

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

О.Ю. Светкіна, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова

РЕАКЦІЇ РОЗКЛАДУ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Методичні рекомендації

до самостійного вивчення теми з дисципліни «Хімія»
студентами всіх спеціальностей

Дніпропетровськ
2016

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра хімії

О.Ю. Светкіна, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова

РЕАКЦІЇ РОЗКЛАДУ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Методичні рекомендації

до самостійного вивчення теми з дисципліни «Хімія»
студентами всіх спеціальностей

Дніпропетровськ
НГУ
2016

Светкіна О.Ю.

Реакції розкладу вибухових речовин. Методичні рекомендації до самостійного вивчення теми з дисципліни «Хімія» студентами всіх спеціальностей / О.Ю. Светкіна, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2016. – 19 с.

Автори:

О.Ю. Светкіна, д-р техн. наук, доц.;

О.Б. Нетяга, ст. викл.;

Г.В. Тарасова, асист.

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 6.040103 «Геологія» (протокол № 5 від 18.01.2016) за поданням кафедри хімії (протокол № 4 від 09.02.2016).

У методичних рекомендаціях описано ознаки промислових вибухових речовин, подано їхню класифікацію, розглянуто фізичні та хімічні властивості, кисневий баланс.

Відповідальна за випуск завідувач кафедри хімії, д-р техн. наук, доц.
О.Ю. Светкіна

ВСТУП

Видобуток корисних копалин зумовлений необхідністю відокремлення від масиву гірської породи шматків таких розмірів, які були б зручними для навантаження і подальшого транспортування гірничої маси. Слабкі гірські породи можуть відділятися від масиву за допомогою різноманітних гірничих машин, а більш міцні – ефективно добуватися у значних об'ємах в основному за рахунок енергії вибуху вибухових речовин (ВР).

У майбутньому підвищення техніко-економічних показників усіх технологічних процесів гірничодобувної промисловості значною мірою пов'язано з удосконаленням існуючих і створенням нових методів і засобів ведення підричних робіт, оскільки, наприклад, трудомісткість підготовки вибуху на відкритих гірничих роботах досягає 30 – 40 % загальної трудомісткості видобутку, а при проведенні робіт підземним способом питома вага буропідричних робіт зростає до 50 – 70 %.

Підричні роботи є складним комплексом пов'язаних між собою операцій: вибір методу підричних робіт; вибір вибухових матеріалів, які включають вибухові речовини (ВР) і засоби вибуху; розробка схем розміщення зарядів; визначення величини кожного заряду; встановлення засобу і послідовності вибуху та ін. Тому гірничий інженер повинен одержати необхідні знання, щоб на практиці правильно проводити підричні роботи з дотриманням відповідних правил техніки безпеки.

1. ВИБУХОВІ РЕЧОВИНИ

Вибуховими речовинами (ВР) називаються такі хімічні системи, які під впливом певного імпульсу можуть зі значною швидкістю переходити в інші системи з утворенням газів і виділенням тепла, яке нагріває газу до високої температури, що викликає розвиток надзвичайно високого тиску в місці розташування ВР.

Вибухові хімічні системи можуть являти собою:

1. Газові суміші (метан + повітря, ацетилен + кисень).
2. Суміші твердих або рідких речовин з газами (вугільний, деревний пил + повітря, суміш нафта + повітря).
3. Рідкі суміші (нітробензол + нітратна кислота).
4. Суміші твердих і рідких компонентів (динаміти: рідкий нітрогліцерин + селітра).
5. Оксиліквіти (рідкий кисень + тверде пальне).
6. Тверді вибухові сполуки або суміші (тринітротолуол, амоніти).

На практиці використовують дві останні групи, причому найбільше розповсюдження одержали тверді вибухові сполуки або суміші.

Усі ВР – хімічно малостійкі системи, які під впливом деякого зовнішнього імпульсу прагнуть до переходу в більш стійкій стан.

До сучасних промислових ВР ставляться такі вимоги:

- Достатня потужність, що забезпечує необхідний руйнівний ефект.
- Простота й безпека виготовлення.
- Зручність і безпека при використанні.
- Сталість властивостей.
- Безвідмовність дії при достатньому початковому імпульсі.
- Однорідність дії при вибуху.
- Порівняно мала вартість.

Для зручності оцінювання сили вибуху різних вибухових речовин існує поняття «тротиловий еквівалент».

Тротиловий еквівалент – міра енерговиділення високоенергетичних подій, яка виражається в кількості тринітротолуолу (ТНТ), що виділяє при вибуху таку ж саму кількість енергії.

Таким чином тротиловий еквівалент вибухових речовин являє собою коефіцієнт, який показує у скільки разів сильніша чи слабша дана речовина в порівнянні з тротилом.

Питома енергія вибухового розкладання тринітротолуолу залежно від умов проведення вибуху варіює в діапазоні 980-1100 кал/г. Для порівняння різних видів ВР умовно прийняті значення 1000 кал/г або 4184 Дж/г, похідними величинами яких є:

1 грам тринітротолуолу виділяє 1000 термохімічних калорій, або 4184 джоулів;

1 кілограм ТНТ = $4,184 \cdot 10^6$ Дж;

1 тонна ТНТ = $4,184 \cdot 10^9$ Дж;

1 кілотонна (кт) ТНТ = $4,184 \cdot 10^{12}$ Дж;

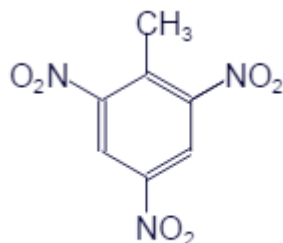
1 мегатонна (Мт) ТНТ = $4,184 \cdot 10^{15}$ Дж;

1 гігатонна (Гт) ТНТ = $4,184 \cdot 10^{18}$ Дж.

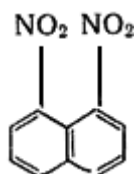
Ці одиниці використовуються для оцінки енергії, що виділяється при ядерних вибухах, підривах хімічних вибухових пристроїв, падіннях астероїдів і комет, вибухах вулканів та ін.

3. Нітросполуки:

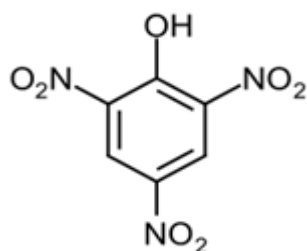
– тротил $C_6H_2(ONO_2)_3CH_3$



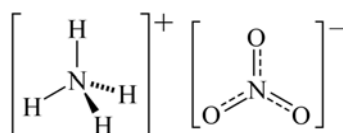
– динітронафталін $C_{10}H_6(ONO_2)_2$,



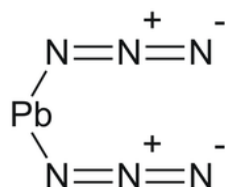
– пікринова кислота $C_6H_2(ONO_2)_3OH$,



4. Солі нітратної кислоти: аміачна селітра NH_4NO_3

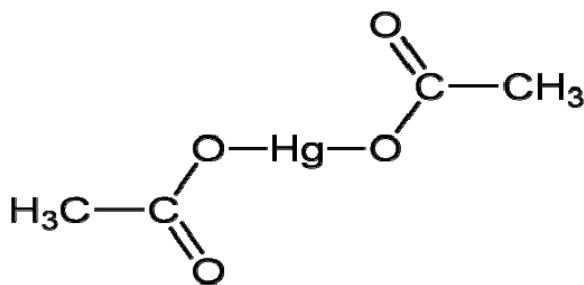


5. Солі нітридної кислоти: азид свинцю $Pb(N_3)_2$



Ці солі поміщаються у детонатори як первинний снаряд, вони також застосовуються у детонуючих шнурах у суміші з бризантними ВР («бризантність» – здатність ВР під час вибуху подрібнювати та пробивати середовища, прилеглі до заряду ВР. Вона обумовлена ударною дією продуктів детонації).

6. Солі гримучої кислоти, з яких широко відома гримуча ртуть $\text{Hg}(\text{CNO})_2$.



2.2. Вибухові суміші

Вибухові суміші містять у собі всі ВР, що представляють систему із двох або декількох сполук як вибухових, так і невибухових, які хімічно не пов'язані між собою. До цього класу належать: динаміти, амоніти, оксиліквіти, динамони та інші ВР, які відомі у гірництві.

Усі промислові ВР можуть бути поділені на шість груп залежно від своєї природи або від складових компонентів, що надають їм характерні властивості:

- аміачноселітрові ВР (амоніти і динаміти);
- нітрогліцеринові;
- нітропохідні ароматичного ряду;
- на основі рідкого кисню (оксиліквіти);
- хлоратні;
- чорний (димний) порох.

Найважливіші – ВР перших двох груп.

2.2.1. Аміачноселітрові ВР

Аміачна селітра (амонійна) з емпіричною формулою NH_4NO_3 є носієм кисню. Кількості його вистачає для окиснення пального (водню) самої селітри, а також залишається надлишок:

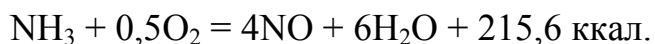


Одержують селітру синтетичним шляхом:

1 стадія – синтез аміаку з водню й азоту



2 стадія – окиснення аміаку до нітроген (II) оксиду з поглинанням його водою

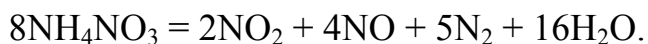


Отриманий нітроген (II) оксид окиснюється в нітроген (IV) оксид для одержання нітратної кислоти, що надалі реагує з аміаком і утворює амоній нітрат NH_4NO_3 (аміачну селітру):



Аміачна селітра – сипкий, кристалічний порошок білого кольору, дуже гігроскопічний, легко розчиняється у воді з поглинанням великої кількості тепла.

Сумарна реакція розкладу аміачної селітри при вибуху найімовірніше протікає за рівнянням:



Наведене рівняння характеризує вибух чистої селітри, тобто коли є надлишковий кисень. У сумішах селітри з речовинами, що мають нестачу кисню (амоніти і динамони), розклад при вибуху відбувається в напрямку використання кисню селітри для окиснення горючих елементів, що є в наявності у надлишку в другому компоненті суміші.

Аміачна селітра, що не містить домішок, у нагрітому стані не загоряється, тому що для реакції розкладу потрібна більша кількість тепла, ніж та, що виділяється при реакції (сумарний процес розкладу при температурах менше 260°C проходить з поглинанням тепла), тому аміачну селітру використовують для приготування ВР у сумішах (амоніти, динамони, ігданіти).

Амонітами називаються механічні суміші аміачної селітри з нітропохідними ароматичного ряду (тротил, динітронафталін), що не містять нітроефірів. Часто в таких сумішах міститься деяка кількість целюлозних матеріалів (деревне борошно, борошно бавовняної макухи), що одночасно служать і як розпушувачі, і як пальне. Теплота вибуху амонітів від 2,1 до 8,4 Мдж/кг (від 500 до 2000 ккал/кг). Амоніти порівняно з іншими вибуховими речовинами мають малу чутливість до механічних дій (удар, тертя), високу хімічну стійкість, відносну безпеку у виробництві та зберіганні; недоліки: гігроскопічність, низька водостійкість, здатність до злежування.

Динамонами називаються механічні суміші аміачної селітри з невибуховими паливними твердими домішками (борошно із соснової кори, торф, вижимки тощо). Основні властивості динамонів подібні до властивостей амонітів при деякій незначній відмінності – динамони більш водостійкі ніж амоніти.

Ігданітами називається гранульована амонійна селітра, насичена рідкими паливними домішками (нафта, дизельне паливо тощо) у кількості до 6% від маси селітри.

2.2.2. Нітрогліцеринові ВР

Нітрогліцеринові ВР відрізняються присутністю в їх сполуках нітрогліцерину й розділяються на динаміти і низькопроцентні нітрогліцеринові ВР.

Вміст нітрогліцерину в динаміті коливається від 40 до 93%, а в низькопроцентних нітрогліцеринових ВР – від 11 до 30 %.

Основні властивості нітрогліцеринових ВР визначаються властивостями їх головного компонента – нітрогліцерину, а також нітрогліколю, який додається для зниження температури замерзання суміші. Нітрогліцерин $C_3H_5(ONO_2)_3$ є продуктом нітрації триатомного спирту – гліцерину, який отримують етерифікацією гліцерину сумішшю концентрованої нітратної та сульфатної кислот. Процес змішування кислот можна виразити наступною реакцією:



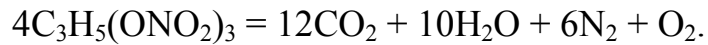
Рівняння етерифікації гліцерину азотною кислотою в присутності сірчаної кислоти можна записати наступним чином:



Нітрогліцерин у чистому вигляді являє собою безбарвну прозору рідину маслянистої консистенції, схильну до переохолодження; технічний продукт має слабе жовтувате забарвлення. Він змішується з органічними розчинниками, майже не розчиняється у воді, швидко розкладається лугами, гідролізується при нагріванні з водою до 80 °С . Нітрогліцерин токсичний, всмоктується через шкіру, викликає головний біль. Температура спалаху близько 200 °С. Теплота вибуху 6,535 МДж/кг. Температура вибуху 4110 °С. Густина 1,595 г/мл, в твердому вигляді – 1,735 г/мл.

Нітрогліцерин містить у собі великий запас схованої енергії, що досить швидко звільняється під впливом тертя, удару або при швидкому нагріванні.

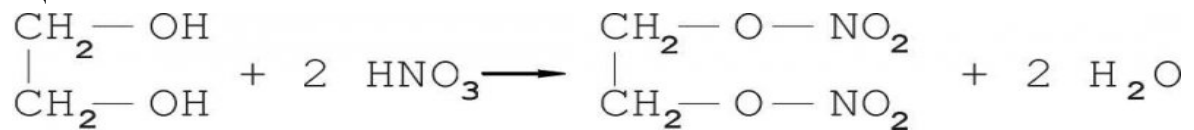
При вибуху нітрогліцерин повністю розкладається на газоподібні продукти, утворюючи вільний кисень:



Тонкий шар нітрогліцерину надзвичайно легко детонує від удару залізом по залізу, залізом по каменю, порцеляною по порцеляні й т.п.

Нітрогліколь $\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$, або динітрогліколь, є продуктом нітрації двоатомного спирту – гліколю і являє собою безбарвну прозору рідину з густиною 1,496 г/мл при температурі 15°C, $t_{\text{пл}} - 20$ °C. Нітрогліколь важко розчинний у воді, але добре змішується з органічними розчинниками. Теплота вибуху 6,8 МДж/кг.

Нітрогліколь отримують нітрацією етиленгліколю нітруючою сумішшю за реакцією:



При детонації нітрогліколь розкладається на вуглекислий газ, воду та азот:

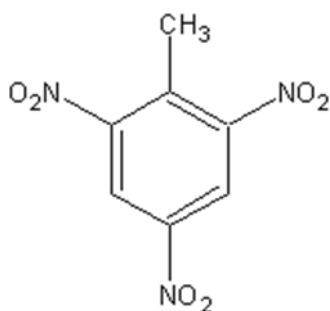


У хімічному відношенні нітрогліколь більш стійкий, ніж нітрогліцерин. Нітрогліколь надзвичайно чутливий до початкового імпульсу й так само як і нітрогліцерин вибухає від будь-якого теплового та механічного впливу. Чутливий до удару, тертя, вогню, іскри, являє собою складову частину нітрогліцеринових вибухових речовин, що використовується для зниження температури замерзання. Нітрогліколь токсичний.

Динамітами називаються суміші нітрогліцерину $\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2)_3$ [у чистому вигляді або в суміші з нітрогліколем $\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2$] з калієвою (KNO_3), натрієвою (NaNO_3), іноді аміачною (NH_4NO_3) селітрами, з добавками деревного борошна й стабілізаторів.

2.2.3. Нітропохідні ароматичного ряду

Тротил (тринітротолуол) $\text{C}_6\text{H}_2(\text{ONO}_2)_3\text{CH}_3$ – це одна з найбільш поширених бризантних вибухових речовин. Він являє собою жовтувату кристалічну речовину з температурою плавлення 80,85 °C (плавиться в дуже гарячій воді), температурою спалаху 290 °C і густиною 1654 кг/м³. Теплота вибуху тротилу становить 4228 кДж/кг, він менш чутливий до тертя й нагрівання, ніж багато інших вибухових речовин, наприклад, динаміт, і спалахує тільки при температурі 290 °C, тому може бути відносно безпечно нагрітий до температури плавлення. Графічна формула тринітротолуолу має вигляд:



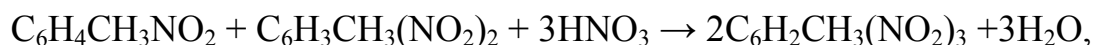
Він являє собою продукт нітрації толуолу, що отримують у дві стадії.

Перша стадія – нітрування толуолу сумішшю нітратної та сульфатної кислот:



сульфатна кислота використовується як водопоглинальний агент.

Друга стадія – суміш отриманих моно- і динітротолуола нітрують нітратною кислотою в присутності олеуму:



олеум використовується як водопоглинальний агент. Надлишок кислоти від другої стадії можна використовувати для першої.

2.2.4. Оксиліквіти

Оксиліквіти – вибухові суміші, що складаються із рідкого кисню та твердого горючого поглинача. Як пально застосовуються різні вуглецевміщуючі речовини, що мають поглинаючу властивість. До них належать деревне вугілля, сажа, деревне та пробкове борошно, мох, торф та деякі синтетичні речовини (карбен, або купрен – продукт полімерізації ацетилену).

Маючи у своєму складі рідкий кисень, що швидко випаровується (температура кипіння – 183 °С), оксиліквіти являють собою фізично нестійкі ВР; їх бризантна й фугасна дії через випаровування кисню швидко зменшуються до нуля. Природа поглинача обумовлює також і вибухові властивості оксиліквітів. Замінюючи поглинач, можна отримати цілу серію ВР, починаючи з металюного, сталого за дією димного порошу, та закінчуючи сильними бризантними. Оксиліквіт на основі берилію – одна з найпотужніших вибухових речовин, що відомі на сьогодні.

До оксиліквітів можна віднести й вибухові речовини на основі рідкого озону чи його суміші з рідким киснем, але практичного застосування такі суміші не мають у зв'язку з дорожнечею і нестійкістю озону, однак, при

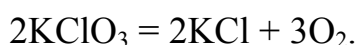
необхідності створення надпотужних вибухових речовин, існує можливість застосування такого варіанту.

Основними позитивними якостями оксиліквітів є необмежена сировинна база та незначна вартість.

2.2.5. Хлоратні ВР

Хлоратні ВР це вибухові речовини на основі калій хлорату $KClO_3$ (бертолетової солі). Крім окисника вони містять горючі добавки: тверді (парафін) та рідкі (гас та ін.). Хлоратні ВР чутливі до удару, тертя та вогню. Мають порівняно високу бризантність. Вибухове перетворення цих сумішей являє собою реакцію окиснення, що протікає дуже швидко (десятитисячні частки секунди). Необхідною умовою для перебігу реакції з такою величезною швидкістю є досить тісне зіткнення частинок пального і окиснювача між собою, що може бути досягнуто подрібненням і змішуванням складових частин суміші. При цьому реакція протікає тим швидше, чим тонше подрібнення компонентів суміші і чим тісніше вони змішані.

Хлорат калію багатий киснем і здатний легко віддавати його при вибуху:

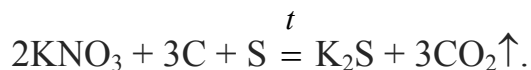


Отже, усі суміші калій хлорату з горючими речовинами, узятими в певних співвідношеннях, є вибуховими.

2.2.6. Чорний порох

Основними компонентами **чорного (димного) пороху** є калій нітрат, сірка й деревне вугілля; калій нітрат є окиснювачем (сприяє швидкому горінню), деревне вугілля – паливом, а сірка – додатковим компонентом (також як і вугілля, що є паливом у реакції, вона через невисоку температуру запалення поліпшує спалахуваність). Звичайно порохові суміші мають такий склад: 75 % KNO_3 (калієва селітра) 15 % С (деревне вугілля) і 10 % S (сірка).

Димний порох легко запалюється під дією полум'я й іскри, (температура спалаху 300 °С), тому в зберіганні небезпечний. Він гігроскопічний, при вмісті вологи понад 2% погано запалюється. Процес виробництва димних порохів передбачає змішування тонкоподрібнених компонентів й обробку отриманої порохової м'якоті до одержання зерен заданих розмірів. Побічним продуктом згоряння є сульфатна й сульфітна кислоти. Реакцію горіння димного пороху має наступний вигляд:



Ефективність горіння димного порошу багато в чому пов'язана зі ступенем подрібнювання компонентів, повнотою змішування й формою зерен у готовому продукті.

3. КИСНЕВИЙ БАЛАНС І ЙОГО ЗНАЧЕННЯ. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИБУХОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ВР

Вибухове перетворення всіх сучасних промислових ВР засноване на окисненні горючих елементів (вуглецю й водню). Окиснювачем служить кисень, що у тій або іншій формі обов'язково вводиться до складу кожного ВР.

Крім того, до складу молекули вибухової хімічної сполуки входить азот, що зв'язує кисень.

Вибухові суміші, якими є всі сучасні промислові ВР, складаються не менше, ніж з двох компонентів. Одним із цих компонентів повинна бути речовина, що містить у надлишку горючі елементи (С і Н), а інший компонент повинен містити надлишковий кисень.

Як носій кисню в сучасні промислові ВР вводиться аміачна селітра. Іноді до складу ВР включаються з тією ж метою інші види селітри (натрієва, калієва і кальцієва), а також хлорат калію й натрію, перхлорат калію й амонію тощо.

Головною характеристикою будь-якої ВР є її кисневий баланс.

3.1. Кисневий баланс ВР

Кисневий баланс ($K_{\bar{o}}$) – це відношення маси надлишку чи нестачі кисню у вибуховій речовині для повного окиснення горючих елементів до молярної маси ВР

$$K_{\bar{o}} = \frac{m_{\kappa}}{M_{BP}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де m_{κ} – маса кисню у ВР, г; M_{BP} – молярна маса ВР, г/моль.

Якщо склад ВР записати у вигляді елементної формули



то для кисневого балансу цієї ВР у відповідності з (1) отримуємо формулу

$$K_{\bar{o}} = \frac{\left[c - \left(2a + \frac{b}{2} + \frac{3}{2}d \right) \right] \cdot 16}{M_{BP}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

де 16 – атомна маса Оксигену, г/моль.

У залежності від надлишку чи нестачи кисню розрізняють ВР з нулевим, негативним чи позитивним кисневим балансом.

Кисневий баланс вважається **нульовим**, якщо кількість кисню у складі ВР дорівнює тій кількості, котра потрібна для повного окиснення усіх горючих елементів даної ВР, тобто $c = 2a + b/2 + 3d/2$.

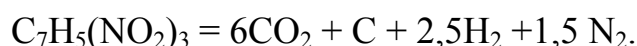
Наявність нульового кисневого балансу прослідковується на прикладі реакції вибухового перетворення нітрогліколю:



при цьому утвориться вуглекислий газ, пара води і зв'язаний азот.

Якщо кількість кисню у складі ВР недостатня для повного окиснення, то **кисневий баланс** зветься **від'ємним** ($c < 2a + b/2 + 3d/2$).

Реакція вибухового перетворення при від'ємному кисневому балансі йде з утворенням карбон (II) оксиду й іноді з виділенням елементарного вуглецю, що видно на прикладі хімічного перетворення тротилу:



Кисневий баланс є **додатним**, якщо у складі ВР є надлишок кисню ($c > 2a + b/2 + 3d/2$).

При додатному кисневому балансі реакція відбувається з виділенням вільного кисню, що видно із вибухового перетворення нітрогліцерину:

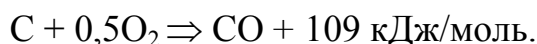


Числові значення кисневого балансу деяких ВР та їх компонентів наведені у табл.1.

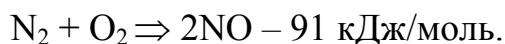
Кисневий баланс ВР та їх компонентів

Речовина	Хімічна формула	К ₆ , %
Аміачна селітра	NH ₄ NO ₃	+ 20
Калієва селітра	KNO ₃	+ 39,6
Натрієва селітра	NaNO ₃	+ 47
Калій хлорат	KClO ₃	+ 39,2
Натрій хлорат	NaClO ₃	+ 45
Калій перхлорат	KClO ₄	+ 46,2
Натрій перхлорат	NaClO ₄	+ 52,2
Борошно деревне	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₀	- 137
Борошно злаків	C ₁₅ H ₂₂ O ₁₁	- 132
Клітковина	C ₆ H ₁₀ O ₅	- 118,5
Парафін	C ₂₄ H ₅₀	- 346
Динітронафталін	C ₆ H ₁₀ (NO ₂)	- 139,4
Вуглець	C	- 266,7
Тротил	C ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ CH ₃	- 74
Тен	C(CH ₂ ONO ₂) ₄	- 10,1
Тетрил	C ₆ H ₂ (NO ₂) ₄ NCH ₃	- 47,4
Нітроглицерін	C ₃ H ₅ (ONO ₂) ₃	+ 3,5
Динітрогліколь	C ₂ H ₄ (ONO ₂) ₂	0
Гексоген	(CH ₂ NNO ₂) ₃	+ 21,6
Гримуча ртуть	Hg(CNO ₂) ₂	- 11,3
Алюміній	Al	- 89

Кисневий баланс має велике практичне значення. ВР з нульовим кисневим балансом вибухають з максимальним виділенням енергії. Окрім того, залежно від величини додатного або від'ємного кисневого балансу при вибуху ВР утворюється значна кількість тих чи інших отруйних газів. При нестачі кисню утворюється карбон (II) оксид, хімічна реакція при цьому відбувається з меншим виділенням енергії:



При надлишку кисню утворюється нітроген (II) оксид, і хімічна реакція супроводжується поглинанням енергії:



3.2. Реакції вибухового перетворення ВР

Рівняння реакцій вибухового перетворення ВР мають важливе значення: по-перше, за рівнянням вибухового розкладу можливо визначити кількість енергії, що виділяється; по-друге, за цим рівнянням підбирають рецептуру ВР для вибухових робіт у підземних умовах. Рівняння перетворення для окремих ВР наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Рівняння вибухового розкладу ВР

Тип ВР	Реакція розкладу	K_6 , %
Аміачна селітра	$2\text{NH}_4\text{NO}_3 \Rightarrow 2\text{N}_2 + \text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	+ 20
Тротил	$2\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3 \Rightarrow 3\text{N}_2 + 7\text{C} + 7\text{CO} + 5\text{H}_2\text{O}$	- 74
Тен	$\text{C}(\text{CH}_2\text{ONO}_2)_4 \Rightarrow 2\text{N}_2 + 2\text{CO} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	- 10,1
Тетрил	$2\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_4\text{NCH}_3 \Rightarrow 5\text{N}_2 + 3\text{C} + 11\text{CO} + 5\text{H}_2\text{O}$	- 47,4
Нітрогліцерін	$\text{C}_3\text{H}_5(\text{ONO}_2) \Rightarrow 6\text{N}_2 + \text{O}_2 + 12\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$	+ 3,5
Динітрогліколь	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{ONO}_2)_2 \Rightarrow \text{N}_2 + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0
Гексоген	$(\text{CH}_2\text{NNO}_2)_3 \Rightarrow 3\text{N}_2 + 3\text{CO} + 3\text{H}_2\text{O}$	- 21,6

З огляду на рівняння вибухового розкладу ВР розподілені на три групи:

1) ВР з кількістю кисню, достатньою для повного окислення горючих елементів;

2) ВР з кількістю кисню, недостатньою для повного згорання, але достатньою для повного газоутворення;

3) ВР з кількістю кисню, недостатньою для повного газоутворення.

До першої групи відносяться ВР, для яких виконується умова

$$c \geq 2a + b/2 + 3d/2. \quad (4)$$

До цієї групи відносяться, наприклад, нітрогліцерін, нітрогліколь, нітродігліколь, а також більшість промислових сумішних ВР.

Відношення ВР до другої та третьої групи визначається за умов

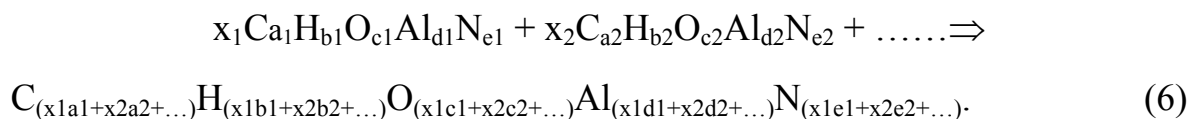
$$c < 2a + b/2 + 3d/2. \quad (5)$$

Різниця між другою та третьою групами полягає у тому, що у результаті вибухового розкладу ВР другої групи повністю перетворюються у гази, а продукт вибуху ВР третьої групи, окрім газів, містять тверді речовини (найчастіше вільний вуглець у вигляді сажі).

Таким чином, продукти вибуху ВР другої групи можуть складатися з продуктів повного окиснення (H_2O , CO_2), продуктів неповного окиснення (CO) та елементарних газів (N_2 , H_2). Прикладом такого вибухового розкладу є тен. Одним з представників ВР третьої групи є тротил (див. табл. 2).

3.3. Розрахунок співвідношення компонентів у сумішній ВР за заданою величиною кисневого балансу

Склад сумішньої ВР у загальному випадку записують у вигляді



За отриманою умовною елементною формулою (6) записують вираз (3) для кисневого балансу, задаються величиною умовної молярної маси (звичайно приймають, що $M_{\text{ВР}} = 1000$ г/моль), та величиною одного з коефіцієнтів x_1 або x_2 . Зазвичай невідомим залишається коефіцієнт компонента з надлишком кисню, котрий і розраховують.

Для визначення складу двокомпонентної ВР із *нульовим кисневим балансом*, у котрій одна речовина має нестачу кисню, а друга – надлишок, приймаємо коефіцієнт для компонента з нестачею кисню $x_1 = 1$ (один моль). Оскільки кисневий баланс прийнятий нульовим, то чисельник формули (3) дорівнює нулю. Таким чином отримуємо таке рівняння для визначення кількості молів компонента з надлишком кисню x_2 :

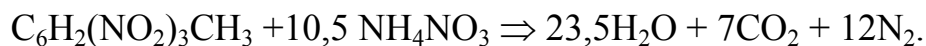
$$x_2 [c_2 - (2a_2 + b_2/2 + 3d_2/2)] = -[c_1 - (2a_1 + b_1/2 + 3d_1/2)] \quad (7)$$

Наприклад, для двокомпонентної ВР, яка складається з аміачної селітри і тротилу, для повного окиснення одного молю тротилу $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$ киснем аміачної селітри NH_4NO_3 необхідно x_2 її молів. Робимо розрахунок відповідно до (7), коли $d_1 = d_2 = 0$, тоді:

$$x_2 [3 - (2 \cdot 0 + 4/2 + 3 \cdot 0/2)] = -[6 - (2 \cdot 7 + 5/2 + 3 \cdot 0/2)];$$

$$x_2 = 10,5.$$

Таким чином рівняння вибухового розкладу такої ВР має вигляд:



У процентному співвідношенні склад цієї ВР визначають так:

– вміст тротилу

$$\Delta_T = \frac{M_T}{10,5 M_{\text{A.C.}} + M_T} \cdot 100\% = \frac{227}{10,5 \cdot 80 + 227} \cdot 100\% = 21,275\%,$$

де $M_T = 227$ г/моль – молярна маса тротилу; $M_{\text{A.C.}} = 80$ г/моль – молярна маса аміачної селітри;

– вміст аміачної селітри

$$\Delta_{\text{A.C.}} = 100\% - \Delta_T = 100\% - 21,275\% = 78,725\%.$$

З промислових ВР наближені до цього складу амоніт N 6ЖВ і грамоніт 79/21. Обидві ВР містять по 79% аміачної селітри та 21% тротилу. Ці ВР мають невеликий додатний (0,4%) кисневий баланс.

Питання для самоперевірки

1. Дати визначення поняття «вибухова речовина».
2. Що називають тротиловим еквівалентом?
3. За якими ознаками класифікують ВР?
4. Як класифікують ВР за хімічним складом?
5. Чим відрізняються амоніти від динамонів?
6. Які вибухові хімічні сполуки використовуються в промисловості?
7. Як отримують аміачну селітру?
8. Що таке кисневий баланс ВР?
9. Який кисневий баланс ВР вважається нульовим?
10. Що можна визначити за рівнянням вибухового розкладу ВР?

Перелік рекомендованих посилань

1. Симанович Г.А. Руйнування гірських порід вибухом: навч. посіб./ Г.А. Симанович, В.П. Мелехов; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпропетровськ; НГУ, 2003. – 116 с.
2. Викторов С.Д., Демидюк Г.П. Простейшие взрывчатые вещества // Вестн. АН СССР. – 1985. – № 7. – С. 102– 111.
3. Дубнов Л.В. Промышленные взрывчатые вещества / Л.В. Дубнов, Н.С. Бахаревич, А.И. Романов. – М. : Недра, 1988. – 358 с.

Светкіна Олена Юріївна
Нетяга Ольга Борисівна
Тарасова Ганна Володимирівна

РЕАКЦІЇ РОЗКЛАДУ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН

Методичні рекомендації

до самостійного вивчення теми з дисципліни «Хімія»
студентами всіх спеціальностей

Видано в авторській редакції

Підписано до друку 14.04.2016. Формат 30x42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,1.
Обл.-вид. арк. 1,2. Тираж 20 пр. Зам. №

ДВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. Д. Яворницького, 19.