Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури
Кафедра охорони праці та безпеки життєдіяльності

03-10-106М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних завдань і самостійної роботи з навчальної дисципліни

«Теорія горіння та вибуху»

для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» всіх форм навчання

Рекомендовано науково-методичною радою з якості ННІБА
Протокол № 3 від 19.12.2023 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних завдань і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Теорія горіння та вибуху» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона праці» спеціальності 263 «Цивільна безпека» всіх форм навчання. [Електронне видання] / Кусковець С. Л. – Рівне : НУВГП, 2023. – 18 с.

Укладач: Кусковець С. Л., канд. техн. наук, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Відповідальний за випуск: Кухнюк О. М., канд. техн. наук, доцент, в.о. завідувача кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Керівник групи забезпечення спеціальності 263 «Цивільна безпека»: Шаталов О. С., канд. с-г. наук, доцент кафедри охорони праці та безпеки життєдіяльності.

© С. Л. Кусковець, 2023
© Національний університет водного господарства та природокористування, 2023

ВСТУП

Розуміння механізму процесів виникнення, розповсюдження та припинення горіння і вибуху лежить в основі знань фахівців цивільної безпеки задля недопущення пожеж та вибухів на підконтрольних суб'єктах господарювання.

Предметом вивчення навчальної дисципліни «Теорія горіння та вибуху» є теоретичні знання про горіння й вибух, їх класифікацію, закономірності умов виникнення, розповсюдження і припинення процесу горіння, а також практичні навички складання рівнянь горіння речовин, методів розрахунку матеріального і енергетичного балансів процесів горіння, теплоти і температури горіння, тиску вибуху, основних показників пожежної небезпеки речовин і матеріалів.

Результатами навчання, які набувають здобувачі вищої освіти вивчаючи дану дисципліну є:

визначати горючість речовин та матеріалів за їх хімічним складом, оцінювати вплив концентрації оксигену, карбону та вміст інших компонентів на колір полум'я;

знати порядок написання рівнянь реакції горіння речовин та визначати стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння;

визначати матеріальний баланс процесів горіння індивідуальних хімічних речовин, складних хімічних сполук, сумішей газів і стехіометричну концентрацію речовин;

визначати енергетичний баланс горіння індивідуальних хімічних речовин та складних хімічних сполук через вищу та нижчу теплоти згоряння речовин;

визначати адіабатичну температуру горіння, тиск насиченої пари, ступінь пожежовибухонебезпеки речовин;

визначати температуру спалаху, температуру спалахування (займання), концентраційні та температурні межі поширення полум'я, клас і розряд легкозаймистих речовин;

визначати максимальний тиск вибуху парів речовини;

визначати параметри пожеж на певних періодах їх розвитку, питому витрату та теоретично необхідну інтенсивність подачі води та мінімальну флегматизуючу концентрацію вогнегасних речовин.

Вивчення навчальної дисципліни «Теорія горіння та вибуху» передбачає наявність систематичних та ґрунтовних знань із навчальної дисципліни «Хімія», цілеспрямовану роботу над вивченням спеціальної літератури, нормативної документації, активну роботу на лекціях, практичних заняттях, самостійну роботу.

1. Загальні положення

Структура навчальної дисципліни передбачає виконання практичних занять загальним обсягом 20 годин.

Практичні заняття є завершальним етапом вивчення лекційного матеріалу і дають можливість набути навичок і вмінь за тематикою однієї чи кількох лекції. Тематика практичних занять та їхня послідовність відображає структуру лекційного матеріалу навчальної дисципліни.

Підготовка до кожного практичного заняття передбачає попереднє повторення відповідного теоретичного матеріалу з конспекту лекцій або самостійне вивчення цього матеріалу з рекомендованих навчальних чи інформаційних джерел.

Завдання для виконання практичного заняття видається індивідуально для кожного здобувача вищої освіти.

Оцінювання виконання практичних завдань (% від максимально можливої оцінки):

0% – завдання не виконано;

40% – завдання виконано частково та містить суттєві помилки методичного або розрахункового характеру;

60% – завдання виконано повністю, але містить суттєві помилки у розрахунках або в методиці;

80% – завдання виконано повністю і вчасно, проте містить окремі несуттєві недоліки (розмірності, висновки, оформлення тощо);

100% – завдання виконано правильно, вчасно і без зауважень.

Форма звіту з виконаних практичних завдань довільна, і має містити таку структуру:

- номер та тема практичного завдання;
- індивідуальний варіант завдання;
- виконання практичної частини з вказанням одиниць вимірювання та розмірностей визначених фізичних величин;
- відповідь.

Здобувач вищої освіти заочної форми навчання виконує практичні завдання під час настановної сесії.

2. Практичні завдання

Практичне заняття 1

Визначення горючості та кольору дифузійного полум'я речовин

Результат навчання: визначати горючість речовин та матеріалів за їх хімічним складом, оцінювати вплив концентрації оксигену, карбону та вміст інших компонентів на колір полум'я;

Короткі теоретичні відомості

Для визначення горючості речовини вводять безрозмірний коефіцієнт горючості (***K***) (*формула Еллея*).

При визначенні горючості речовин і матеріалів відповідно до коефіцієнту горючості, за межу горючості прийнята величина ***1***.

Вважають, що якщо ***K≤ 1*** – речовина негорюча, а при ***K>1*** – горюча.

Для визначення кольору полум'я горючої речовини, що горить у повітрі, достатньо визначити відсотковий вміст у ній карбону та оксигену. Якщо полум'я яскраве, з кіптявою, то речовина має великий запас горючих

компонентів, і перш за все карбону, а при горінні виділяє більше тепла, ніж та, що має менше карбону, але більше оксигену.

Порядок визначення горючості речовини та кольору полум'я наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 2

Складання рівнянь реакції горіння речовин

Результат навчання: знати порядок написання рівнянь реакції горіння речовин та визначати стехіометричний коефіцієнт кисню в реакції горіння.

Короткі теоретичні відомості

Продукти згоряння, що утворюються в результаті реакції горіння речовин:

Горюча речовина	Продукти згоряння
Карбон *C*	Карбон діоксид CO_2
Гідроген *H*	Вода H_2O
Сульфур *S*	Сульфур діоксид SO_2
Фосфор *P*	Фосфорний ангідрид P_2O_5
Силіцій *Si*	Силіцій діоксид SiO_2
Метал	Оксид металу
Нітроген *N*	Молекулярний азот N_2
Галогени *F, Cl, Br, J*	Галогеноводні *HF, HCl, HBr, HJ*

Загальне рівняння реакції горіння речовини записують у вигляді

$$\textit{горюча речовина} + \beta(O_2 + 3{,}76\ N_2) = \textit{продукти згоряння},$$

де *β – стехіометричний коефіцієнт* у рівнянні реакції (кількість молів повітря, що необхідні для повного згоряння горючої речовини).

Порядок написання рівнянь реакції горіння речовин та визначення стехіометричного коефіцієнта кисню наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 3

Розрахунок матеріального балансу процесів горіння

Результат навчання: визначати матеріальний баланс процесів горіння індивідуальних хімічних речовин, складних хімічних сполук, сумішей газів і стехіометричну концентрацію речовин.

Короткі теоретичні відомості

Матеріальний баланс процесу горіння представляє собою розрахунок відповідної кількості початкових компонентів, що приймають участь у процесі горіння і кінцевих продуктів горіння, що утворились внаслідок хімічних реакцій. Цей баланс складається на основі *закону збереження маси*. Дотримання умов матеріального балансу означає, що загальна маса компонентів хімічної реакції залишається незмінною.

Розрахунок матеріального балансу процесу горіння зводиться до визначення об’єму повітря, що необхідний для згоряння горючої речовини та визначення об’єму продуктів згоряння, що утворилися при цьому.

Порядок визначення матеріального балансу горіння індивідуальних хімічних речовин, складних хімічних сполук, сумішей газів і стехіометричної концентрації речовин наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 4

Розрахунок теплоти згоряння (енергетичного балансу) процесів горіння

Результат навчання: визначати енергетичний баланс горіння індивідуальних хімічних речовин та складних хімічних сполук через вищу та нижчу теплоти згоряння речовин.

Короткі теоретичні відомості

Кількість тепла, що виділяється в результаті хімічної реакції горіння, називають *тепловим ефектом* реакції горіння.

Теплотою згоряння називається кількість тепла, що виділяється при згорянні одиниці маси речовини з утворенням продуктів повного згоряння.

Залежно від способу вираження маси речовини розрізняють *стандартну Q кДж/моль* (молярну), *масову Q' кДж/кг* та *об'ємну Q° кДж/м*^{3} теплоту згоряння речовини.

Залежно від виділення теплоти і утворення рідкої і газоподібної води, розрізняють *вищу та нижчу теплоти згоряння* речовини.

Теплота згоряння тісно пов'язана з таким поняттям як *теплота утворення* ΔH^0, що виділяється при утворенні одного моля сполук горючих речовин.

Відповідно до *закону Гесса*, тепловий ефект реакції горіння визначається як різниця теплоти утворення кінцевих (продуктів горіння) та початкових компонентів системи (горючої речовини), і не залежить від проміжних стадій та шляху, яким проходить вказаний процес.

Порядок визначення енергетичного балансу процесів горіння індивідуальних хімічних речовин та складних хімічних сполук через вищу та нижчу молярну, масову та об'ємну теплоти згоряння речовин наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 5

Розрахунок адіабатичної температури горіння та тиску насиченої пари, концентрації пари та ступінь пожежовибухонебезпечності речовин

Результат навчання: визначати адіабатичну температуру горіння, тиск насиченої пари, ступінь пожежовибухонебезпеки речовин.

Короткі теоретичні відомості

Горючі речовини мають різну теплотворну здатність, тому температура на пожежах залежить не лише від кількості речовини, що горить, але й від її складу. Максимальна температура, до якої нагріваються продукти згоряння, називається *температурою горіння*. Розрізняють *калориметричну, адіабатичну, теоретичну* та *дійсну* температуру горіння.

Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів – сукупність властивостей, що характеризують їхню здатність до виникнення і поширення горіння. Наслідком горіння, залежно від його швидкості та умов протікання, можуть бути пожежа або вибух.

Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів визначають показниками, вибір яких залежить від агрегатного стану речовини (матеріалу), та умов їхнього застосування.

Порядок визначення адіабатичної температури горіння, тиску насиченої пари та ступінь пожежовибухонебезпеки речовин наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 6

Визначення температури спалаху, температури спалахування, концентраційних та температурних меж

поширення полум'я, класу і розряду вибухопожежонебезпеки речовин

Результат навчання: визначати температуру спалаху, температуру спалахування, концентраційні та температурні межі поширення полум'я, клас і розряд легкозаймистих речовин.

Короткі теоретичні відомості

Показники пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів визначають з метою отримання даних для розробки систем забезпечення пожежної безпеки і вибухобезпеки.

Температура спалаху – найменша температура конденсованої речовини, за якої в умовах спеціальних випробувань над її поверхнею утворюються випари, здатні спалахувати в повітрі від джерела запалювання; стійке горіння при цьому не виникає.

Залежно від температури спалаху, рідини поділяють на *легкозаймисті* (ЛЗР) та *горючі* (ГР).

Температура займання – найменша температура речовини (матеріалу), за якої в умовах спеціальних випробувань речовина виділяє горючі випари і гази з такою швидкістю, що під час дії на них джерела запалювання спостерігається займання.

Температура самозаймання – найменша температура довкілля, за якої в умовах спеціальних випробувань спостерігається самозаймання речовини (матеріалу).

Нижня (верхня) концентраційна межа поширення полум'я – мінімальний (максимальний) вміст горючої речовини в однорідній суміші з окислювальним середовищем, під час якого можливе поширення полум'я по суміші на будь-яку відстань від джерела запалювання.

Температурні межі поширення полум'я – такі значення температури речовини, за яких його насичена пара утворює в окислювальному середовищі концентрації,

рівні відповідно до нижньої (нижня температурна межа) та верхньої (верхня температурна межа) концентраційних меж поширення полум'я.

Порядок визначення температури спалаху, температури спалахування (займання), концентраційні та температурні межі поширення полум'я, клас і розряд легкозаймистих речовин наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 7

Визначення максимального тиску при вибуху парів речовини

Результат навчання: визначати максимальний тиск вибуху парів речовини.

Короткі теоретичні відомості

Вибух – це надзвичайно швидке хімічне або фізичне перетворення речовин, що супроводжується виділенням великої кількості теплової енергії, газів, як наслідок, різким зростанням тиску і виникнення ударної (вибухової) хвилі, що в результаті призводить до травмування людей, виникнення пожеж та руйнування конструкцій.

До параметрів тиску вибуху, що враховуються при характеристиці речовин та матеріалів, відносять максимальний тиск вибуху і швидкість його наростання.

Під *максимальним тиском вибуху* розуміють найбільший тиск, який виникає при дефлаграційному згорянні найбільш пожежовибухонебезпечної газо-, паро-, пилоповітряної суміші у замкнутій посудині при її початковому тискові 101,3 кПа.

Порядок визначення максимального тиску вибуху парів речовини наведено у [2].

Література [1, 2].

Практичне заняття 8

Визначення геометричних параметрів розвитку пожежі, питомої витрати та теоретично необхідної інтенсивності подачі води та мінімальної флегматизуючої концентрації азоту на гасіння речовин

Результат навчання: визначати параметри пожеж на певних періодах їх розвитку, питому витрату та теоретично необхідну інтенсивність подачі води та мінімальну флегматизуючу концентрацію вогнегасних речовин.

Короткі теоретичні відомості

Пожежа – позарегламентний процес знищування або пошкоджування вогнем майна, під час якого виникають чинники, небезпечні для живих істот і довкілля.

Під динамікою пожежі розуміють зміну основних параметрів пожежі в часі і просторі. Розрізняють кругову, прямокутну та кутову форми розвитку пожежі.

Одним із основних параметрів пожежі, є її *площа* $S_п$ ($м^2$). *Площею пожежі* називають площу проекції зони горіння на горизонтальну або вертикальну площину.

Під поняттям гасіння пожежі розуміють припинення горіння у всіх його видах і формах, та створення умов для попередження повторного відновлення горіння.

Лінійна швидкість поширення полум'я $V_л$ – це швидкість поширення полум'я поверхнею горючого матеріалу, тобто відстань, яку проходить фронт горіння за одиницю часу. Залежить цей параметр від природи горючої речовини і ступеня її подрібненості, початкової температури, умов газообміну.

Пожежогасіння – це дії, спрямовані на припинення горіння у вогнищі пожежі, обмеження впливу небезпечних чинників пожежі та усунення умов для її самочинного повторення.

Під поняттям гасіння пожежі перш за все розуміють припинення горіння у всіх його видах і формах, та

створення умов для попередження повторного відновлення горіння. Тобто, *гасіння вогню* – це фізична та (або) хімічна дія на вогонь задля припинення горіння.

Основні *принципи припинення горіння*:

✓ охолодження зони горіння або речовини, що горить до певних температур;

✓ розбавлення речовин – учасників реакції горіння, тобто зниження їх концентрації (як горючої речовини, так і окисника);

✓ ізоляція реагуючих речовин (горючого або окисника) від зони горіння;

✓ хімічне гальмування (інгібування) швидкості хімічних реакцій горіння.

Для припинення горіння необхідна достатня кількість вогнегасної речовини. У практичних розрахунках для визначення необхідної кількості вогнегасної речовини для припинення горіння використовують інтенсивність її подачі.

Порядок визначення параметрів пожеж на певних періодах їх розвитку, питомої витрати та теоретично необхідної інтенсивності подачі води і мінімальної флегматизуючої концентрації вогнегасних речовин наведено у [2].

Література [1, 2, 3].

3. Вказівки до виконання самостійної роботи

Самостійна робота здобувача полягає у опрацюванні окремих тем навчальної дисципліни їх частин, які не викладаються на лекційних заняттях.

3.1. Рекомендовані теми самостійної роботи

№ з/п	Назва питання	Література
1	Теплота вибуху та порядок її визначення	1, 4, 12
2	Експериментальні та розрахункові методи визначення концентраційних меж	1, 2, 4, 12, 13

	поширення полум'я. Фактори, що впливають на них	
3	Залежність температури і мінімальної енергії запалювання від різних чинників	1, 2, 4, 12,13
4	Вплив складу суміші і її початкової температури на швидкість розповсюдження полум'я	1, 2, 4, 12, 13
5	Максимальний тиск при вибуху конденсованих вибухових речовин	1, 2, 4, 12, 13
6	Безпечна відстань за дією ударної хвилі в повітрі	9, 12, 13
7	Вимоги безпеки під час користування вогнегасниками	1, 7, 14

3.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи здобувача вищої освіти денної і заочної форм навчання є складання письмового звіту за вказаними темами, який виконується у вигляді окремого звіту.

Здача звіту про самостійну роботу відбувається через начальну платформу Moodle і є підтвердженням виконання студентом навчальної програми дисципліни.

Звіт оформлюється на стандартному аркуші паперу формату А4 (210х297) з одного боку. Поля: праве – 10 мм, верхнє, нижнє, ліве - 20 мм.

Звіт складається з плану, основної частини, списку використаної літератури та додатків (при необхідності).

Об'єм тексту – до 20 сторінок. Схеми, таблиці, рисунки розміщуються за текстом, або подаються у додатках.

На титульній сторінці звіту має бути зазначена назва навчального закладу, кафедри, назва роботи, навчальна група, прізвище здобувача та викладача і рік виконання.

4. Питання гарантованого рівня знань

1. Що таке екзотермічні та ендотермічні реакції?

2. Як змінюється швидкість реакції горіння із збільшенням температури?

3. Які ви знаєте види горіння? Поясніть їх суть та особливості.

4. Полум'я, структура, види. Від чого залежить забарвлення полум'я?

5. Поняття температури горіння, її види та порядок визначення.

6. Якими основними параметрами характеризується пожежовибухонебезпека речовин та матеріалів?

7. Поясніть суть температур спалаху, спалахування, займання, самозаймання, температурних меж спалахування.

8. Як класифікують тверді речовини і матеріали, гази та рідини?

9. Концентраційні межі спалахування та їх суть.

10. Як класифікується пил за пожежовибухонебезпекою?

11. Які умови необхідні для виникнення горіння?

12. Назвіть умови самозагоряння і самозаймання.

13. В чому полягає суть процесів теплового, мікробіологічного та хімічного самозаймання?

14. В чому полягає суть процесу запалювання?

15. Поясніть суть теплової теорії поширення полум'я.

16. Поясніть суть дифузійної теорії поширення полум'я.

17. У чому полягають особливості горіння газів, рідин, твердих речовин та пилу?

18. Яким параметрами характеризується розвиток пожежі?

19. Як класифікують пожежі?

20. Назвіть небезпечні фактори пожежі та їх граничні параметри.

21. Як впливає пожежне навантаження на розвиток пожежі?

22. Які особливості розвитку внутрішніх пожеж?

23. Види вибухів та умови їх виникнення.
24. Види вибухів та умови їх виникнення.
25. Назвіть умови та ознаки вибуху газо-, пароповітряної суміші.
26. Ударні хвилі й особливості їх виникнення та поширення.
27. Які Ви знаєте способи припинення горіння?
28. Назвіть принципи припинення горіння.
29. Вогнегасні речовини та їх класифікація.
30. Поясніть механізм дії вогнегасних речовин охолоджуючої, ізолюючої, розбавляючої та інгібуючої дії.

5. Список використаної літератури

1. Кусковець С. Л., Шаталов О. С., Турченюк В. О. Основи теорії горіння та вибуху : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2012. 374 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/eprint/2156/ (дата звернення: 19.10.2023).
2. Кусковець С. Л., Шаталов О. С. Теорія горіння та вибуху. Практикум : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2012. 213 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/eprint/1802/ (дата звернення: 19.10.2023).
3. Кусковець С. Л., Шаталов О. С., Кусковець А. С. Пожежна безпека виробництва. Лабораторний практикум : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 96 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/eprint/2322/ (дата звернення: 19.10.2023).
4. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення. URL: https://cutt.ly/7nzvrfo (дата звернення: 02.10.2023).
5. ДСТУ 8829:2019 Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: https://cutt.ly/jnzc6PM (дата звернення: 02.10.2023).
6. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. URL:

http://otipb.at.ua/load/dstu_2272_2006_ssbp_pozhezhna_bezpeka_termini_ta_viznachennja_osnovnikh_ponjat/23-1-0-3895 (дата звернення: 19.10.2023).

7. ДСТУ EN 2:2014 Класифікація пожеж. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=63091 (дата звернення: 19.10.2023).

8. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні. URL: http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15 (дата звернення: 19.10.2023).

9. НПАОП 0.00-1.67-13 Технічні правила ведення вибухових робіт на денній поверхні. URL: https://dnaop.com/html/32392_10.html (дата звернення: 19.10.2023).

10. НПАОП 0.00-7.08-07 Вимоги технічної безпеки до місць зберігання вибухових матеріалів промислового призначення. URL: https://dnaop.com/html/1556/doc-НПАОП_0.00-7.08-07 (дата звернення: 19.10.2023).

11. НПАОП 0.00-1.66-13 Правила безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення. URL: https://dnaop.com/html/32387/doc-НПАОП_0.00-1.66-13 (дата звернення: 19.10.2023).

12. Лавренюк О. І., Баланюк В. М. Теорія розвитку та припинення горіння : навчальний посібник. Львів, 2007. 126 с.

13. Єлагін Г. І., Шкарабура М. Г., Кришталь М. А., Тищенко О. М. Основи теорії розвитку і припинення горіння. Черкаси, 2001. 448 с.

14. Наказ МВС України №25 від 15.01.2018 Правила експлуатації та типові норми належності вогнегасників. URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE31677.html (дата звернення: 19.01.2019).

6. Інформаційні ресурси

1. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту. URL: https://idundcz.dsns.gov.ua/.

2. CTIF International Association of Fire and Rescue Services. URL: https://www.ctif.org/

3. Наукова бібліотека НУВГП. URL: http://nuwm.edu.ua/naukova-biblioteka (інформаційні ресурси у цифровому репозиторії).

4. Журнал «Охорона праці і пожежна безпека». URL: http://oppb.com.ua.

5. Журнал «Надзвичайна ситуація +». URL: https://ns-plus.com.ua.