім цього, виявлено такі закономірності. У невідновлювальних і альтернативних видах палива більша частка вуглецю переходить у викид діоксида вуглецю і менша – у викид оксиду вуглецю. Також у невідновлювальних і альтернативних видів палива більша частка азоту переходить у викид діоксида азоту і менша – у викид оксиду діазоту.

Викиди метану і НМЛОС є порівняно меншими при використанні природного газу і відходів деревини.

Значення викиду ртуті при спалюванні природного газу є незначним. В той же час сама наявність викидів цих сполук спонукає надавати перевагу розглянутим вище альтернативним видам палива.

Таблиця 5

Викиди шкідливих речовин при спалюванні різних видів палива в котлоагрегатах, т/т палива

Назва полютанту	Відходи деревини	Солома	Костриця льняна	Лузга соняшника	Природний газ
Суспендовані тверді частинки	0,027	0,171	0,110	0,091	-
Діоксиди сірки	-	2,00	2,00	3,20	-
Оксиди азоту	2,46	1,38	1,40	1,36	6,68
Оксиди діазоту	0,049	0,079	0,080	0,077	0,004
Оксиди вуглецю	2,35	1,85	1,87	1,81	0,76
Діоксиди вуглецю	1267,39	1564,10	1593,40	1556,78	2662,57
Метан	0,062	0,141	0,143	0,139	0,045
НМЛОС	0,554	0,785	0,797	0,772	0,224
Ртуть	-	-	-	-	$2,2 \cdot 10^{-6}$

При спалюванні природного газу викиди суспендованих твердих часток будуть відсутніми.

Слід також зазначити, що природний газ та відходи деревини не містять сірковмісних сполук, що забезпечує відсутність діоксида сірки у димових газах при спалюванні цих палив.

Цікаво, що при менших величинах викиду оксидів азоту, значення викидів оксидів діазоту є вищими у альтернативних видів палива порівняно із невідновлювальними. Однак внесок діоксидів азоту у викид сполук азоту є незначним. Викиди оксидів азоту значно вищі при спалюванні невідновлювальних видів палива, що вказує на вищу екологічну ефективність біомаси.

Схожа ситуація спостерігається при аналізі викидів сполук вуглецю. При аналізі вмісту оксидів вуглецю значна частка припадає на викиди

Висновки. Показані розрахунки додають актуальної інформації, що буде корисною у розповсюджених сьогодні дискусіях щодо вичерпності та заміни невідновлювальних джерел енергії, безпеки альтернативних відновлюваних видів палива та їх переваг порівняно з невідновлювальними. Слід зазначити, що при спалюванні природного газу будуть відсутні викиди суспендованих твердих часток та діоксида сірки. При спалюванні природного газу у незначних кількостях у викидах наявна ртуть. Таким чином, кожний розглянутий вид палива негативно впливає на навколишнє середовище. Враховуючи викиди забруднюючих речовин при спалюванні розглянутих видів палива, можна зазначити, що серед невідновлювальних видів палива саме природний газ має переваги перед мазутами. При порів-

нянні невідновлювальних видів палива із біомасою, остання є безпечнішою з екологічної точки зору. При забезпеченні раціональних режимів спалювання видів палива та зниження рівня викидів суспендованих твердих частинок, метану та НМЛОС, перспективи використання альтернативних видів палива будуть безперечними.

Список літератури:

1. Erickson P., Lazarus M. Would constraining US fossil fuel production affect global CO₂ emissions? A case study of US leasing policy. *Climatic Change*. 2018. № 150 (1–2). С. 29–42. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2152-z>
2. Zou Caineng, Zhao Qun, Zhang Guosheng, Xiong Bo. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry B*. 2016. № 3 (1). С. 1–11. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854016300109>
3. Akhmedov S., Ivanova T., Krepl V., Muntean A. Research on solid biofuels from cotton waste biomass – Alternative for Tajikistan's energy sector development. *Agronomy Research*. 2017. № 15(5). С. 1846–1855. DOI: 10.15159/AR.17.056.
4. Koruba D., Zbigniew Piotrowski J., Latosińska J. Biomass - alternative renewable energy source to the fossil fuels. *E3S Web of Conferences*. 2017. № 14. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171402015> URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2017/02/e3sconf_ef2017_02015/e3sconf_ef2017_02015.html
5. Гелетуха Г., Крамар В., Епик О., Антошук Т., Тітков В. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси. К. : ТОВ «Науково-технічний центр «Біомаса», 2016. 336 с. URL: <http://energy.esco.agency/wp-content/uploads/2018/04/art51.pdf>
6. Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне по-

вітря різними виробництвами. Перша редакція. Т. І. Донецьк : Український науковий центр технічної екології, 2004. 184 с.

References:

1. Erickson, P, Lazarus, M, (2018, September). Would constraining US fossil fuel production affect global CO₂ emissions? A case study of US leasing policy. *Climatic Change*, 150 (1–2), 29–42. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2152-z>
2. Caineng Zou, Qun Zhao, Guosheng Zhang, Bo Xiong (2016, January). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era : *Natural Gas Industry B*, 3 (1), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ngib.2016.02.001>. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352854016300109>
3. Akhmedov, S, Ivanova, T, Krepl, V, Muntean, A. (2017, November). Research on solid biofuels from cotton waste biomass – Alternative for Tajikistan's energy sector development : *Agronomy Research* 15(5), 1846–1855. doi: 10.15159/AR.17.056.
4. Koruba, D, Zbigniew Piotrowski, J, Latosińska, J, (2017, March). Biomass - alternative renewable energy source to the fossil fuels : *E3S Web of Conferences*, 14, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171402015>. Retrieved from https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2017/02/e3sconf_ef2017_02015/e3sconf_ef2017_02015.html.
5. Geletuha, G., Kramar, V., Epik, O., Antoschuk, T., Titkov, V. (2016). *Comprehensive analysis of the Ukrainian market of biomass pellets*. Kiev : Scientific and Technical Center "Biomass" Ltd. Retrieved from <http://energy.esco.agency/wp-content/uploads/2018/04/art51.pdf>
6. *Collection of emission factors (specific emissions) of pollutants into the atmosphere by different production. First edition.* (2004). Donetsk : Ukrainian Scientific Center of Technical Ecology.

O.H. Levytska, O.V. Sichevii

COMPARATIVE ANALYSIS OF EMISSIONS OF HARMFUL SUBSTANCES IN USING ALTERNATIVE TO NATURAL GAS BIOFUELS

Feature of the topic and problem statement. The paper presents for the first time a comparative characteristic of emissions of harmful substances from the combustion of traditional fuels (natural gas) and biomass in fuel furnaces of boilers and recommended for the use the most environmentally efficient fuels. Comparative characteristics of emissions of harmful substances during the combustion of various types of fuel allows to determine the optimal type of fuel in the construction and commission of a new power plants, and also adds up-to-date information that will be useful in the scientific and scientific-popular discussions that are widespread today regarding the exhaustion and replacement of non-renewable energy sources, the safety of alternative fuels and their advantages in comparison with non-renewable ones.

The purpose of the work is determining of the amount of emissions of harmful substances entering the environment during the combustion of natural gas and solid alternative fuels - wood waste, straw, flax straw and sunflower husk, their comparison, justification of calculation of the carbon content in the fuel of a given chemical composition.

Findings. During the comparative analysis, high values for the carbon dioxide emissions for all the materials were considered. It is also noted that there are no emissions of suspended solid particles and sulfur dioxide during the combustion of natural gas and it is determined that at its combustion, methane emissions will be the smallest. In assessing the level of safety when using unrenewable and alternative fuels, the higher content of methane, dinitrogen oxide and unmethane volatile organic compounds and the lower content of nitrogen oxide, carbon dioxide in emissions from combustion of alternative fuels compared to emissions at combustion of unrenewable fuels were determined during the calculations. When burning natural gas there is mercury in small amounts in the emissions.

Originality. The paper presents for the first time a comparative characteristic of emissions of harmful substances from the combustion of traditional fuels (natural gas and fuel oil) and biomass in fuel furnaces of boilers and recommended for the use the most environmentally efficient fuels. When making calculation works the following regularities are defined. In unrenewable and alternative fuels, a higher proportion of carbon passes into carbon dioxide emission and less to carbon oxide emission, while proportion of carbon in carbon dioxide emission is higher in unrenewable fuels. In addition, in unrenewable and alternative fuels, a large proportion of nitrogen is converted into nitrogen oxide emission, and less - in emission of dinitrogen oxide, while the proportion of nitrogen in the emission of nitrogen oxide is also higher in unrenewable fuels. The paper defines a formula for calculating the carbon content in natural gas from the Central Asia-Center gas pipeline. The provided calculations and the introduction of simplified formulas serve as an example for the calculation of emission factors and emissions in assessing the level of safety of existing equipment and can be used in the development of permit documents of enterprises that carry out emissions of harmful substances to the environment.

Keywords: fuel, emission, emission factors, heat of combustion, purification efficiency.

*Науково-методична стаття