

<https://doi.org/10.15407/plit2026.02.031>

УДК 621.74.046:502.1

І.А. Шалевська, докт. техн. наук, доцент, пров. наук. співроб.;

e-mail: innashalevska@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>

М.М. Дьяченко, аспірант; e-mail: maximail@ukr.net;

<https://orcid.org/0009-0002-4957-9407>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ЛИТИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ НЕМЕТАЛЕВИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

У роботі розглянуто питання залежності зменшення викидів при виготовленні легковагих литих конструкцій із неметалевим наповнювачем у порівнянні з монолітними при використанні технологічного процесу лиття за моделями, що газифікуються (ЛГМ-процес). Розроблено алгоритм методики визначення викидів шкідливих речовин на заданий обсяг виробництва при ЛГМ-процесі, який складається з визначення джерел виділення викидів та питомого виділення забруднюючих речовин із технологічних джерел за ділянками і процесами; розрахунку необхідності використання очисного та уловлювального обладнання; проведення розрахунку валових викидів шкідливих речовин за ділянками і процесами; визначення максимальних разових викидів для проєктування або вибору очисного та уловлювального обладнання; розрахунку загальних валових викидів за рік за видами забруднюючих речовин; визначенні кількості можливих викидів та відходів в атмосферу з урахуванням очищення, уловлювання та знешкодження. За розробленою та вдосконаленою методикою було визначено види викидів шкідливих речовин за ділянками та з використанням довідкових даних і формул розраховано валові й сумарні викиди шкідливих речовин при річному обсязі виробництва 1000 т виливків із сірого чавуну литтям за моделями, що газифікуються, при плавленні в індукційних печах ємністю 1 т. Для порівняння наведено варіант виготовленої литої конструкції з неметалевим наповнювачем (рідкоскляною сумішшю) та розрахунково встановлено, що утворення шкідливих речовин залежить від технологічного процесу й напряму – від витрати рідкого металу. При виготовленні литих конструкцій, які армовано неметалевим наповнювачем, при однаковому обсязі виробництва за кількістю виливків кількість викидів зменшується мінімум на 50 % за рахунок зменшення ваги виливка, а відповідно, зменшуються й витрати електроенергії та шихтових матеріалів.

Ключові слова: лиття за моделями, що газифікуються, легковага конструкція, неметалевий наповнювач, методика розрахунку, шкідливі речовини.

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY license
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Проблема забруднення атмосфери викидами промисловості є однією з глобальних у всьому світі. При цьому ливарне виробництво, на жаль, залишається серед лідерів за утворенням і викидом в атмосферу забруднюючих речовин.

У вирішенні проблеми утворення викидів шкідливих речовин нині сформувалося два напрями [1]:

- відновлення екологічної рівноваги, тобто знезараження, утилізація, переробка відходів та викидів, що вимагає значних витрат та інвестицій [2];

- попередження порушення екологічної рівноваги через використання новітніх або удосконалених технологій, а для ливарного виробництва — нових (удосконалених) технологій або екологічно безпечних процесів та оптимізація конструкції литих виробів.

Використання методів оптимізації конструкції, яка призводить до зменшення маси, за рахунок видалення «зайвого» металу або застосування неметалевих наповнювачів без втрати міцності чи для набуття спеціальних властивостей, що безпосередньо зменшує потребу в сировині та енергії [3, 4].

Зменшення маси литва (легковага конструкція) є ефективним способом зниження викидів шкідливих речовин (CO_2 , важких металів) у ливарному виробництві та екологізації галузі. Це досягається за рахунок зменшення енерговитрат на плавлення металу, меншого використання формувальних сумішей та зниження викидів при транспортуванні.

Такі заходи є частиною стратегії декарбонізації (European Green Deal) і спрямовані на зниження екологічної небезпеки [5].

У наведених розрахунках було використано технологію лиття за моделями, що газифікуються, яка належить до точних методів лиття, сприяє зменшенню металоємності форми, що надалі впливає на кількість утворення валових шкідливих викидів та зменшує собівартість, матеріало- та енергоємність литва, а також дозволяє одержати складні литі конструкції з неметалевими наповнювачами.

Для порівняльного аналізу утворення викидів при литті за моделями, що газифікуються, було визначено кількість викидів на 1 т литва із сірого чавуну для монолитних виливків за удосконаленою методикою [6]. Вихідні дані для розрахунків:

- програма виробництва литих виробів;
- питоме виділення забруднюючих речовин з технологічних джерел;
- характеристика джерел виділення викидів згідно з технологічним процесом виробництва виливків;
- гранично допустимі концентрації в робочій зоні обладнання.

У роботі було враховано результати попередніх досліджень ФТІМС НАН України за утворенням і нейтралізацією продуктів термодеструкції пінополістиролу при заливці металу, його затвердінні та охолодженні виливків у формі [6, 7].

Порядок дій в удосконаленій методиці визначення викидів шкідливих речовин на заданий обсяг виробництва при ЛГМ-процесі такий (табл. 1):

- визначення джерел виділення викидів;
- визначення питомого виділення забруднюючих речовин із технологічних джерел за ділянками і процесами;
- визначення необхідності використання очисного та уловлювального обладнання або врахування ефективності очищення на діючому обладнанні;
- проведення розрахунку валових викидів шкідливих речовин за ділянками і процесами;
- визначення максимальних разових викидів для проектування або вибору очисного та уловлювального обладнання;
- розрахунок загальних валових викидів упродовж року за видами забруднюючих речовин;
- визначення кількості можливих викидів та відходів в атмосферу з урахуванням очищення, уловлювання та знешкодження.

Таблиця 1
Викиди та відходи шкідливих речовин при ЛГМ-процесі

Порядок визначення плавлення	Ділянки та процеси		
	Виготовлення пінополістиролових моделей	Заливально-формувальна ділянка	Плавлення
	Тип викидів або операції		
на 1 т виливків за видами сплаву	валові викиди шкідливих речовин за ділянками і процесами		
від обладнання та процесу	максимальні разові викиди		
сумарні викиди	визначення викидів шкідливих речовин за ділянками і процесами		
на річний випуск лиття	загальні валові викиди за рік за видами забруднюючих речовин		
екологічний моніторинг та обладнання для очищення та знешкодження	очищення, уловлювання та знешкодження		
Прогнозовані можливі викиди	Відходи та викиди в атмосферу		

Валові викиди забруднюючих речовин (кг/рік), що виділяються при плавці металів, визначаються за формулою 1 [8]:

$$M = qB\beta \left(1 - \frac{\eta A}{100}\right), \tag{1}$$

де q — питоме виділення речовин на одиницю продукції, кг/т; B — кількість виплавленого металу в рік, т; β — поправочний коефіцієнт для врахування умов плавки; η — ефективність очищення уловлювальних апаратів, % [8, 9]; A — коефіцієнт, що враховує справну роботу очисного обладнання.

При відсутності очисних апаратів $\eta = 0$.

Максимальні разові викиди забруднюючих речовин (г/с) при плавленні металу визначаються за формулою 2:

$$Gi = \frac{q_i}{3,6} B \beta \cdot \left(1 - \frac{\eta \cdot A}{100}\right), \tag{2}$$

де q_i — питоме виділення речовин в одиницю часу, кг/год (у формулі 2 відповідає розмірності г/с).

Валове виділення забруднюючих речовин у процесі випуску металу з печі (кг/рік) визначається за формулою 3:

$$M^{вч}_i = q_i \cdot B \cdot 10^{-3}, \tag{3}$$

де B — кількість виплавленого чавуну, т; q_i — питоме виділення речовин на одиницю продукції, г/т.

Максимально разові викиди забруднюючих речовин (г/с) при випуску чавуну визначаються за формулою 4:

$$Gi = \frac{q_i}{3600} \cdot B \quad (4)$$

де B — кількість виплавленого чавуну в годину, т; 3600 — перевідний коефіцієнт одиниць виміру.

Максимально разові викиди пилу (г/с) визначаються за формулою 5:

$$G = \frac{q_n''}{3,6} \cdot \left(1 - \frac{\eta \cdot A}{100}\right), \quad (5)$$

де q_n'' — кількість пилу, що виділяється, на одиницю часу роботи устаткування, кг/год; 3,6 — перевідний коефіцієнт одиниць виміру.

За розробленими методиками розрахунку та з використанням довідкових даних і формул [6–9] було розраховано валові та сумарні викиди шкідливих речовин з річним випуском литва із сірого чавуну 1000 т на рік при плавленні в індукційних печах ємністю 1 т (ІСТ — 1,0) (табл. 2).

Для порівняльного аналізу кількості викидів, які утворюються при виготовленні монолітного та армованого неметалевим наповнювачем (рідкоскляною сумішшю) виливка використано для прикладу сегмент модуля (рис. 1), для якого в попередніх дослідженнях було встановлено умови утворення перехідного шару на межі «метал-неметалевий наповнювач» та визначено можливість одержання легковагої конструкції [10, 11].



а



б

Рисунок 1. Виготовлення литої конструкції сегмента модуля розміром 200x220 мм з неметалевим наповнювачем: а) пінополістиролова модель; б) виливок.

У таких конструкціях неметалевий наповнювач використовують як вогнетривкий та демпфуючий захисний шар. Установлено, що вага цільнолитого корпусу без порожнини із сірого чавуну становить 12 кг, а з неметалевим наповнювачем (рідкоскляною сумішшю) циліндричних порожнин $\varnothing 30$ мм та висотою 220 мм — 7,8 кг, що на 35 % менше за можливості набуття конструкцією спеціальних функціональних властивостей.

Таблиця 2
Валові (М) та максимальні разові викиди (G) шкідливих речовин на 1000 т сірого чавуну

Ділянка або операція	Вид викидів	Забруднюючі речовини								Бензол	Пентан	Толуол	Запіза оксид	Фториди	SO ₂	NO ₂	CO	пил	Стирола оксид
		М, т/рік	Г, г/с	М, т/рік	Г, г/с	М, т/рік	Г, г/с	М, т/рік	Г, г/с										
Плавлення чавуну	М, т/рік	1,04	0,58	0,036	0,002	2,4·10 ⁻⁴	1,16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Г, г/с	0,092	0,162	0,01	0,002	0,7·10 ⁻⁴	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Розливання чавуну	М, т/рік	—	0,6	0,006	—	2,4·10 ⁻⁴	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Г, г/с	—	0,23	0,2·10 ⁻³	—	0,6·10 ⁻⁵	0,0003	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Підготовка матеріалів	М, т/рік	19,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Г, г/с	1,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Виготовлення моделей	М, т/рік	—	—	—	—	—	—	—	—	0,06	0,16	0,196	—	—	—	—	—	—	—
	Г, г/с	—	—	—	—	—	—	—	—	0,7·10 ⁻⁴	0,7·10 ⁻⁴	0,7·10 ⁻⁴	—	—	—	—	—	—	—
Формування- заливальна ділянка	М, т/рік	6,3	2,08	0,004	1,08	0,4	0,76	0,06	0,24	0,16	0,76	0,06	0,24	0,16	0,76	0,06	0,24	0,16	0,76
	Г, г/с	2,6	0,04	0,001	0,002	4,0·10 ⁻⁴	5,41·10 ⁻⁴	4,0·10 ⁻⁵	1,7·10 ⁻⁴	0,1·10 ⁻⁴	5,41·10 ⁻⁴	4,0·10 ⁻⁵	1,7·10 ⁻⁴	0,1·10 ⁻⁴	5,41·10 ⁻⁴	4,0·10 ⁻⁵	1,7·10 ⁻⁴	0,1·10 ⁻⁴	5,41·10 ⁻⁴
Ділянка обробки і очистки	М, т/рік	16,4	0,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Г, г/с	0,05	0,004	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ділянка термообробки	М, т/рік	—	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Г, г/с	—	0,06	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Всього за рік	М, т/рік	42,94	6,06	0,046	1,082	0,4	2,18	0,256	0,4	0,22	0,4	0,256	2,18	0,4	1,082	0,046	6,06	42,94	0,76

Висновки

За створеною комплексною методикою було визначено обсяги газоподібних і твердих викидів, що утворюються при реалізації технологічного процесу лиття за моделями, що газифікуються, та встановлено, що утворення шкідливих речовин залежить від технологічного процесу й прямо пропорційно — від ваги вилівка, а саме від витрати рідкого металу. При виготовленні литих конструкцій, які армовано неметалевим наповнювачем, при однаковому обсязі виробництва кількості виливків кількість викидів зменшується мінімум на 50 %.

На прикладі виготовлення легковагих армованих каркасних конструкцій із сірого чавуну встановлено, що витрати рідкого металу зменшуються не менше ніж на 50 % в порівнянні з аналогами з монометалу; обсяги газоподібних і твердих викидів при

виконанні ливарного циклу виробництва з використанням технологічного процесу лиття за моделями, що газифікуються, скорочуються у 1,5–2 рази, що явно знижує негативний вплив ливарних об'єктів на екологічний стан навколишнього середовища. Наприклад, при виготовленні литва із сірого чавуну зокрема викиди пилу можуть зменшитись на 20 т на рік, а викиди CO — на 3 т за рахунок зменшення потреби в рідкому металі.

Список літератури

- 1 Інноваційний розвиток промисловості як складова структурної трансформації економіки України : аналіт. доп. / О.В. Собкевич, А.І. Сухоруков, А.В. Шевченко [та ін.]: за ред. Я.А. Жаліла. Київ: НІСД (Сер. «Економіка», вип. 15), 2014. 152 с.
- 2 Франчук Г. М., Запорожець О. І., Архіпова Г. І. Урбоекологія і техноекологія : підруч. Київ : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк». 2011. 496 с.
- 3 Alam, P., Khan, A.H., Pinê Américo-Pinheiro, J.H., & Ahmad, K. (Eds.). (2024). *Innovative and Hybrid Technologies for Wastewater Treatment and Recycling* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003454199>
- 4 Енергетика: минуле, сучасне, майбутнє: у 5 кн. Кн. 5: Енергозбереження та відновлювана енергетика. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (дата звернення: 10.04.2026).
- 5 Zero Pollution Action Plan. European Commission. URL: https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en_ (дата звернення: 10.04.2026).
- 6 Шалевська І. А. Комплекс технологічних процесів екологічно безпечного виробництва виливків з прогнозованими функціональними властивостями за моделями, що газифікуються: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.04. Київ, 2020. 416 с.
- 7 Збірник показників емісії (питомих викидів) забруднюючих речовин в атмосферне повітря різними виробництвами. Том 1. УкрНТЕК. Донецьк. 2004.
- 8 Державні санітарні норми та правила «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», затверджено наказом МОЗ України від 08.04.2014 № 248.
- 9 Шинский О. И. Газогидродинамика и технологии литья железоуглеродистых и цветных сплавов по газифицируемым моделям: дис. ... докт. техн. наук: 05.16.04. Киев, 1997. 473 с.
- 10 Дьяченко М.М., Корнієць І.В. (2025). Дослідження процесів формування перехідного шару на межі сірий чавун –інтегрований неметалевий наповнювач при одержанні легковагових виливків. *Met. lit'e Ukr.*, vol. 33, 2025, No 3-4 (342-343), 119-130 <https://doi.org/10.15407/steelcast2025.03-04.119>.
- 11 Shinsky O., Shalevska I., Kvasnytska I., Kaliuzhnyi P., Neima O., & Shalevskyi A. (2025) CHAPTER 4. Cast structures with composite and reinforced non-metallic functional filler. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. pp. 109–146. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-17-7.ch4>.

References

- 1 Sobkevych , Sukhorukov , Shevchenko [and others] (2014). Innovative development of industry as a component of the structural transformation of the economy of Ukraine: analytical supplement: Kyiv НІСД. NISD. (Ser. "Economics", issue 15), 2014. 152 p. [in Ukrainian]
- 2 Franchuk G.M., Zaporozhets O.I., Arkhipova G.I. (2011). *Urban ecology and technoecology: textbook*. Kyiv: Publishing house of the National Aviation University «NAU-druk». 496 p.. [in Ukrainian]

- 3 Alam, P., Khan, A.H., Pinê Américo-Pinheiro, J.H., & Ahmad, K. (Eds.). (2024). Innovative and Hybrid Technologies for Wastewater Treatment and Recycling (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003454199>
- 4 Energy: past, present, future: in 5 books. Book 5: Energy saving and renewable energy. URL: <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (accessed: 10.04.2026)
- 5 Zero Pollution Action Plan. European Commission. URL: [https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en_\(accessed: 10.04.2026\)](https://environment.ec.europa.eu/strategy/zero-pollution-action-plan_en_(accessed: 10.04.2026)).
- 6 Shalevska I. A. (2020) Complex of technological processes of ecologically safe production of lost-foam castings with predicted functional properties. Doctoral dissertation. Doctor of Technical Sciences on specialty 05.16.04 «Foundry». Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv. [in Ukrainian]
- 7 UkrNTEK (2004) Collection of indicators of emission (specific emissions) of pollutants into the atmospheric air by various industries. Volume 1. Donetsk. [in Ukrainian].
- 8 State sanitary norms and rules «Hygienic classification of labor according to indicators of harmfulness and danger of factors of the production environment, difficulty and intensity of the labor process», approved by order of the Ministry of Health of Ukraine dated 08.04.2014 No. 248. [in Ukrainian].
- 9 Shinsky O.I. (1997). Gas hydrodynamics and technologies for casting iron-carbon and non-ferrous alloys using gasifiable models. Doctoral dissertation. Doctor of Technical Sciences on specialty 05.16.04 «Foundry». Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv [in Russian].
- 10 Dyachenko M.M., Korniets I.V. (2025). Investigation of the processes of formation of a transition layer at the interface of gray cast iron - integrated non-metallic filler in the production of lightweight castings. *Met. lit'e Ukr.*, vol. 33, 2025, No 3-4 (342-343), 119-130 <https://doi.org/10.15407/steelcast2025.03-04.119> [in Ukrainian].
- 11 Shinsky, O., Shalevska, I., Kvasnytska, I., Kaliuzhnyi, P., Neima, O., & Shalevskyi, A. (2025) CHAPTER 4. Cast structures with composite and reinforced non-metallic functional filler. Kharkiv: TECHNOLOGY CENTER PC. pp. 109–146. <https://doi.org/10.15587/978-617-8360-17-7.ch4>.

Одержано / Received 07.04.2026

Прийнято / Accepted 28.04.2026

Опубліковано / Published 29.05.2026

I.A. Shalevska, *Dr.Sci. (Engin.), Associate Professor, Leading Research Scientist;*
e-mail: innashalevska@gmail.com тел. +38 050 6191601 ORCID –0000-0002-8410-7045

M.M. Dyachenko, *PhD student; e-mail: maximail@ukr.net;*
<https://orcid.org/0009-0002-4957-9407>

Physico-Technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)

REDUCTION OF HARMFUL SUBSTANCES EMISSIONS DURING THE MANUFACTURE OF CAST STRUCTURES WITH NON-METALLIC FILLER

The paper examines the relationship between emission reduction and the manufacture of light-weight cast structures with non-metallic filler in comparison with monolithic ones when using the technological process of lost-foam casting (LFC). An algorithm of the methodology for determining emissions of harmful substances for a given volume of production in the LFC process has been developed, which consists of determining the sources of emissions and specific emissions of pollutants from technological sources by sections and processes; calculating the need for cleaning

and capture equipment; calculation of gross emissions of harmful substances by sections and processes; determination of maximum single emissions for the design or selection of cleaning and capture equipment; calculation of total gross emissions per year by type of pollutants; determination of the amount of possible emissions and waste released into the atmosphere, taking into account purification, capture and neutralization. According to the developed and improved methodology, the types of emissions of harmful substances were determined by sections and, using reference data and formulas, gross and total emissions of harmful substances were calculated with an annual production volume of 1,000 tons of gray iron castings by lost-foam casting when melting in induction furnaces with a capacity of 1 ton. For comparison, a variant of the manufactured cast structure with a non-metallic filler (liquid glass mixture) is presented and it has been calculated that the formation of harmful substances depends on the technological process and specifically, on the consumption of liquid metal. When manufacturing cast structures reinforced with a non-metallic filler, with the same production volume in terms of the number of castings, the amount of emissions is reduced by at least 50% due to the decrease in casting weight, and accordingly, the consumption of electricity and charge materials is reduced.

Keywords: lost-foam casting, cast structure with non-metallic filler, emissions of harmful substances, methodology for determining emissions of harmful substances.

До уваги авторів

У зв'язку з переходом журналу «Процеси лиття» на новітню платформу *Open Journal Systems* та відповідним оновленням сайту журналу подача статей можлива через сайт <https://plit-periodical.org.ua/>

Після реєстрації в системі вам буде запропоновано покрокову процедуру завантаження статті за стандартами міжнародних журналів.

Спілкування з редакцією та подання статей здійснюється через пошту **plit.periodical@gmail.com**

Редакція журналу «Процеси лиття»