

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника

**Методичні рекомендації до практичних робіт з
дисципліни «Техноекологія» для студентів спеціальності
101 Екологія (ОР бакалавр)**

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЕКОЛОГО-ТЕХНО- ЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ	7
Розрахунок викидів забруднюючих речовин та обсягів відходів, що утворюються в технологічному процесі	8
1.1 Визначення основних характеристик палива та кількості за- бруднюючих речовин, що утворюються при його спалюванні	12
3.2.1 Основні види палива та його склад	12
3.2.2 Розрахунок масового складу відхідних газів за хімічним складом палива	17
1.2 Визначення ступеня забруднення атмосферного повітря населених пунктів автотранспортом	21
1.3 Визначення реального хімічного навантаження на людину при забрудненні повітряного середовища	24
Література	30
Додаток А Варіанти завдань для розрахунку реального хімічного на- вантаження на людину при забрудненні повітряного середовища	32

ПЕРЕДМОВА

«Техноекологія» належить до обов'язкових навчальних дисциплін циклу професійної підготовки. Предметом вивчення навчальної дисципліни є загальна характеристика національного господарства, основних технологічних процесів, окремих його галузей, характеристика природних ресурсів, які використовуються окремими галузями виробництва, характеристика та аналіз впливу цих виробництв на навколишнє середовище, заходи боротьби зі шкідливим впливом викидів, скидів і накопиченням відходів, альтернативні еколого-безпечні технології.

Метою навчальної дисципліни «Техноекологія» є формування знань щодо структури національного господарства, впливу його окремих галузей на навколишнє природне середовище, а також методів запобігання техногенному забрудненню довкілля.

Основними **цілями** вивчення дисципліни є:

- набуття навичок визначати вплив виробничої сфери на навколишнє природне середовище;
- усвідомлення проблем та шляхів покращення стану природного середовища;
- формування фундаментальних знань про особливості використання природних ресурсів різними виробництвами та впливу цих виробництв на навколишнє природне середовище;
- формування знань про альтернативні екологобезпечні виробництва та набуття компетентностей щодо екологізації виробничих процесів.

При вивченні дисципліни студенти набувають таких компетентностей:

Загальні компетентності:

ЗК01. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

ЗК03. Здатність до адаптації та дії в новій ситуації.

Фахові компетентності:

СК15. Здатність до організації робіт, пов'язаних з оцінкою екологічного стану, захистом довкілля та оптимізацією природокористування, в умовах неповної інформації та суперечливих вимог.

СК16. Розуміння основних теоретичних положень, концепцій та принципів математичних та соціально-економічних наук.

СК17. Знання сучасних досягнень національного та міжнародного екологічного законодавства.

СК18. Здатність до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків, пов'язаних з виробничою діяльністю.

СК20. Здатність проводити екологічний моніторинг та оцінювати поточний стан навколишнього середовища.

СК22. Здатність до участі в розробці системи управління та поводження з відходами виробництва та споживання.

СК25. Здатність до опанування міжнародного та вітчизняного досвіду вирішення регіональних та транскордонних екологічних проблем.

Програмні результати навчання

ПР02. Розуміти основні екологічні закони, правила та принципи охорони довкілля та природокористування.

ПР07. Розв'язувати проблеми у сфері захисту навколишнього середовища із застосуванням загальноприйнятих та/або стандартних підходів та міжнародного і вітчизняного досвіду.

ПР09. Демонструвати навички оцінювання непередбачуваних екологічних проблем і обдуманого вибору шляхів їх вирішення.

ПР11. Уміти прогнозувати вплив технологічних процесів та виробництв на навколишнє середовище.

Після вивчення дисципліни студент повинен:

– знати основні типи промислових, енергетичних, транспортних, забруднень та їх небезпечність для екосистем; методи очистки від різних техногенних забруднень повітря і стічних вод; способи відновлення техногенних ландшафтів; альтернативні технології безвідходного виробництва; методи стимулювання розвитку екологічнобезпечних виробництв;

– уміти визначати небезпечність шкідливих речовин в атмосферному повітрі, поверхневих водах та ґрунтах за гранично допустимими концентраціями; розраховувати величини окремих та комплексних техногенних навантажень на природні об'єкти та екосистеми; класифікувати техногенні забруднення довкілля за походженням, ступенем небезпечності для живих істот, тривалістю дії; приймати обґрунтовані рішення щодо покращення технології виробництва та закриття екологонебезпечних підприємств.

Структура дисципліни «Техноекологія»

К-сть кредитів, годин				
Всього кредитів/ годин	Аудиторних		СРС (год)	Види контролю
	Лекції (год)	Практичні (год)		
6 кредитів / 180 годин	30	30	120	Екзамен

Система оцінювання

Згідно з навчальним планом видами навчальних занять є лекції, практичні заняття, самостійна робота студентів (СРС).

Форма підсумкового контролю – екзамен.

Система методів оцінювання складається із двох видів контролю: поточного та підсумкового.

Поточний контроль включає:

- тестування – така форма контролю дозволяє перевірити підготовку студентів до кожного заняття; проводиться регулярно на вибірковій основі;

- творчі завдання – проводиться з метою формування вмінь і навичок у студентів практичного спрямування, формування сучасного наукового мислення, вміння приймати відповідальні та ефективні рішення;

- самостійна робота – така форма контролю дозволяє виявити вміння чітко, логічно і послідовно відповідати на поставлені запитання, вміння працювати самостійно;

- індивідуальна науково-дослідна робота студентів (презентації дослідно-проектних робіт, звіти про розробку комплексних проектів, контрольні роботи,) – проводиться протягом семестру з метою отримання практичних навиків та умінь щодо використання та опрацювання наукових джерел, написання статей, тез, оформлення звітів, розробка презентаційного матеріалу, використання теоретичних та емпіричних методів дослідження.

Упродовж поточного контролю, на практичних заняттях, студент може максимально отримати 50 балів (35 балів – за усні відповіді на практичних заняттях, 5 балів – за індивідуальну науково-дослідну роботу, 10 – за підсумкову контрольну роботу).

Підсумковий контроль проводиться у формі екзамену (максимальна оцінка – 50 балів). Підсумкова оцінка розраховується за сумою накопичених впродовж вивчення дисципліни балів.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ЕКОЛОГО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Розрахункова частина практичного заняття логічно пов'язана з аналітичною частиною, що відображається в індивідуальному завданні. Вид еколого-технологічних розрахунків визначається об'єктом досліджень:

- якщо об'єктом досліджень є технологічний процес, то необхідно розрахувати викиди забруднюючих речовин від обладнання, що використовується в даному процесі або (і) визначити обсяги відходів та напрямки їх утилізації (підрозділ 3.1);

- якщо об'єктом досліджень є тепло- або енергогенеруюче обладнання, необхідно визначити основні характеристики палива та розрахувати викиди забруднюючих речовин, що утворюються при його спалюванні (підрозділ 3.2);

- якщо об'єктом досліджень є пересувні джерела викидів (автотранспорт), то необхідно визначити завантаженість вулиць населених пунктів автотранспортом, розрахувати концентрацію карбон (II) оксиду і за цим показником оцінити ступінь забруднення атмосферного повітря населених пунктів (підрозділ 3.3);

- при дослідженні екологічних проблем необхідно розрахувати реальне хімічне навантаження на людину при забрудненні повітряного середовища (підрозділ 3.4).

Джерела забруднення атмосферного повітря поділяються на стаціонарні та пересувні. Стаціонарні джерела характеризуються сталими значеннями координат їх розміщення на місцевості, пересувні джерела – значенням швидкості їх пересування на місцевості. Розрахунки викидів в атмосферне повітря стаціонарними і пересувними джерелами відрізняються за своїми принципами.

Стаціонарні джерела можуть бути організованими та неорганізованими. Організовані джерела характеризуються наявністю обладнання відведення газів від джерела викиду в атмосферне повітря (димоходи, вентиляційне обладнання тощо). Від неорганізованих джерел забруднюючі речовини потрапляють в атмосферне повітря безпосередньо і переносяться завдяки атмосферним процесам.

Викиди стаціонарних джерел можуть бути холодними і гарячими. Температура холодних викидів дорівнює температурі повітря навколишнього середовища, до якого надходять викиди. Температура гарячих викидів вища за температуру повітря навколишнього середовища, до якого надходять викиди.

1.1. Розрахунок викидів забруднюючих речовин та обсягів відходів, що утворюються в технологічному процесі

Розрахунок викидів забруднюючих речовин і визначення виду та кількості відходів виконують після аналізу технологічного процесу з визначенням джерел утворення викидів та відходів. Токсичність забруднюючих речовин визначається за ГДК та класом небезпеки, які наведені в нормативних документах (див. перелік основної літератури до даних методичних вказівок).

В прикладі розглянуто технологічний процес виробництва пластикової тари, розрахунок викидів забруднюючих речовин та обсягів відходів з визначенням їх подальшого використання. Даний приклад є частиною другого розділу курсової роботи, в підрозділі 2.1 якої наведена загальна характеристика підприємства в цілому.

Приклад

1. Загальна характеристика ділянки з виготовлення пластмасової тари

Виробництво пластмасової тари на даній ділянці є повним замкнутим циклом виготовлення упаковки із поліпропілену у вигляді контейнерів (банка та кришки) різних типорозмірів.

На першому етапі технологічного процесу поліпропіленовий лист шириною 530 мм, товщиною 1,2 мм та 0,4 мм в рулонах масою 250 кг поступає на ділянку термоформування. Потім рулон укладається в розмотувальний пристрій і подається в термопластавтомат (DFA 47/25), де відбувається термоформування банки чи кришки відповідно до встановленої форми.

Основними складовими термопластавтомата є станина, на якій встановлено головний привід, транспортер, нагрівну раму, та електро- та пневмообладнання.

Робота автомата відбувається за схемою:

а) плівка розмотується транспортером (або механізмом розмотування рулону, якщо він входить в склад автомата) та подається транспортером в зону нагрівання;

б) нагрівна рама розігріває плівку до температури формування;

в) нагріта плівка подається транспортером у відкриту форму;

г) формується виріб стисненням повітрям після змикання форми;

д) сформовані вироби типу «стаканчик» відокремлюються (вирубаються) від плівки;

е) після розкриття форми виштовхнуті з неї вироби переносяться потоком повітря за межі форми, в штабелер, який входить в комплект автомата;

ж) відходи плівки змотуються механізмом змотування відходів.

На наступному етапі готова банка та кришка складається в гофровані ящики, які далі транспортуються на склад готової продукції.

Відпрацьований перфорований лист в рулонах подається на дільницю переробки відходів. Там лист подрібнюється в дробарках (ИПТ-459М). Подріблені відходи складаються в короб та відправляються на дільницю екструдерів для додавання до основного матеріалу при виготовленні поліпропіленового листа.

Процес виробництва пластикової тари може бути зображений схемою, наведеною на рисунку 1.1.

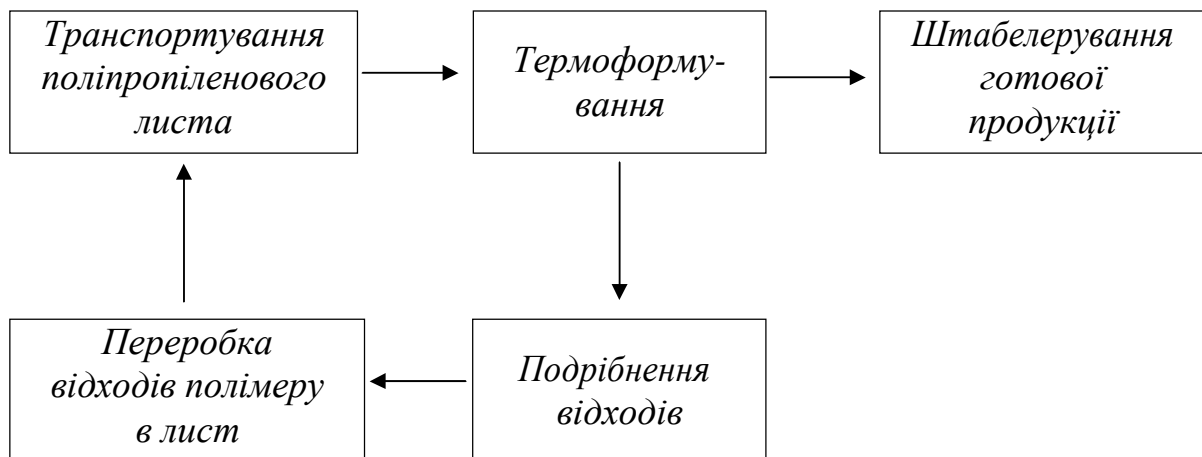


Рисунок 1.1 – Процес виготовлення пластикової тари

2.2 Розрахунок викидів забруднюючих речовин на дільниці з виробництва пластикової тари

При роботі термопластавтоматів в атмосферне повітря виділяються такі забруднюючі речовини: карбон (II) оксид та оцтова кислота.

При подрібненні відходів термопласту в дробарці ИПР-450М виділяється пил поліпропілену, що надходить в атмосферу після очищення у циклоні (ефективність очищення складає 92 %).

Вихідні дані для розрахунку викидів забруднюючих речовин від термопластавтоматів:

- на дільниці встановлено 5 термопластавтоматів DFA 47/25;
- виробнича програма становить $4 \cdot 10^6$ комплектів стаканчиків в місяць, $4,28 \cdot 10^7$ штук на рік;
- режим роботи – 330 днів/рік, 24 год/добу;
- сировина – поліпропілен;
- витрати сировини – 1760 т/рік;
- питомий викид карбон (II) оксиду – 0,8 г/кг матеріалу;

– питомий викид органічних кислот в перерахунку на оцтову кислоту – 0,4 г/кг матеріалу.

Розрахунок викидів здійснюється за формулою:

$$M = \gamma \cdot G \cdot 10^{-6}, \quad (2.1)$$

де M – валовий викид забруднюючої речовини, т/рік;

γ – питомий викид забруднюючої речовини, г/кг матеріалу;

G – витрати матеріалу, що піддається переробці, кг/рік.

Валовий викид органічних кислот в перерахунку на оцтову кислоту становить:

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,4 \cdot 1760000 \cdot 10^{-6} = 0,704 \text{ (т/рік)}.$$

Валовий викид карбон (II) оксиду становить:

$$M(\text{CO}) = 0,8 \cdot 1760000 \cdot 10^{-6} = 1,408 \text{ (т/рік)}.$$

Для подальшого визначення доцільності проведення розрахунку розсіювання забруднюючих речовин обчислюють валовий викид в г/с:

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,704 \cdot 10^6}{330 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,025 \text{ (г/с)},$$

$$M(\text{CO}) = \frac{1,408 \cdot 10^6}{330 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,0494 \text{ (г/с)}.$$

Термопластавтомати обладнанні витяжною вентиляцією з двома джерелами викидів: № 1 – чотири термопластавтомати, № 2 – один термопластавтомат. Валові викиди забруднюючих речовин від джерел викидів наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Валові викиди забруднюючих речовин від термопластавтоматів

Джерело викиду	Валові викиди			
	CH_3COOH		CO	
	т/рік	г/с	т/рік	г/с
Джерело № 1	0,563	0,020	1,126	0,0395
Джерело № 2	0,141	0,005	0,282	0,0099

Вихідні дані для розрахунку викидів забруднюючих речовин від подрібнювача відходів термопластів (джерело № 3):

- режим роботи – 250 днів/рік; 8 год/добу;
- витрати відходів, що переробляються – 880 т/рік;
- питомий викид пилу поліпропілену – 0,7 г/кг матеріалу.

Розрахунок валових викидів (т/рік) забруднюючих речовин, що надходять в атмосферу від подрібнювача відходів термопластів ИРП-450М і пройшли очищення в пилоочисній установці, проводиться за формулою:

$$M = \gamma \cdot B \cdot (1 - \eta) \cdot 10^{-6}, \quad (2.2)$$

де γ – питомі викиди забруднюючих речовин, г/кг матеріалу, що подрібнюється;

B – витрати матеріалу, що подрібнюється, кг/рік;

- коефіцієнт ефективності пиловловлювального обладнання.

Валовий викид пилу поліпропілену становить:

$$M = 0,7 \cdot 880000 \cdot (1 - 0,92) \cdot 10^{-6} = 0,049 \text{ (т/рік)},$$

$$M = \frac{0,049 \cdot 10^6}{250 \cdot 8 \cdot 3600} = 0,0068 \text{ (г/с)}.$$

Валові викиди забруднюючих речовин від ділянки з виробництва пластикової тари наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Валові викиди забруднюючих речовин, що утворюються на ділянці з виробництва пластикової тари

Виробництво, цех	Продукція	Потужність виробництва	Викиди забруднюючих речовин		
			Назва	Валовий викид, т/рік	Питомий викид на одиницю продукції
Виробництво пластикової тари	Пластикові стаканчики	$4,28 \cdot 10^4$ тис. шт./рік	Кислота оцтова	0,704	$2 \cdot 10^{-5}$ т/тис. шт.
			Карбон (II) оксид	1,405	$3 \cdot 10^{-5}$ т/тис. шт.
	Відходи термопластів	880 т/рік	Пил поліпропілену	0,049	$6 \cdot 10^{-5}$ т/т

Вплив на навколишнє середовище забруднюючих речовин оцінюється за їх валовим викидом і токсичністю. Гранично допустимі концентрації

забруднюючих речовин, що утворюються на ділянці з виробництва пластикової тари: робочої зони ($ГДК_{РЗ}$), максимальна разова ($ГДК_{МР}$), середньодобова ($ГДК_{СД}$) та їх клас небезпеки наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Оцінка токсичності забруднюючих речовин, що утворюються на ділянці з виробництва пластикової тари

Код речовини	Назва забруднюючої речовини	$ГДК_{РЗ}$, мг/м ³	$ГДК_{МР}$, мг/м ³	$ГДК_{СД}$, мг/м ³	Клас небезпеки	Обґрунтування (список ГДК або ОБРВ*)
337	Карбон (II) оксид	20	5,0	3,0	4	Список ГДК
1555	Кислота оцтова	5	0,2	0,06	3	Список ГДК
2922	Пил поліпропілену	4	0,1	0,1	4	ОБРВ

*ОБРВ – орієнтовний безпечний рівень впливу шкідливих речовин

З трьох речовин, що викидаються в атмосферне повітря, найбільш небезпечним є аерозоль оцтової кислоти. Наявність пилоочисного обладнання на виробництві суттєво зменшує викиди пилу полімеру.

3.2 Визначення основних характеристик палива та кількості забруднюючих речовин, що утворюються при його спалюванні

Вихідними даними для проведення розрахунків є:

- вид палива, що використовується для отримання теплової або електричної енергії;
- хімічний склад робочого палива;
- потужність установки;
- режим роботи установки.

В розрахунковій частині визначається:

- сухий та горючий склад палива за його відомим робочим складом;
- масовий склад відхідних газів за хімічним складом палива, що спалюється в установках певної потужності.

3.2.1 Основні види палива та його склад

Для отримання енергії використовують горючі речовини, які називають паливом. Паливо поділяється на природне та штучне (табл. 3.1). Останнє отримують після переробки природного палива.

Таблиця 3.1 – Види природного та штучного палива органічного походження

Природне паливо	Штучне паливо
Деревина	Деревне вугілля
Торф	Торф'яний кокс
Буре вугілля	–
Кам'яне вугілля	Кам'яновугільний кокс та напівкокс
Антрацити	Брикети із відходів твердого та рідкого палива
Нафта	Мазут, бензин, гас
Сланці	–
Природний горючий газ	Генераторні гази, доменний газ

Агрегатний стан палива впливає на способи його зберігання, спалювання та транспортування. За агрегатним станом паливо поділяється на тверде (подрібнене та пилоподібне), рідке та газоподібне.

Паливо, що витрачається на спалювання в топках котлів або печей, називається робочим паливом. Хімічний склад робочого палива (у відсотках за масою), який можна визначити хімічним аналізом, відповідає рівнянню:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{\text{л}}^P + A^P + W^P = 100 \%, \quad (3.1)$$

де С – Карбон летких горючих сполук;

Н – Гідроген летких горючих сполук;

О – Оксиген, що знаходиться у паливі;

Н – Нітроген, що знаходиться у паливі;

$S_{\text{л}}$ – Сульфур летких горючих сполук;

А – зола в паливі;

W – волога в паливі;

р – індекс, що визначає робоче паливо.

Вказані елементи не є механічною сумішшю, вони знаходяться в паливі у вигляді складних сполук.

Горючими елементами палива є Карбон, Гідроген та Сульфур летких горючих сполук. Чим більший вміст горючих елементів у паливі, тим вища його теплота згоряння – величина, яка показує кількість тепла, що виділяється при спалюванні 1 кг або 1 м³ палива.

Оксиген, що знаходиться у паливі, тепла не виділяє. Нітроген, що знаходиться у паливі – елемент інертний, в горінні участі не бере. З палива Нітроген у вигляді N₂ надходить у відхідні гази та домішується до азоту повітря, що подається для горіння. При високих температурах азот взаємодіє з киснем повітря і утворюються оксиди нітрогену. Нітроген та Оксиген називають внутрішнім баластом палива на відміну від баласту зовнішнього, до якого відносяться зола та волога.

Зола є негорючою мінеральною частиною палива, до якої входять оксиди силіцію, феруму та алюмінію, а також Сульфур у сполуках CaSO_4 та MgSO_4 .

Загальний Сульфур, що знаходиться в паливі, складається з двох частин – леткої (горючої) та мінеральної (негорючої):

$$S_{\text{ЗАГ}}^{\text{P}} = S_{\text{Л}}^{\text{P}} + S_{\text{М}}^{\text{P}},$$

де $S_{\text{ЗАГ}}^{\text{P}}$ – Сульфур, що знаходиться в паливі;

$S_{\text{Л}}^{\text{P}}$ – Сульфур летких горючих сполук;

$S_{\text{М}}^{\text{P}}$ – мінеральний Сульфур.

Мінеральний Сульфур входить до складу мінеральних негорючих домішок палива, що утворюють після його згоряння золу. Сульфур летких горючих сполук в свою чергу може бути поділений на дві складові:

$$S_{\text{Л}}^{\text{P}} = S_{\text{О}}^{\text{P}} + S_{\text{К}}^{\text{P}},$$

де $S_{\text{О}}^{\text{P}}$ – Сульфур, що входить до органічних сполук палива;

$S_{\text{К}}^{\text{P}}$ – Сульфур у складі колчедану (піриту) FeS_2 , вкрапленого у паливо.

Сульфур у паливі – шкідлива домішка. Продукти, що утворюються при спалюванні сполук, що містять Сульфур, спричиняють корозію елементів котельної установки та забруднення атмосферного повітря.

Волога в паливі також є баластовою домішкою. Її присутність знижує тепловий ефект горіння, оскільки вода, по-перше, зменшує частку горючих елементів в одиниці маси або об'єму палива та, по-друге, при його горінні випаровується і забирає частину тепла реакції.

Для визначення вмісту золи в паливі використовують дані сухого складу палива, який визначають за рівнянням:

$$C^{\text{C}} + H^{\text{C}} + O^{\text{C}} + N^{\text{C}} + S_{\text{Л}}^{\text{C}} + A^{\text{C}} = 100 \%, \quad (3.2)$$

де с – індекс, що визначає сухий склад палива.

Розрахунок викидів забруднюючих речовин при спалюванні палива виконується за сухим складом палива.

Безводно-беззольний склад (склад палива за горючою масою) визначають за рівнянням:

$$C^{\Gamma} + H^{\Gamma} + O^{\Gamma} + N^{\Gamma} + S_{\text{Л}}^{\Gamma} = 100 \%, \quad (3.3)$$

де г – індекс, що визначає безводно-беззольний склад палива.

Рівняння (3.1) може бути подане у вигляді:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{\text{п}}^P = 100 - (A^P + W^P). \quad (3.4)$$

Ліва частина цього рівняння є горючим складом палива, який поданий рівнянням (3.3).

Приклад

За відомим робочим складом палива (таблиця 3.2) визначити сухий та горючий склад палива.

Таблиця 3.2 – Робочий склад палива

Склад палива	C^P	H^P	O^P	N^P	$S_{\text{п}}^P$	A^P	W^P
Масова частка, %	37,4	3,9	19,9	2,0	0,2	6,6	30,0

Перерахунок робочого складу палива на сухий проводять за рівнянням (3.1) у вигляді:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S_{\text{п}}^P + A^P = 100 \% - W^P.$$

Тоді, з урахуванням (3.2), отримують формули для перерахунку:

$$\frac{C^P}{100 - W^P} = \frac{C^C}{100}; \quad (3.5)$$

$$\frac{H^P}{100 - W^P} = \frac{H^C}{100}; \quad (3.6)$$

$$\frac{O^P}{100 - W^P} = \frac{O^C}{100}; \quad (3.7)$$

$$\frac{N^P}{100 - W^P} = \frac{N^C}{100}; \quad (3.8)$$

$$\frac{S_{\text{п}}^P}{100 - W^P} = \frac{S_{\text{п}}^C}{100}; \quad (3.9)$$

$$\frac{A^P}{100 - W^P} = \frac{A^C}{100}. \quad (3.10)$$

За рівняннями (3.5 – 3.10) визначають сухий склад палива.

$$C^C = \frac{37,4 \cdot 100}{100 - 30} = 53,4 \% ; \quad H^C = \frac{3,9 \cdot 100}{100 - 30} = 5,6 \% ;$$

$$O^C = \frac{19,9 \cdot 100}{100 - 30} = 28,4 \% ; \quad N^C = \frac{2,0 \cdot 100}{100 - 30} = 2,9 \% ;$$

$$S^C = \frac{0,2 \cdot 100}{100 - 30} = 0,3 \% ; \quad A^C = \frac{6,6 \cdot 100}{100 - 30} = 9,4 \% .$$

Правильність розрахунків контролюють підстановкою отриманих значень в рівняння (3.1):

$$53,4 + 5,6 + 28,4 + 2,9 + 0,3 + 9,4 = 100 \% .$$

Формули для перерахунку робочого складу палива на горючий отримують, зіставляючи рівняння (3.3) та (3.4):

$$\frac{C^P}{100 - (A^P + W^P)} = \frac{C^{\Gamma}}{100} ; \quad (3.11)$$

$$\frac{H^P}{100 - (A^P + W^P)} = \frac{H^{\Gamma}}{100} ; \quad (3.12)$$

$$\frac{O^P}{100 - (A^P + W^P)} = \frac{O^{\Gamma}}{100} ; \quad (3.13)$$

$$\frac{N^P}{100 - (A^P + W^P)} = \frac{N^{\Gamma}}{100} ; \quad (3.14)$$

$$\frac{S^P_{\text{Л}}}{100 - (A^P + W^P)} = \frac{S^{\Gamma}_{\text{Л}}}{100} . \quad (3.15)$$

За рівняннями (3.11 – 3.15) визначають горючий склад палива.

$$C^{\Gamma} = \frac{37,4 \cdot 100}{100 - (6,6 + 30)} = 58,99 \% ;$$

$$H^{\Gamma} = \frac{3,9 \cdot 100}{100 - (6,6 + 30)} = 6,15 \% ;$$

$$O^{\Gamma} = \frac{19,9 \cdot 100}{100 - (6,6 + 30)} = 31,39 \% ;$$

$$N^{\Gamma} = \frac{2 \cdot 100}{100 - (6,6 + 30)} = 3,15 \% ;$$

$$S_L^r = \frac{0,2 \cdot 100}{100 - (6,6 + 30)} = 0,32 \% .$$

Правильність розрахунків контролюють підстановкою отриманих значень в рівняння (3.3):

$$58,99 + 6,15 + 31,39 + 3,15 + 0,32 = 100 \% .$$

3.2.2 Розрахунок масового складу відхідних газів за хімічним складом палива

Основним продуктом згоряння палива є вуглекислий газ, який є не-токсичною сполукою, проте його накопичення в атмосфері призводить до посилення парникового ефекту. Основними забруднювачами навколишнього середовища при спалюванні палива є оксиди нітрогену, сульфур (IV) оксид та зола.

У наведених нижче прикладах подані розрахунки валових викидів вуглекислого газу та основних забруднювачів довкілля, що утворюються при спалюванні різних видів палива. Розрахунок викидів оксидів нітрогену потребує врахування великої кількості параметрів, які визначаються режимом роботи установки, і в даній КР не проводиться.

Розрахунки викидів при спалюванні твердого та рідкого палива виконують у такій послідовності:

- визначають масу складового компонента палива за його масовою часткою у сухому складі палива:

$$m = w \cdot m_{\text{п}}, \quad (3.16)$$

де m – маса компонента, т;

w – масова частка компонента в сухому складі палива;

$m_{\text{п}}$ – маса палива, що спалюється протягом однієї години, т;

- за рівнянням реакції обчислюють масу газоподібного продукту згоряння палива;

- визначають валовий викид:

$$M = m \cdot 8760, \quad (3.17)$$

де M – валовий викид, т/рік;

8760 – календарна кількість годин у році.

Приклад

Для виробництва на ТЕС 915 МВт енергії необхідно 201 т/год вугілля. Сухий склад вугілля подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Сухий склад вугілля

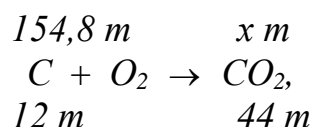
Склад палива	C ^c	H ^c	O ^c	N ^c	S ^c _л	A ^c
Масова частка, %	77,0	3,0	2,05	9,25	1,0	7,7

Обчислити валовий викид (т/рік) CO₂, SO₂ та золи, які утворюються під час спалювання вугілля.

1. За формулою (3.16) розраховують масу Карбону у вугіллі:

$$m(C) = 0,77 \cdot 201 = 154,8 \text{ (т)}.$$

2. За рівнянням реакції визначають масу CO₂.



$$x = \frac{154,78 \cdot 44}{12} = 567,6 \text{ (т)}.$$

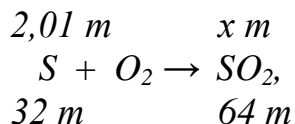
3. За формулою (3.17) визначають валовий викид вуглекислого газу:

$$M(CO_2) = 567,6 \cdot 8760 = 4,97 \cdot 10^6 \text{ (т/рік)}.$$

4. За формулою (3.16) розраховують масу Сульфору у вугіллі:

$$m(S) = 0,01 \cdot 201 = 2,01 \text{ (т)}.$$

5. За рівнянням реакції визначають масу SO₂.



$$x = \frac{2,01 \cdot 64}{32} = 4,02 \text{ (т/год)}.$$

6. За формулою (3.17) визначають валовий викид сульфур (IV) оксиду:

$$M(SO_2) = 4,02 \cdot 8760 = 3,5 \cdot 10^4 \text{ (т/рік)}.$$

7. За формулою (3.16) розраховують масу золи у вугіллі:

$$m(\text{золи}) = 0,077 \cdot 201 = 15,5 \text{ (т)}.$$

8. За формулою (3.17) визначають валовий викид золи:

$$M(\text{золи}) = 15,5 \cdot 8760 = 1,4 \cdot 10^5 \text{ (т/рік)}.$$

При спалюванні природного газу з відомим вмістом вуглеводнів розрахунки виконують у такій послідовності:

- розраховують маси складових компонентів природного газу за формулою (3.16);
- за рівняннями реакцій обчислюють маси основних продуктів згоряння природного газу – вуглекислого газу та водяної пари;
- розраховують загальні маси CO_2 та H_2O (пари);
- визначають валовий викид за формулою (3.17).

Приклад

Для виробництва на ТЕС 915 МВт енергії необхідно 149,3 т/год природного газу. Склад природного газу подано в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Склад природного газу

Склад палива	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	CO_2	N_2
Масова частка, %	98,0	0,2	1,0	0,1	0,1	0,6

Обчислити валовий викид (т/рік) CO_2 та H_2O (пари), які утворюються під час спалювання газу.

1. За формулою (3.16) розраховують маси вуглекислого газу та вуглеводнів в природному газі:

$$m_{\text{вих}}(\text{CO}_2) = 0,001 \cdot 149,3 = 0,15 \text{ (т)},$$

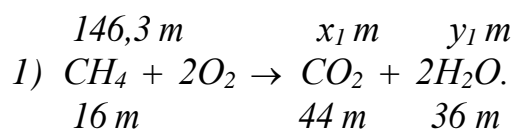
$$m(\text{CH}_4) = 0,98 \cdot 149,3 = 146,3 \text{ (т)},$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_6) = 0,002 \cdot 149,3 = 0,3 \text{ (т)},$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = 0,01 \cdot 149,3 = 1,5 \text{ (т)},$$

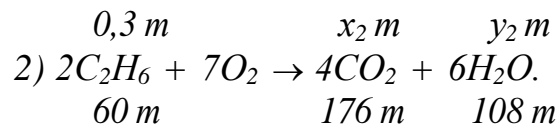
$$m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0,001 \cdot 149,3 = 0,15 \text{ (т)}.$$

2. За рівняннями реакцій обчислюють маси вуглекислого газу та водяної пари.



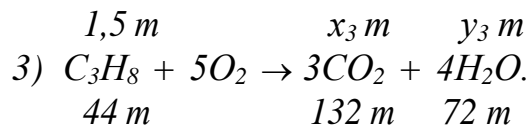
$$x_1 = \frac{146,3 \cdot 44}{16} = 402 \text{ (т)},$$

$$y_1 = \frac{146,3 \cdot 36}{16} = 329 \text{ (т)}.$$



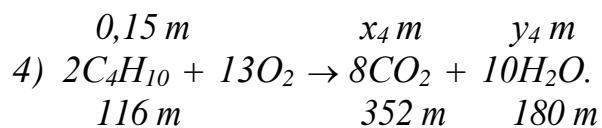
$$x_2 = \frac{0,3 \cdot 176}{60} = 0,88 \text{ (m)},$$

$$y_2 = \frac{0,3 \cdot 108}{60} = 0,54 \text{ (m)}.$$



$$x_3 = \frac{1,5 \cdot 132}{44} = 4,5 \text{ (m)},$$

$$y_3 = \frac{1,5 \cdot 72}{44} = 2,5 \text{ (m)}.$$



$$x_4 = \frac{0,15 \cdot 352}{116} = 0,46 \text{ (m)},$$

$$y_4 = \frac{0,15 \cdot 180}{116} = 0,23 \text{ (m)}.$$

3. Розраховують загальні маси вуглекислого газу та водяної пари:

$$m(CO_2)_{\text{загальна}} = m_{\text{вих}}(CO_2) + x_1 + x_2 + x_3 + x_4,$$

$$m(CO_2)_{\text{загальна}} = 0,15 + 402 + 0,88 + 4,5 + 0,46 = 408 \text{ (m)},$$

$$m(H_2O)_{\text{загальна}} = y_1 + y_2 + y_3 + y_4,$$

$$m(H_2O)_{\text{загальна}} = 329 + 0,54 + 2,5 + 0,23 = 332 \text{ (m)}.$$

4. За формулою (3.17) визначають валовий викид CO_2 та H_2O (пари):

$$M(CO_2) = 408 \cdot 8760 = 3,57 \cdot 10^6 \text{ (m/рік)}.$$

$$M(H_2O) = 332 \cdot 8760 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ (m/рік)}.$$

3.3 Визначення ступеня забруднення атмосферного повітря населених пунктів автотранспортом

Автотранспорт, чисельність якого на вулицях міст і сіл постійно зростає, негативно впливає на самопочуття їх мешканців як прямо, так і опосередковано через шум, забруднення повітря й ґрунтів, ущільнення ґрунтів тощо. Викиди автотранспорту, що містять оксиди карбону, вуглеводні, оксиди сульфуру, сажу, бенз(а)пірен тощо, зумовлюють появу смогів та кислотних дощів. Особливо значне забруднення спостерігається поблизу перехресть вулиць, де автомобілі змінюють швидкість або мотори працюють на холостому ході.

Для визначення ступеня забруднення атмосферного повітря населених пунктів необхідно:

- оцінити завантаженість вулиць автотранспортом;
- визначити концентрацію карбон (II) оксиду як одного з найбільш небезпечних забруднювачів повітря при експлуатації автотранспорту;
- порівняти визначену концентрацію з максимальною разовою гранично допустимою концентрацією СО ($ГДК_{МР}$).

Завантаженість вулиць оцінюють за інтенсивністю руху:

- низька інтенсивність руху (2,7 – 3,6 тис. автомобілів за добу);
- середня інтенсивність руху (8 – 17 тис. автомобілів за добу);
- висока інтенсивність руху (18 – 27 тис. автомобілів за добу).

Інтенсивність руху автотранспорту (N) визначають експериментально на визначеній керівником КР ділянці протягом однієї години і заносять в таблицю 3.5.

Таблиця 3.5 – Інтенсивність руху автотранспорту

Тип автотранспортних засобів	Кількість автомобілів, штук/год
Легкої вантажності (N_1)	
Середньої вантажності (N_2)	
Важкої вантажності (N_3)	
Автобус (N_4)	
Легковий (N_5)	
Разом (N)	

Ступінь забруднення повітря автотранспортом залежить від інтенсивності руху, вантажності машин, кількості та характеру викидів, типу забудови, рельєфу місцевості, напряму і швидкості вітру, вологості і температури повітря (за даними Гідрометцентру).

Вплив різних чинників під час визначення концентрації СО враховує

така формула:

$$C_{CO} = (A + 0,01 \cdot N \cdot K_m) \cdot K_a \cdot K_n \cdot K_c \cdot K_b \cdot K_p, \quad (3.18)$$

де C_{CO} – концентрація CO, мг/м³;

A – фонові концентрації CO в атмосферному повітрі (приймається 0,5 мг/м³);

N – сумарна інтенсивність руху автомобілів на ділянці вулиці (штук/год);

K_m – коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в повітря CO;

K_a – коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості;

K_n – коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря CO в залежності від величини поздовжнього нахилу;

K_c – теж від швидкості вітру;

K_b – теж від вологості повітря;

K_p – коефіцієнт, що враховує збільшення забрудненості атмосферного повітря CO біля перехресть.

Для визначення величин вищеназваних коефіцієнтів при дослідженні інтенсивності руху необхідно зазначити:

- тип місцевості за ступенем аерації;
- поздовжній нахил вулиці (визначається екліметром);
- швидкість вітру (визначається анеометром);
- відносну вологість повітря (визначається психрометром);
- тип перехрестя.

Коефіцієнт токсичності автомобілів визначається для потоку автомобілів за формулою:

$$K_m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{N_i}{N} \cdot K'_m, \quad (3.19)$$

де i – число типів автотранспортних засобів, які зафіксовані на ділянці вулиці протягом однієї години;

K'_m – коефіцієнт, що визначається за таблицею 3.6.

Таблиця 3.6 – Коефіцієнт токсичності автотранспортних засобів

Тип автотранспортних засобів	Коефіцієнт K'_m
Легкої вантажності	0,2
Середньої вантажності	2,9
Важкої вантажності	2,3
Автобус	3,7
Легковий	1,0

Значення коефіцієнта K_a визначається з таблиці 3.7

Таблиця 3.7 – Розподіл територій за ступенем аерації

Тип місцевості за ступенем аерації	Коефіцієнт K_a
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістральні вулиці і дороги з багатоповерховою забудовою з обох боків	1,0
Вулиці та дороги з одноповерховою забудовою	0,6
Міські вулиці та дороги з однобічною забудовою, набережні, естакади, висотні насипи	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

Значення коефіцієнта K_n , що враховує зміни забруднення повітря СО відповідно до величини поздовжнього нахилу вулиці, визначають за таблицею 3.8.

Таблиця 3.8 – Коефіцієнт залежності зміни концентрації СО в повітрі від кута нахилу

Поздовжній нахил, град.	Коефіцієнт K_n
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

Коефіцієнт K_c , що враховує вплив швидкості вітру на вміст СО, визначають за таблицею 3.9.

Таблиця 3.9 – Коефіцієнт залежності вмісту СО в повітрі від швидкості вітру

Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт K_c
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,00

Коефіцієнт K_b наведений в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Коефіцієнт залежності вмісту CO в повітрі від відносної вологості

Відносна вологість повітря, %	Коефіцієнт K_v
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75
40	0,60

Значення коефіцієнта K_n для різних типів перехресть наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Коефіцієнт залежності вмісту CO в повітрі від типу перехрестя

Тип перехрестя	Коефіцієнт K_n
Регульоване:	
світлофорами звичайне	1,8
світлофорами регульоване	2,1
саморегульоване	2,0
Нерегульоване:	
зі зниженою швидкістю	1,9
кільцеве	2,2
з обов'язковою зупинкою	3,0

3.4 Визначення реального хімічного навантаження на людину при забрудненні повітряного середовища

Реальне хімічне навантаження на населення можна розглядати як суму хімічних забруднень, що надходять в організм людини через органи дихання протягом певного періоду часу.

Вихідними даними для виконання розрахунків є:

- час перебування людини у різних умовах T , год;
- забруднюючі речовини у відповідних умовах перебування;
- середньодобова концентрація речовин $C_{сд}$, мг/м³.

Клас небезпеки (КН) та величини ГДК забруднюючих речовин необхідно визначити за нормативними документами, наведеними в переліку основної літератури до даних методичних вказівок. Для виробничого приміщення в розрахунках використовується ГДК робочої зони ($ГДК_{рз}$), для інших умов перебування – ГДК середньодобова ($ГДК_{сд}$).

Загальний показник реального хімічного навантаження S визначається як сума добутків показників хімічного забруднення повітряного середовища в різних умовах на час перебування людини:

$$S = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i, \quad (3.20)$$

де P_i – показник забруднення повітряного середовища (рівень хімічного забруднення повітряного середовища);

t_i – тривалість впливу в частках доби;

n – число різних умов перебування.

Як основні складові сумарного хімічного навантаження для людини приймаються дози забруднення повітря у виробничих приміщеннях, житлових будинках, салонах міського транспорту, атмосферного повітря житлового середовища міста і зон рекреації (паркових і заміських). Таким чином, формулу розрахунку S можна зобразити у вигляді:

$$S = P_{\text{вп}} t_{\text{вп}} + P_{\text{ж}} t_{\text{ж}} + P_{\text{тр}} t_{\text{тр}} + P_{\text{жс}} t_{\text{жс}} + P_{\text{рек}} t_{\text{рек}}, \quad (3.21)$$

де $P_{\text{вп}}$, $P_{\text{ж}}$, $P_{\text{тр}}$, $P_{\text{жс}}$, $P_{\text{рек}}$ – відповідно рівні хімічного забруднення повітряного середовища виробничих приміщень, житлових будинків, салонів міського транспорту, атмосферного повітря житлового середовища міста і місць рекреації;

$t_{\text{вп}}$, $t_{\text{ж}}$, $t_{\text{тр}}$, $t_{\text{жс}}$, $t_{\text{рек}}$ – відповідні частки доби часу, протягом якого людина перебуває під впливом хімічних забруднень, що містяться в повітряному середовищі.

Частка доби розраховується за формулою:

$$t_i = \frac{T_i}{24}, \quad (3.22)$$

де T_i – середня тривалість перебування людини в певних умовах.

Умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища P_i :

$$P = \sqrt[m]{\sum_{i=1}^m K_i^2}, \quad (3.23)$$

де K_i – приведені до 3-го класу небезпеки кратності перевищення ГДК речовин різних класів;

m – число речовин.

Для приведення значень кратностей K_i перевищення ГДК речовин 1, 2 і 4-го класів небезпеки використовуються співвідношення:

$$\text{1-й клас } K_i^{(3)} = k_i^{(1)} \cdot 3^n, \quad n = 2,89 \cdot \lg(k_i^{(1)}), \quad (3.24)$$

$$\text{2-й клас } K_i^{(3)} = k_i^{(2)} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^n, \quad n = 1,55 \cdot \lg(k_i^{(2)}), \quad (3.25)$$

$$\text{4-й клас } K_i^{(3)} = k_i^{(4)} \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^n, \quad n = 1,05 \cdot \lg(k_i^{(4)}), \quad (3.26)$$

де $k_i^{(1)}$, $k_i^{(2)}$ і $k_i^{(4)}$ – значення кратностей перевищення ГДК відповідно для речовин 1, 2 і 4-го класів небезпеки.

Кратність перевищення ГДК, включаючи значення менші одиниці, встановлюється шляхом ділення фактичної концентрації даної речовини на ГДК:

$$k_i = \frac{C}{\text{ГДК}}. \quad (3.27)$$

Наведений нижче приклад містить розрахунок реального хімічного навантаження при перебуванні людини в різних умовах.

Приклад

Вихідні дані для розрахунку реального хімічного навантаження на людину за рахунок забрудненого повітряного середовища наведено в таблиці 3.12. Клас небезпеки та значення гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин визначено за відповідними нормативними документами.

Таблиця 3.12 – Вихідні дані

Умови перебування	T, год	Забруднюючі речовини	$C_{сд}$, мг/м ³	КН	ГДК _{сд} , мг/м ³	ГДК _{рз} , мг/м ³
Виробниче приміщення	8	Стирол	0,001	3	–	10
		Толуол	0,6	3	–	50
		Етилбензол	0,02	3	–	50
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид	0,5	4	1,0	–
		Нітроген (IV) оксид	0,02	2	0,04	–
		Формальдегід	0,001	2	0,003	–
		Бенз(а)пірен	$1,2 \cdot 10^{-6}$	1	$1,0 \cdot 10^{-6}$	–

Частка доби розраховується за формулою (3.22):

– для виробничого приміщення:

$$t_{\text{вп}} = \frac{8}{24} = 0,33;$$

– для житлового середовища:

$$t_{\text{жс}} = \frac{2}{24} = 0,08.$$

Кратність перевищення ГДК розраховано за формулою (3.27):

– для виробничого приміщення:

$$k(\text{стирол}) = \frac{0,001}{10} = 0,0001;$$

$$k(\text{толуол}) = \frac{0,6}{50} = 0,012;$$

$$k(\text{етилбензол}) = \frac{0,02}{50} = 0,0004;$$

– для житлового середовища:

$$k(\text{CO}) = \frac{0,5}{1,0} = 0,5;$$

$$k(\text{NO}_2) = \frac{0,02}{0,04} = 0,5;$$

$$k(\text{формальдегід}) = \frac{0,001}{\frac{0,003}{1,2 \cdot 10^{-6}}} = 0,33;$$

$$k(\text{бенз(а)пірен}) = \frac{1,2 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-6}} = 1,2.$$

За рівняннями (3.24 – 3.26) розраховано значення кратностей перевищення ГДК відповідно для речовин 1, 2 і 4-го класів небезпеки для житлового середовища:

$$K(\text{CO}) = 0,5 \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^{0,32} = 0,46;$$

$$K(\text{формальдегід}) = 0,33 \cdot \left(\frac{3}{4}\right)^{0,75} = 0,45;$$

$$K(\text{бенз(а)пірен}) = 1,2 \cdot 3^{0,23} = 1,54.$$

Для виробничого приміщення перерахунок не проводиться, оскільки всі забруднюючі речовини відносяться до третього класу небезпеки.

Розраховані дані кратностей перевищення ГДК та приведення забруднюючих речовин до 3-го класу небезпеки наведено в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Розраховані дані кратностей перевищення ГДК та приведення забруднюючих речовин до 3-го класу небезпеки

Умови перебування	Частка доби	Забруднюючі речовини	Кратність перевищення ГДК	Приведення до 3-го класу небезпеки
Виробниче приміщення	0,33	Стирол	0,0001	0,0001
		Толуол	0,012	0,012
		Етилбензол	0,0004	0,0004
Житлове середовище	0,08	Карбон (II) оксид	0,5	0,46
		Нітроген (IV) оксид	0,5	0,5
		Формальдегід	0,33	0,45
		Бенз(а)пірен	1,2	1,54

Умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища P_i для всіх умов перебування розраховано за формулою (3.23):

– для виробничого приміщення:

$$P_{\text{вп}} = \sqrt{0,0001^2 + 0,012^2 + 0,0004^2} = 0,012;$$

– для житлового середовища:

$$P_{\text{жс}} = \sqrt{0,46^2 + 0,5^2 + 0,45^2 + 1,54^2} = 1,74.$$

Показник реального хімічного навантаження в різних умовах перебування визначається за формулою (3.20):

– для виробничого приміщення:

$$S_{\text{вп}} = 0,012 \cdot 0,33 = 0,00396;$$

– для житлового середовища:

$$S_{\text{жс}} = 1,74 \cdot 0,08 = 0,1392.$$

Розраховані умовні показники ступеня забруднення повітряного середовища P_i та показники реального хімічного навантаження забруднення повітряного середовища в різних умовах S_i наводяться в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14 – Умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища та показник реального хімічного навантаження в різних умовах

Умови перебування	Умовний показник ступеня забруднення, P_i	Показник реального хімічного навантаження, S_i
Виробниче приміщення	0,012	0,004
Житлове середовище	1,74	0,139

Загальний показник реального хімічного навантаження становить:

$$S = 0,004 + 0,139 = 1,143.$$

Отже, незважаючи на значно менший час знаходження людини у житловому середовищі, умовний показник ступеня забруднення повітряного середовища та показник реального хімічного навантаження для цих умов перебування набагато перевищують аналогічні показники для виробничого приміщення. Це можна пояснити наявністю у повітрі житлового середовища високотоксичного бенз(а)пірену у концентрації, що перевищує ГДК.

Відповідно до номера варіанта, наведеного в індивідуальному завданні, необхідно:

- провести розрахунок реального хімічного навантаження на людину при забрудненні повітряного середовища;
- результати оформити у вигляді таблиць 3.12 – 3.14;
- порівняти показники реального хімічного навантаження при забрудненні повітряного середовища у різних умовах і зробити висновки.

Варіанти завдань наведено в додатку И.

- комісії.

ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Клименко Л. П. Техноекологія: Навчальний посібник. – Сімферополь: Таврія, 2000. – 542 с.
2. Клименко М.О., Залеський І.І. Техноекологія: підручник. – Херсон: ОЛДІ ПЛЮС, 2017 – 348 с.
3. Білявський Г. О., Бутченко Л. І., Навроцький В. М. Основи екології. Теорія та практикум: Навчальний посібник. – К.: Лібра, 2002. – 352 с.
4. Батлук В. А. Основы экологии и охрана окружающей природной среды. – Львов: Афиша, 2001. – 336 с.
5. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Министерство здравоохранения СССР, Всесоюзный совет профессиональных союзов, 1988. – 46 с.
6. Каталог. Нормы предельно допустимых концентраций вредных примесей в атмосферном воздухе: В 2 Ч. – К.: МОЗ України, Український центр державного санітарно-епідеміологічного контролю, 1996. – Ч. 1. – 23 с.; Ч. 2. – 24 с.
7. Нормативи гранично допустимих викидів забруднюючих речовин із стаціонарних джерел: Затв. М-вом охорони навколишнього природного середовища України від 27.06.2006 № 309.
8. Матеріали з впровадження нового механізму регулювання викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря / За ред. С. С. Куруленка. – К.: ДЕІ Мінприроди України, 2007. – 216 с.
9. Бондар О.І., Боголюбов В.М., Дубровський В.П., Войцицький А.П., Мальований М.С., Пилипенко Ю.В., Удод В.М. Техноекологія: навчальний посібник. – Херсон: ОЛДІ ПЛЮС, 2011 – 314 с.
10. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: навчальний посібник. – Львів: Новий світ, – 2000, 2003. – 247с.
11. Промислова екологія: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів, які навчаються за напрямом підготовки "Охорона праці" / В.Л. Филипчук [та ін.]; за ред. В. Л. Филипчука; М-во освіти та науки України, Нац. ун-т водного господарства та природокористування. - Рівне: НУВГП, 2013. - 494 с.
12. Техноекологія: підручник / О.І. Іваненко, Ю.В. Носачова. — Київ: Видавничий дім «Кондор», 2017. — 294 с.

Додаткова

1. Методичні вказівки до оформлення курсових проектів (робіт) у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. Г. Л. Лисенко, А. Г. Буда, Р. Р. Обертюх. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 60 с.
2. Впровадження нового механізму видачі дозвільних документів з викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря / Під ред. С. В. Тре-

тякова. – Донецьк: Державне управління екології та природних ресурсів у Донецькій області, Донецька філія державного закладу “Державний екологічний інститут Мінприроди України”, 2006. – 196 с.

3. Зеркалов Д. В. Експлуатація котельних установок: Довідник. – К.: Техніка, 1992. – 144 с.

4. Ісаєнко В. М., Криворотько В. М., Франчук Г. М. Екологія та охорона природного середовища. Дипломне проектування: Навчальний посібник. – К.: Книжкове видавництво НАУ, 2005. – 192 с.

5. Экология города / Под ред. Ф. В. Стольберга. – К.: Лібра, 2000. – 464 с.

6. Челноков А. А., Ющенко Л. Ф. Основы промышленной экологии: Учебник. – Минск: Вышэйша школа, 2001. – 250 с.

Додаток А

Варіанти завдань для розрахунку реального хімічного навантаження на людину при забрудненні повітряного середовища

Таблиця И.1 – Варіанти завдань

Умови перебування	T, год	Забруднюючі речовини	C _{сд} , мг/м ³
1	2	3	4
<i>Варіант 1</i>			
Виробниче приміщення	8	Стирол Толуол Етилбензол	0,001 0,600 0,020
Житлова площа	10	Амоніак Формальдегід Нафталін	0,035 0,002 0,0035
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний Бенз(а)пірен	1,400 0,070 0,0001 3,0 $1,5 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід Бенз(а)пірен	0,500 0,020 0,001 $1,2 \cdot 10^{-6}$
Місце рекреації	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,050 0,010 0,001
<i>Варіант 2</i>			
Виробниче приміщення	8	Стирол Толуол Ксилол Етилбензол	0,002 0,500 0,180 0,020
Житлова площа	12	Карбон (II) оксид Формальдегід	1,200 0,002
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний	1,410 0,075 0,0002 3,1
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,500 0,020 0,001
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,500 0,010

Продовження таблиці И.1

1	2	3	4
<i>Варіант 3</i>			
Виробниче приміщення	8	Карбон (II) оксид Сірководень Фенол Пил неорганічний	3,580 0,006 0,003 0,450
Житлова площа	12	Карбон (II) оксид	2,500
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець	3,100 0,054 0,0004
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид	2,540
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,500 0,010
<i>Варіант 4</i>			
Виробниче приміщення	8	Амоніак Пил неорганічний	0,065 0,100
Житлова площа	10	Ацетофенон Нафталін Пил неорганічний	0,007 0,0035 0,170
Міський автотранспорт	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Бенз(а)пірен	4,200 0,050 $5,0 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	4	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,300 0,026 0,002
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,030 0,005
<i>Варіант 5</i>			
Виробниче приміщення	8	Карбон (II) оксид Сірководень Пил неорганічний	2,000 0,007 0,450
Житлова площа	12	Карбон (II) оксид Пил неорганічний	2,500 0,20
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Пил неорганічний	3,100 0,054 0,50
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	2,540 0,020
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,500 0,010

Продовження таблиці И.1

1	2	3	4
<i>Варіант 6</i>			
Виробниче приміщення	8	Амоніак Карбон (II) оксид	0,007 0,004
Житлова площа	10	Формальдегід Нафталін	0,002 0,0035
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний Бенз(а)пірен	1,400 0,070 0,0002 3,0 $1,8 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид Формальдегід Бенз(а)пірен	0,500 0,001 $1,0 \cdot 10^{-6}$
Місце рекреації	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,030 0,005
<i>Варіант 7</i>			
Виробниче приміщення	8	Кислота нітратна Сірководень Кислота сульфатна	1,6 0,006 0,7
Житлова площа	12	Карбон (II) оксид	2,500
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний	3,100 0,054 0,0004 0,50
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид	2,540
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,500 0,010
<i>Варіант 8</i>			
Виробниче приміщення	7	Толуол Ксилол Бензол	0,500 0,180 4,45
Житлова площа	13	Карбон (II) оксид Формальдегід	1,200 0,002
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний	1,400 0,070 0,0002 3,0
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,500 0,020 0,001
Місце рекреації	1	Нітроген (IV) оксид	0,010

Продовження таблиці И.1

1	2	3	4
<i>Варіант 9</i>			
Виробниче приміщення	8	Ацетон Толуол Ксилол	95,0 0,600 0,165
Житлова площа	10	Амоніак Формальдегід Нафталін	0,035 0,002 0,0035
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний Бенз(а)пірен	1,400 0,070 0,0001 3,0 $1,5 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід Бенз(а)пірен	0,500 0,020 0,001 $1,2 \cdot 10^{-6}$
Місце рекреації	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,050 0,010 0,001
<i>Варіант 10</i>			
Виробниче приміщення	8	Амоніак Натрій сульфат Калій нітрат	0,007 8,25 3,25
Житлова площа	10	Сірководень Формальдегід Нафталін	0,007 0,002 0,0035
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний Бенз(а)пірен	1,400 0,070 0,0002 3,0 $1,8 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід Бенз(а)пірен	0,500 0,020 0,001 $1,0 \cdot 10^{-6}$
Місце рекреації	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,030 0,005

Продовження таблиці И.1

1	2	3	4
<i>Варіант 11</i>			
Виробниче приміщення	8	Кислота оцтова Натрій хлорид	3,45 0,8
Житлова площа	10	Ацетофенон Пил неорганічний	0,007 0,170
Міський автотранспорт	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Пил неорганічний Бенз(а)пірен	4,200 0,050 3,0 $5,0 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	4	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,300 0,026 0,002
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид	0,030
<i>Варіант 12</i>			
Виробниче приміщення	8	Карбон (II) оксид Сірководень Пил неорганічний	2,000 0,010 0,463
Житлова площа	12	Карбон (II) оксид Пил неорганічний	2,500 0,20
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний	3,100 0,054 0,0004 0,50
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	2,540 0,020
Місце рекреації	1	Нітроген (IV) оксид	0,010
<i>Варіант 13</i>			
Виробниче приміщення	6	Карбон (II) оксид Сірководень Пил неорганічний	2,000 0,010 0,463
Житлова площа	10	Карбон (II) оксид Пил неорганічний	2,500 0,20
Міський автотранспорт	3	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний	3,100 0,054 0,0004 0,50
Житлове середовище	3	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	2,540 0,020
Місце рекреації	2	Нітроген (IV) оксид	0,010

Продовження таблиці И.1

1	2	3	4
<i>Варіант 14</i>			
Виробниче приміщення	8	Ацетон Толуол Ксилол	98,5 0,600 0,165
Житлова площа	10	Амоніак Формальдегід	0,035 0,002
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний Бенз(а)пірен	1,400 0,070 0,0001 3,0 $1,5 \cdot 10^{-6}$
Житлове середовище	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,500 0,020 0,001
Місце рекреації	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,050 0,010 0,001
<i>Варіант 15</i>			
Виробниче приміщення	8	Стирол Толуол Ксилол	0,002 0,550 0,180
Житлова площа	12	Карбон (II) оксид Формальдегід	1,200 0,002
Міський автотранспорт	2	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Свинець Пил неорганічний	1,410 0,075 0,0002 3,0
Житлове середовище	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид Формальдегід	0,550 0,020 0,001
Місце рекреації	1	Карбон (II) оксид Нітроген (IV) оксид	0,500 0,010

