

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

## СТАЛИЙ РОЗВИТОК В ПРОМИСЛОВОСТІ

Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання для  
студентів спеціальності 136 – Металургія (магістерський рівень)

*Друкується за Планом видань навчально-методичної  
літератури, затвердженим Вченою радою ІПБТ УДУНТ  
Протокол № 1 від 24.01.2022*

УДК 669.18:502

Сталий розвиток в промисловості : робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання для студентів спеціальності 136 – Металургія (магістерський рівень) / уклад.: В. І. Шатоха, М. В. Ягольник. – Дніпро : Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. – 12 с.

Наведені рекомендації до вивчення дисципліни, як при аудиторній роботі, так і при самостійній роботі студентів, надані методичні вказівки до вивчення кожного з розділів і література, що рекомендується, питання для самоконтролю, а також варіанти індивідуальних завдань, що виконують студенти в процесі вивчення дисципліни.

Призначена для студентів спеціальності 136 – Металургія.

Укладачі: В. І. Шатоха, д-р. техн. наук, проф.  
М. В. Ягольник, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск К. Г. Нізяєв, д-р. техн. наук, проф.

Рецензент С. Є. Суліменко, канд. техн. наук, доц. (УДУНТ)

Підписано до друку 04.10.2022. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір друк. Друк плоский. Облік.-вид. арк. 0,76. Умов. друк. арк. 0,75. Замовлення № 99.

Український державний університет науки і технологій  
49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

---

Редакційно-видавничий відділ УДУНТ

## ЗМІСТ

РОБОЧА ПРОГРАМА.....	4
ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ.....	5
Лекційний матеріал .....	5
Практичні заняття.....	5
Самостійна робота .....	5
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ.....	7
ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	12
Варіанти індивідуальних завдань .....	12
ЛІТЕРАТУРА .....	12

## РОБОЧА ПРОГРАМА

Загальний обсяг дисципліни «Сталий розвиток в промисловості» для студентів заочної форми навчання – 90 академічних годин. Розподіл годин за семестрами, видами занять і видами контролю представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Розподіл навчальних годин за семестрами, видами занять і видами контролю

Семестр	Усього, годин	Види занять				Види контролю
		Аудиторні, годин	Лекції, годин	Практичні заняття, годин	Самостійна робота, годин	Індивідуальне завдання
<b>2</b>	<b>90</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>78</b>	<b>д. залік</b>

Робоча навчальна програма дисципліни з указівкою тем і методичних вказівок до лекційного матеріалу наведена в розділі «Зміст дисципліни».

При вивченні дисципліни «Сталий розвиток в промисловості» планується контрольована викладачем індивідуальна робота, що передбачає:

- самостійне вивчення розділів дисципліни, що не викладаються на лекціях;
- вивчення лекційного матеріалу;
- виконання індивідуальної роботи.

Варіанти завдань, методичні вказівки і література для виконання індивідуальної роботи наведено. Індивідуальна робота складається з одного завдання, що включає розрахункову частину та висновок, який має бути зроблений на підставі результатів розрахунку та ознайомлення з рекомендованою літературою. Виконана й оформлена за встановленими правилами індивідуальна робота здається в заочний деканат. Після одержання зарахованої індивідуальної роботи необхідно врахувати всі зазначені викладачем зауваження і внести необхідні виправлення.

При виконанні індивідуального завдання студент має обрати варіант (усього 15 варіантів) згідно номера у списку групи.

Матеріал програми побудований за дидактичними принципами і кожний новий розділ базується на попередніх. Тому з метою кращого розуміння при вивченні дисципліни варто вивчати розділи програми в послідовності, викладеній нижче.

## ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна «Сталий розвиток в промисловості» входить до циклу дисциплін фахової підготовки магістрів спеціальності «Металургія».

**Мета вивчення дисципліни** – засвоєння знань та навичок з питань зміни клімату та міжнародних інструментів запобігання зміни клімату.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати:**

- фактори зміни клімату;
- міжнародні інструменти запобігання зміни клімату;
- тенденції розвитку металургії;
- сучасні та майбутні можливості досягнення екологічних завдань

**вміти:**

- спрогнозувати сценарій розвитку металургійної галузі;
- провести інвентаризацію викидів промисловим підприємством.

**Критерії успішності** – отримання позитивної оцінки при виконанні індивідуального завдання і складанні контрольної роботи.

**Засоби діагностики успішності навчання** – комплекти завдань і робіт.

**Зв'язок з іншими дисциплінами** – дисципліна є однією з завершальних при підготовці магістрів за спеціальністю «Металургія» та викладається паралельно з іншими фаховими дисциплінами.

Набуті знання і вміння використовуються при написанні випускної кваліфікаційної роботи та у подальшій професійній діяльності.

## Лекційний матеріал (8 годин)

**Тема 1. Кліматична система Землі та фактори зміни клімату.**  
Кліматична система Землі. Енергетичний баланс в атмосфері та парниковий ефект. Спостереження змін кліматичної системи. Фактори зміни клімату. Прогнозування зміни клімату. Міжнародні інструменти запобігання зміни клімату. Кіотський протокол. Гнучкі механізми Кіотського протоколу. Механізм чистого розвитку. (2 години)

**Тема 2. Фактори та технологічне забезпечення сталого розвитку у металургії.** Фактори сталого розвитку у металургії. Тенденції розвитку металургії. Засоби та перспективи реалізації концепції сталого розвитку в чорній металургії. Конкурентоспроможність. Енергетична ефективність. Екологічний вплив. Майбутня економіка з кліматичними обмеженнями. Технологічне забезпечення сталого розвитку у металургії. Кращі наявні технології та їх потенціал щодо досягнення екологічних завдань. Радикально іноваційні технології. (4 години)

**Тема 3. Сценарії сталого розвитку у виробництві чавуну і сталі.** Сценарії пом'якшення зміни клімату. Сценарії сталого розвитку міжнародної енергетичної агенції з енергії. Інші сценарії розвитку металургії. (2 години)

## Практичні заняття (4 години)

**Методика розрахунку викидів CO<sub>2</sub> підприємством.**

## Самостійна робота (78 годин)

**Тема 1. Міжнародні схеми торгівлі викидами парникових газів**  
(26 годин)

**Тема 2. Перспективи розвитку гірничо-видобувної галузі у контексті**  
запобігання зміни клімату  
(26 годин)

**Тема 3. Методика проведення інвентаризації викидів парникових газів на**  
підприємствах гірничо-металургійного комплексу  
(26 годин)

# МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

## Розрахунок викидів CO<sub>2</sub> металургійним підприємством за умови впровадження найкращих доступних технологій та різних сценаріїв розвитку виробництва сталі в Україні

### *1. Теоретичні основи*

З теоретичними основами студенти мають самостійно ознайомитися шляхом вивчення матеріалів статті *Шатоха В. І., Матухно О. В. Моделювання сценаріїв модернізації металургійної галузі України до 2030 року з метою скорочення викидів диоксиду вуглецю //Екологічні науки. 2020 - № 3(30) - С.104-109.*

Доступна за посиланням (вкладка Full text available)

[https://www.researchgate.net/publication/346068526\\_Modeling\\_the\\_scenarios\\_of\\_Ukrainian\\_steel\\_industry\\_modernization\\_towards\\_2030\\_aimed\\_at\\_carbon\\_dioxide\\_emissions\\_reduction](https://www.researchgate.net/publication/346068526_Modeling_the_scenarios_of_Ukrainian_steel_industry_modernization_towards_2030_aimed_at_carbon_dioxide_emissions_reduction)

**Мета** – розуміння стратегічних підходів до визначення шляхів модернізації галузі з метою запобігання зміни клімату

**Завдання** - оволодіння навичками застосування наступних методів:

- визначення динаміки впровадження найкращих доступних технологій за різних сценаріїв розвитку виробництва;
- визначення впливу впровадження найкращих доступних технологій на викиди диоксиду вуглецю підприємством чорної металургії.

### *2. Методика розрахунку*

#### **2.1. Вихідні дані**

Величини скорочення викидів CO<sub>2</sub> та обсягів впровадження найкращих доступних технологій (НДТ) застосовуються згідно табл. 1.

В табл. 1, цільовий рік, визначається як той, що починається через  $n$  років після року виконання завдання. У даному розрахунку  $n=10$  (тобто, якщо завдання виконується у 2023 році, то  $t_0=2033$ ).

$t_0$  – поточний рік (рік, у якому виконується завдання). Тобто, якщо завдання виконується у 2023 році, то рік початку швидкого впровадження для модернізації аглофабрик – це 2025 рік.

**Таблиця 1**

**Показники скорочення викидів CO<sub>2</sub>, обсяги та показники темпів впровадження НДТ**

№	Впроваджені найкращі доступні технології	Питоме скорочення викидів CO <sub>2</sub> за даними УкрНДТЦ Енергосталь	Частка виробництва, де впроваджено НДТ, %		Рік початку швидкого зростання темпів впровадження
			Початковий рік ( $t_0$ )	Цільовий рік ( $t_n$ )	
1	модернізація аглофабрик	31 кг CO <sub>2</sub> /т агломерату	0	100	$t_r = t_0 + 2$
2	впровадження газових безкомпресорних утилізаційних турбін (ГУБТ)	30,2 кг CO <sub>2</sub> /т чавуну	0	100	$t_r = t_0 + 3$
3	модернізації повітрянагрівачів	61 кг CO <sub>2</sub> /т чавуну	0	100	$t_r = t_0 + 4$
4	заміна розливання у зливки на безперервний спосіб	276 кг CO <sub>2</sub> /т сталі	52	95	$t_r = t_0 + 2$
5	заміна мартенівського виробництва конвертерним	354.1 кг CO <sub>2</sub> /т сталі	69	93	$t_r = t_0 + 2$

Припускаємо, що між початковим, та кінцевим роками періоду моделювання виробництво та споживання готової сталі змінюватимуться з певним, різним для різних сценаріїв розвитку, середньорічним темпом зростання в складних відсотках (Compound Annual Growth Rate, CAGR) на рік, який можна обрахувати наступним чином

$$CAGR(t_0, t_n) = \left( \frac{V(t_n)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{t_n - t_0}} - 1$$

де  $V(t_0)$ ,  $V(t_n)$  – початковий та кінцевий обсяги споживання, відповідно.

Варіанти щодо заданого обсягу виробництва сталі у 2030 році та обраховані ітераційним методом показники середньорічного темпу зростання в складних відсотках наведені у табл. 2.

**Таблиця 2**

**Варіанти зміни обсягу виробництва**

Варіант	Тип розвитку	Виробництво сталі у цільовому році ( $t_n$ ), млн т	GAGR
1	Повільне зростання	25	1,7
2	Помірне зростання	30	3,4
3	Швидке зростання	35	4,8

Комбінація варіантів табл. 1 та табл. 2 має відповідати індивідуальному завданню (див. п. 4).

**2.2. Траєкторія зміни виробництва сталі протягом наступного десятиріччя**

Слід розрахувати зміну виробництва сталі у десятирічний період – з початкового року ( $t_0$ ) по цільовий рік ( $t_n$ ). Виробництво сталі у початковому році приймається 20 млн т. Виробництво сталі у цільовому році ( $t_n$ ) – згідно табл. 2.

Кількість сталі, виробленої у певному році  $t+1$ , розраховується як

$$V_{t+1} = V_t + V_t \cdot GAGR / 100, \text{ млн т} \quad (1)$$

тобто, наприклад, якщо завдання виконується у 2023 році, то, для варіанта помірною зростання обсягу виробництва сталі

$$V_{2024} = V_{2023} + V_{2023} \cdot GAGR / 100 = 20 + 20 \times 3,4 / 100 = 20,68 \text{ млн т}$$

$$V_{2025} = V_{2024} + V_{2024} \cdot GAGR / 100 = 20,68 + 20,68 \times 3,4 / 100 = 21,38 \text{ млн т}$$

і так далі.

Показник GAGR має відповідати варіанту завдання.

### 2.3. Траєкторія впровадження НДТ

Розрахувати динаміку впровадження однієї з технологій відповідно до варіанта завдання з використанням даних табл. 1.

Спершу для років з  $t_0$  по  $t_n$  розраховується коефіцієнт за формулою

$$n_t = \frac{M}{1 + \exp\left[\frac{-\ln(81)}{\Delta t} \cdot (t - (t_r + \Delta t / 2))\right]} \quad (2)$$

де:

$M = X_{t_0} - X_{t_n}$  – різниця між часткою впровадження технології у роках  $t_0$  та  $t_n$  (приймається з табл. 1 згідно з варіантом завдання);

$t_r$  – рік початку швидкого зростання (згідно табл. 1) – рік, коли частка технології складає 10% від різниці між рівнями впровадження у роках  $t_0$  та  $t_n$ ;

$\Delta t = 4$  – час, у роках, між роком початку швидкого зростання  $t_r$  та роком, коли досягається 90% впровадження, запланованого на рік  $t_n$ ;

$t$  – роки з  $t_0$  по  $t_n$ .

Далі, для кожного року з  $t_0$  по  $t_n$ , розраховується частка виробничих потужностей, де впроваджено певну технологію, за формулою

$$X_t = X_{t_0} - n_t \quad (3)$$

Для років  $t_0$  та  $t_n$  величина  $X$  не розраховується, вона дорівнює значенням з табл.1.

### 2.4. Скорочення питомих викидів $\text{CO}_2$ протягом наступного десятиріччя

Розрахувати величину скорочення питомих викидів  $\text{CO}_2$  по роках при впровадженні НДТ згідно варіанта завдання за формулою

$$\Delta e_t = \Delta e \cdot (X_t - X_{t_0}) / (100 - X_{t_0}) \text{ к, кг/т сталі} \quad (4)$$

$t$  – роки з  $t_0$  по  $t_n$ .

$\Delta e$  (кг $\text{CO}_2$ /т матеріалу) – питоме скорочення викидів згідно табл. 1.

$X_t$  – частка виробничих потужностей, де у році  $t$  впроваджено дану НДТ;  
(див. п. 2.3);

$X_{t0}$  – згідно табл. 1;

$k$  – витратний коефіцієнт (кг матеріалу/т сталі) приймається, що  $k=0,8$  для агломерату і чавуну,  $k=1$  для сталі.

## 2.5. Питомі викиди CO<sub>2</sub> протягом наступного десятиріччя

Розрахувати загальні питомі викиди CO<sub>2</sub> при виробництві сталі, які змінюються завдяки впровадженню технології, для кожного року з  $t_0$  по  $t_n$  згідно з варіантом завдання за наступною формулою

$$S_t = S_{t0} - \Delta e_t / 1000 \text{ (т CO}_2\text{/т сталі)} \quad (5)$$

У розрахунку приймається величина питомих викидів у початковому році  $S_{t0} = 2,38$  т CO<sub>2</sub>/т сталі.

## 2.6. Траєкторія зміни валових викидів CO<sub>2</sub> протягом наступного десятиріччя завдяки впровадженню НДТ

Розрахувати зміну валових викидів CO<sub>2</sub> по роках з  $t_0$  по  $t_n$  за умов business as usual, тобто, без впровадження нових технологій

$$E^{bau}_t = S_{t0} \cdot V_t \quad (6)$$

Розрахувати зміну валових викидів CO<sub>2</sub> по роках з  $t_0$  по  $t_n$  завдяки впровадженню технології згідно з варіантом завдання за наступною формулою

$$E_t = S_t \cdot V_t \quad (7)$$

Обидві криві, отриманні за формулами 6 та 7, навести на одному графіку для порівняння.

## 2.7. Графічна інтерпретація результатів та висновки

а) За усіма пунктами побудувати графіки в Excel в координатах «роки-показник». б) Зробити письмові висновки (принаймні 1 сторінка тексту) щодо впливу впровадження НДТ на викиди диоксиду вуглецю при виробництві чавуну і сталі.

## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

При виконанні індивідуального завдання студент має обрати варіант згідно номера у списку групи (за даними з деканату). Виконувати завдання необхідно після засвоєння всієї програми дисципліни, оскільки воно включає матеріал з різних розділів. Висновки щодо впливу впровадження НДТ на викиди диоксида вуглецю слід розробити самостійно на підставі ознайомлення з рекомендованою літературою.

### Варіанти індивідуальних завдань з дисципліни

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Варіант з табл. 1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Варіант з табл. 2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1

## ЛІТЕРАТУРА

1. Шатоха В. І. Сталий розвиток чорної металургії : монографія. Дніпропетровськ : «Дріант», 2015. 184 с.
2. Украинская металлургия: современные вызовы и перспективы развития / А. И. Амоша, В. И. Большаков, А. А. Минаев, Ю. С. Залознова, Л. А. Збаразская, Ю. В. Макогон и др. Донецк : НАН Украины, Ин-т экономики пром-сти, 2013. 114 с.
3. Шатоха В. І. Екологічне забезпечення виробництва чавуну : підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2001. 183 с.
4. Шатоха В. І., Матухно О. В. Моделирование сценаріів модернізації металургійної галузі України до 2030 року з метою скорочення викидів диоксида вуглецю // Екологічні науки. 2020 - № 3(30). - С. 104-109.
5. Shatokha V. et al. Potential Means to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions of Iron and Steel Industry in Ukraine Using Best Available Technologies // Journal of Sustainable Metallurgy. – 2020. – № 6. – P.451-462.
6. Shatokha V., Matukhno E. Climate change mitigation scenarios for the Ukrainian steel sector based on best available technologies deployment: Procedia Environmental Science, Engineering and Management. 2021. – № 2. – P.507-517.