

ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДЕТОНАЦІЇ КОМПОЛАЙТІВ – БЕЗТРОТИЛОВИХ ВИБУХОВИХ СУМІШЕЙ

І. В. Косьмін, інж. (ЗАТ „Техновибух”)

Приведены результаты анализа расчетных детонационных параметров новых безтритиловых взрывчатых составов – комполайтов, разработанных в ЗАО «Техновзрыв». Показано, что скорость и давление реальной детонации уменьшаются с увеличением содержания в смеси ваты полимера в виде однозначной функции при соответствующем уменьшении содержания порошка железорудного концентрата.

Для сучасного стану використання енергії вибуху, зокрема при руйнуванні твердих гірських порід у кар'єрах, характерним є прискорений пошук нових вибухових речовин (ВР) і нових методів їх застосування з метою підвищення їх техніко-економічної ефективності та забезпечення стабільної технологічної та екологічної безпеки, а також охорони праці робітників. Так, на сьогодні розроблені та впроваджуються ВР місцевого приготування [1–3]. Порівняно з промисловими ВР заводського виготовлення вони дешевші і пункти їх приготування максимально наближені до місць проведення вибухів.

У працях [1, 3] викладені результати досліджень окремих механічних і фізико-хімічних властивостей безтритилових вибухових сумішей – комполайтів, розроблених ЗАТ „Техновибух”, які забезпечують можливість механізації їх приготування та заряджання, регулювання об'ємної концентрації енергії вибуху, зменшення виходу негабаритних фракцій, зниження вартості руйнування порід.

У праці [4] наведено результати аналізу термодинамічних характеристик комполайтів – фугасної і дефлаграційної теплот, їх співвідношення, температури, питомого об'єму і початкового тиску залежно від вмісту в суміші вати полімеру (ВП), залізорудного концентрату (ЗРК) і кисневого коефіцієнта α_k . Однак цих даних недостатньо для повної характеристики вибухових сумішей. У зв'язку з цим дослідимо детонаційні параметри безтритилових сумішевих вибухових речовин.

Розрахунок параметрів детонації складів ВР, що містять невибухові горючі і негорючі компоненти, із неповним виділенням тепла в детонаційній хвилі утруднений, оскільки потребує знання кінетики розкладання компонентів і вторинних реакцій у хвилі.

У літературі описані відносно прості методи розрахунку швидкості детонації ВР [5–8]. Проте більшість методів розрахунку стосуються високощільних індивідуальних ВР. Методи Мартина–Яллона, М. Камлета, І. Н. Айзенштадта [8] не можуть бути застосовані до досліджуваних нами складів, оскільки розроблені для ВР, загальну емпіричну формулу яких можна подати у вигляді

$C_cH_HO_ON_N$ (де індекси С, Н, О і N означають число атомів вуглецю, водню, кисню та азоту відповідно).

У праці [7] для сумішей, що складаються з ВР і органічних домішок, пропонується розраховувати швидкість детонації за формулою

$$D_{cm} = D_p + \Delta D, \quad (1)$$

де D_p – швидкість детонації ВР при її номінальній щільності; D_{cm} – швидкість детонації суміші; ΔD – зміна швидкості детонації внаслідок введення домішки,

$$\Delta D = 1,5B^{1,74} \left(\frac{\beta_m}{\rho_d} \right) \exp \left[-27(1,7 - \rho_d)^2 \right] \quad (2)$$

або

$$\Delta D = kB \rho_0 \rho_d \beta_m, \quad (3)$$

або

$$\Delta D = 0,1B^2 \rho_0 \rho_d \beta_m, \quad (4)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від параметра B ; $B = N/M$ (N – число атомів у молекулі домішки; M – молекулярна маса домішки); β_m – масова частка домішки в суміші; ρ_0 – щільність суміші; ρ_d – щільність домішки.

Більшість дослідників дійшли висновку, що залежність швидкості детонації від щільності ВР може бути описана лінійною залежністю

$$D_p = A + B\rho_0 \quad (5)$$

або, по М. А. Куку [9],

$$D_2 = D_1 + M(\rho_2 - \rho_1), \quad (6)$$

де D_1 і D_2 – швидкості детонації при щільності ρ_2 і ρ_1 ; M – розмірний коефіцієнт.

Як усереднений коефіцієнт М. А. Кук рекомендує приймати значення $M = 3500$, І. Н. Айзенштадт – для ВР із загальною формулою $C_aH_bO_cN_d$ $c < a + \frac{b}{2} - 300$, при $a + \frac{b}{2} < c < 2a + \frac{b}{2} - 3500$ при $c > 2a + \frac{b}{2} - M = 4000$. Для аміачної

селітри, що складає основу комполайтів, $c > 2a + \frac{b}{2}$. Тоді приймаємо $M = 4000$.

Приймаємо також, що для аміачної селітри $D_1 = 2200$ м/с при $\rho_1 = 900$ кг/м³.

Тоді з урахуванням формул (1) і (6) запишемо вираз для розрахунку швидкості детонації комполайтів у вигляді

$$D = 2200 + 4000(\rho_0 - 0,9) + \sum \Delta D, \quad (7)$$

де $\sum \Delta D$ – сумарна зміна швидкості детонації суміші внаслідок введення в її склад різноманітних домішок.

$$\sum \Delta D = \Delta D_{дт} + \Delta D_{вп} + \Delta D_{зрк}, \quad (8)$$

де $\Delta D_{\text{ДГ}}, \Delta D_{\text{ВП}}, \Delta D_{\text{ЗПК}}$ – зміна швидкості детонації суміші внаслідок введення в її склад відповідно рідкого нафтопродукту, вати полімеру і залізорудного концентрату.

У свою чергу

$$\Delta D_{\text{ЗПК}} = \Delta D_{\text{Fe}_2\text{O}_3} + \Delta D_{\text{FeO}} + \Delta D_{\text{SiO}_2}, \quad (9)$$

де $\Delta D_{\text{Fe}_2\text{O}_3}, \Delta D_{\text{FeO}}, \Delta D_{\text{SiO}_2}$ – зміна швидкості детонації, що відповідає основним компонентам залізорудного концентрату.

Відповідно до виразу (4) маємо:

$$\Delta D_{\text{ДГ}} = 0,1 \cdot \frac{36}{170} \cdot 90 \cdot \rho_0 \cdot m_{\text{ДГ}} = 19,059 \rho_0 \cdot m_{\text{ДГ}};$$

$$\Delta D_{\text{КВ}} = 0,1 \cdot \frac{19}{113} \cdot 70 \cdot \rho_0 \cdot m_{\text{КВ}} = 1,117 \rho_0 \cdot m_{\text{КВ}};$$

$$\Delta D_{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 0,1 \cdot \frac{5}{160} \cdot 2000 \cdot \rho_0 \cdot 0,6 \cdot m_{\text{ЗПК}} = 3,75 \rho_0 \cdot m_{\text{ЗПК}};$$

$$\Delta D_{\text{FeO}} = 0,1 \cdot \frac{2}{72} \cdot 2000 \cdot \rho_0 \cdot 0,3 \cdot m_{\text{ЗПК}} = 5,556 \rho_0 \cdot m_{\text{ЗПК}};$$

$$\Delta D_{\text{SiO}_2} = 0,1 \cdot \frac{3}{60} \cdot 2000 \cdot \rho_0 \cdot 0,1 \cdot m_{\text{ЗПК}} = 10,0 \rho_0 \cdot m_{\text{ЗПК}}.$$

Тиск реальної детонації розраховуємо за відомою формулою

$$P_{\text{ж}} = \rho_0 \cdot \frac{D^2}{n+1}. \quad (10)$$

Розглянемо питання про ідеальну детонацію ВР [6]. У цьому випадку швидкість детонації D_i і тиск ідеальної детонації P_i не залежать від щільності ВР, параметрів заряду, умов підривання, а визначаються тільки термодинамічними параметрами заряду і мають максимально можливі для даного вибухового складу значення:

$$D_i = 2,641 + 3,231 \cdot \rho_0 \cdot 10^{-3} \sqrt{\omega} \quad [\text{км/с}]; \quad (11)$$

$$P_i = 1,596 + 0,9378 \cdot \rho_0^2 \cdot 10^{-5} \omega \quad [\text{ГПа}], \quad (12)$$

де $\omega = Q_{\text{виб}} V_0$; $Q_{\text{виб}}$ – теплота вибуху; V_0 – питомий об'єм газів вибуху.

Виконаємо аналіз результатів дослідження детонаційних параметрів комполайтів у режимах реальної та ідеальної детонації.

Залежності швидкостей детонації D_i і D від вмісту вати полімеру у комполайтах при фіксованих значеннях вмісту аміачної селітри (АС) і рідкого нафтопродукту подані на рис. 1. Очевидно, що залежності D_i (ВП) мають чітко виражену точку максимуму, яка відповідає стехіометричному складу суміші. Це є наслідком того, що швидкість ідеальної детонації прямо пропорційна щільності суміші і складним чином залежить від теплоти вибуху та об'єму газоподібних продуктів вибуху (див. формулу (11)).

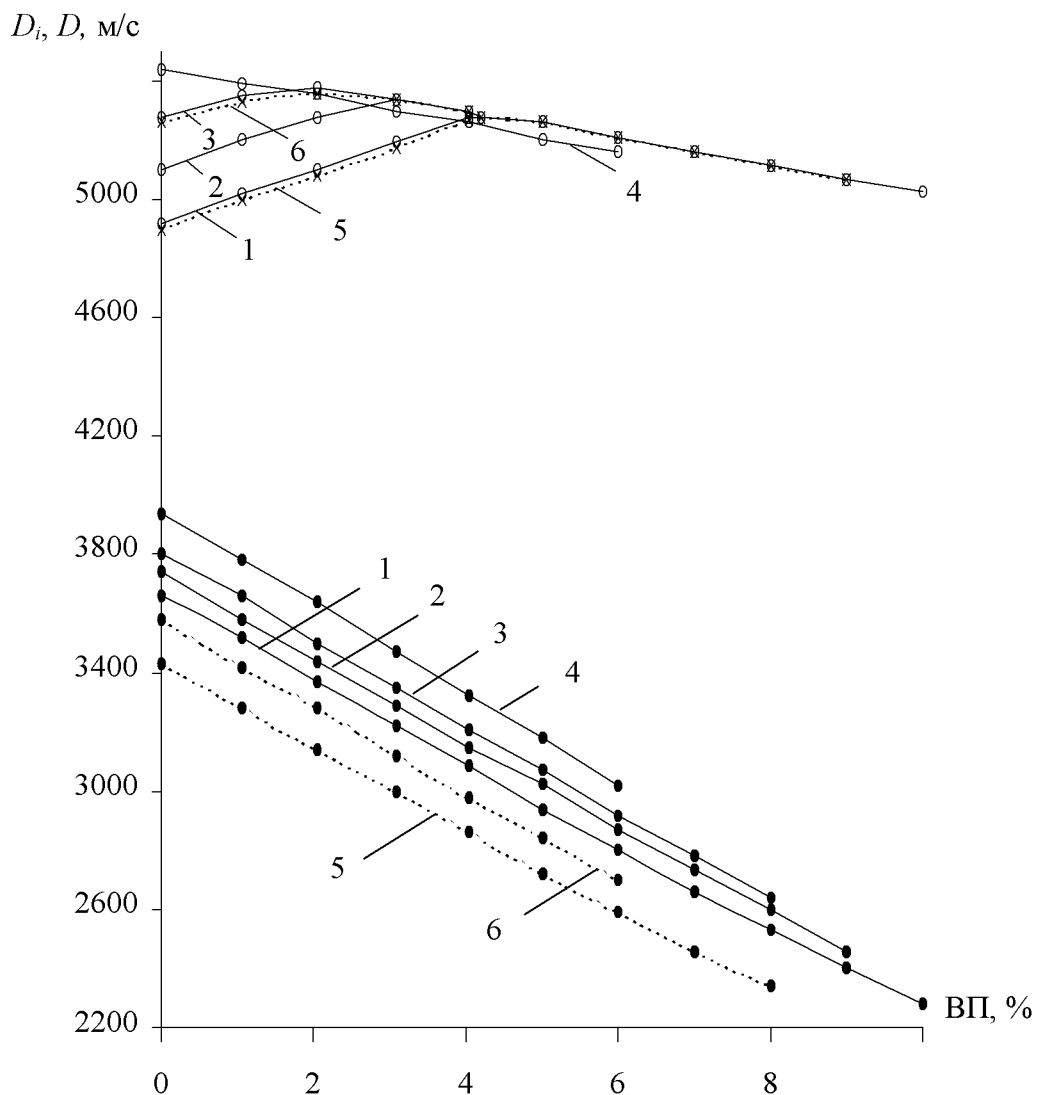


Рис. 1. Залежності ідеальної (світлі точки) та реальної (темні точки) швидкості детонації вибухових сумішей від вмісту в їх складі вати полімеру при фіксованих значеннях вмісту АС і ДТ: 1 – АС = 88 %, ДТ = 2 %; 2 – АС = 88 %, ДТ = 3 %; 3 – АС = 88 %, ДТ = 4 %; 4 – АС = 88 %, ДТ = 6 %; 5 – АС = 90 %, ДТ = 2 %; 6 – АС = 90 %, ДТ = 4 %

З підвищенням вмісту в суміші ВП при відповідному зниженні вмісту ЗРК щільність суміші зменшується, об'єм газів вибуху росте, а залежність теплоти вибуху Q_f від ВП має точку максимуму. Тому залежності D_i (ВП) мають вигляд, поданий на рис. 1.

Швидкість реальної детонації D зі збільшенням вмісту в суміші вати полімеру лінійно зменшується, що є прямим наслідком зменшення щільності складу. Збільшення вмісту в складі комполайтів рідкого нафтопродукту і порошку ЗРК приводить до підвищення швидкості детонації ВР.

Подібний характер носять також залежності P_i (ВП) і $P_{ж}$ (ВП) (рис. 2).

P_i , ГПа

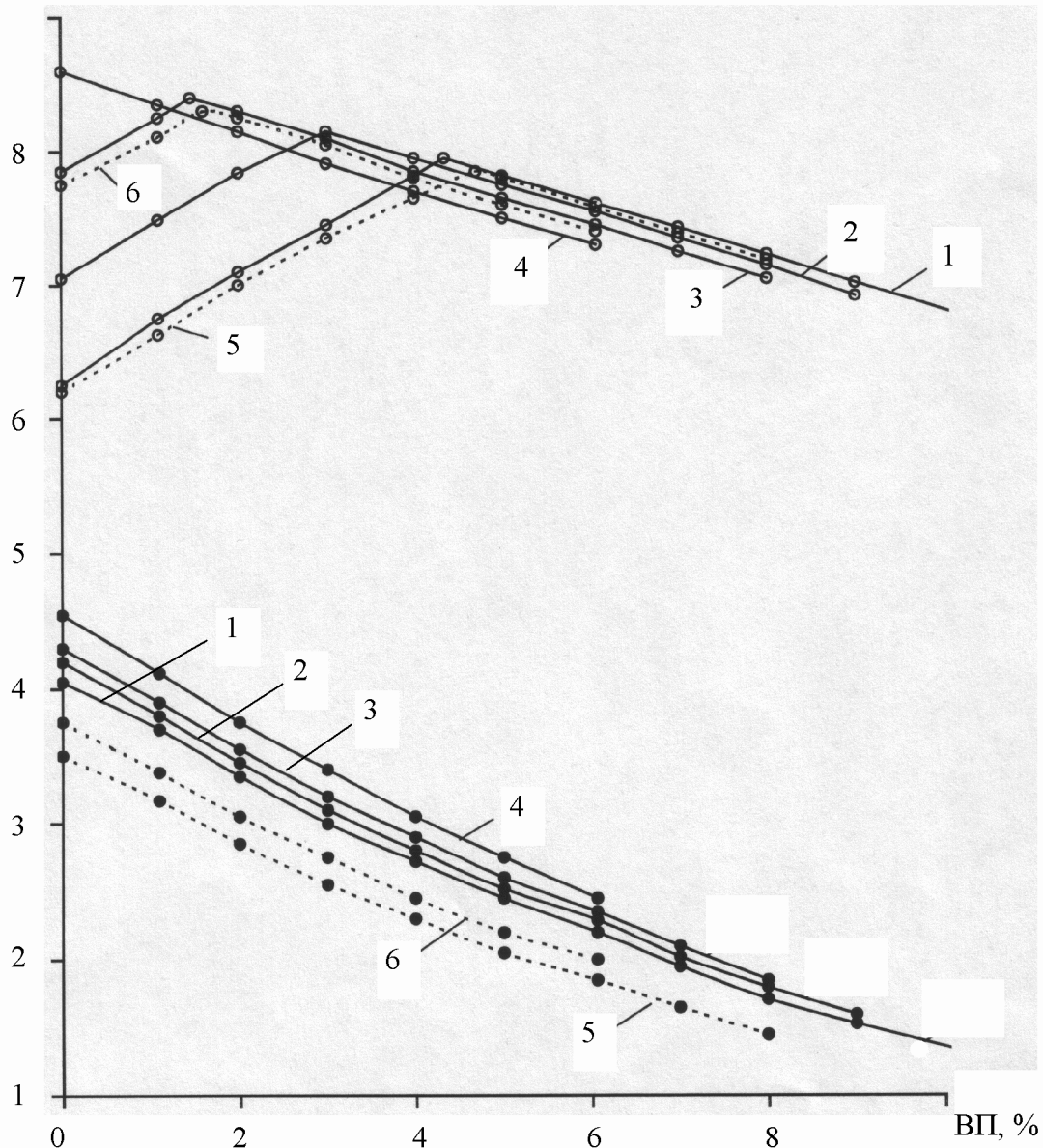


Рис. 2. Залежності детонаційних тисків в ідеальному (світлі точки) та реальному (темні точки) режимах детонації вибухових сумішей від вмісту в їх складі вати полімеру при фіксованих значеннях вмісту АС і ДТ: 1 – АС = 88 %, ДТ = 2 %; 2 – АС = 88 %, ДТ = 3 %; 3 – АС = 88 %, ДТ = 4 %; 4 – АС = 88 %, ДТ = 6 %; 5 – АС = 90 %, ДТ = 2 %; 6 – АС = 90 %, ДТ = 4 %

Слід відзначити, що зі збільшенням кисневого коефіцієнта вибухових сумішей режим детонації наближається до ідеального, про що свідчать залежності відношень D/D_i і $P_{ж}/P_i$ від кисневого коефіцієнта α_k (рис. 3). З поданих на рис. 1–3 залежностей випливає, що реальна швидкість детонації залежно від компонентного складу суміші становить 45...75 % ідеальної швидкості детонації, а реальний тиск детонації $P_{ж}$ – 20...65 % тиску ідеальної детонації. Причому цей відсоток зростає зі збільшенням вмісту в суміші рідкого нафтопродукту при тому самому значенні кисневого коефіцієнта α_k .

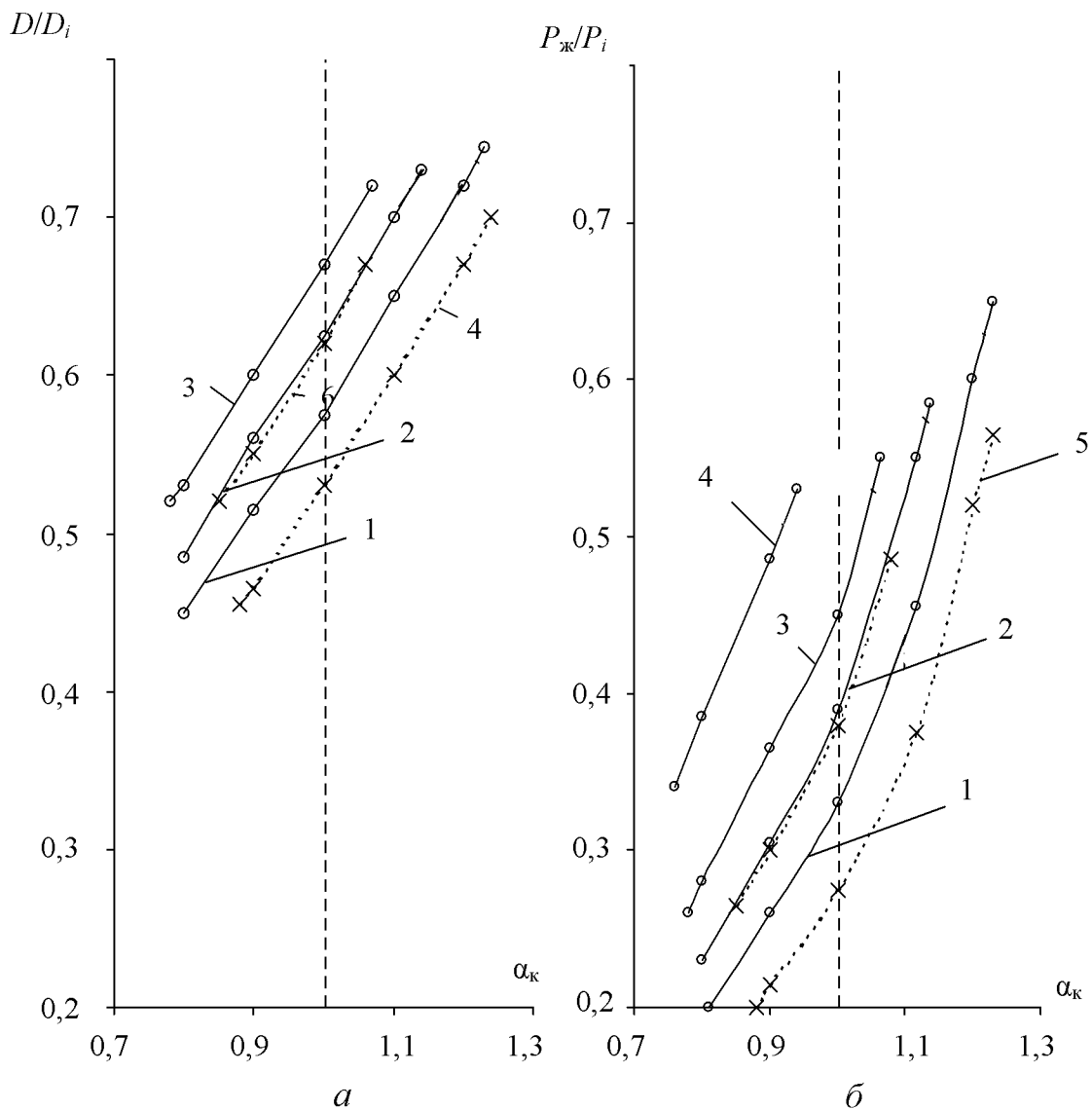


Рис. 3. Залежності відношення реальних швидкості (а) та тиску (б) детонації до їх значень при детонації в ідеальному режимі від кисневого коефіцієнта вибухових сумішей при фіксованих значеннях вмісту АС і ДП: 1 – АС = 88 %, ДТ = 2 %; 2 – АС = 88 %, ДТ = 3 %; 3 – АС = 88 %, ДТ = 4 %; 4 – АС = 88 %, ДТ = 6 %; 5 – АС = 90 %, ДТ = 2 %; 6 – АС = 90 %, ДТ = 4 %

Подальші дослідження в цьому напрямку будуть присвячені встановленню закономірностей деформування твердих гірських порід під дією вибуху зарядів із розроблених вибухових речовин і встановленню їх технічної ефективності.

1. Прокопенко В. С., Косьмин И. В., Лецц П. Л. Совершенствование и разработка взрывчатых веществ местного приготовления // Охрана труда. – К.: Основа. – 2000. – № 12. – С. 31–34.

2. Крысин Р. С., Домничев В. Н. Современные взрывчатые вещества местного приготовления. – Днепропетровск: Наука и образование, 1998. – 140 с.

3. Прокопенко В. С., Туручко І. І., Косьмін І. В. Нові вибухові речовини місцевого приготування // Проблеми охорони праці в Україні. – К.: ННДІОП. – 2001. – Вип. 4. – С. 61–65.

4. Термодинамічні характеристики комполайтів – безтритилових вибухових сумішей / В. С. Прокопенко, І. В. Косьмін, А. І. Лучко, А. В. Прокопенко // Вісник НТУУ „КПІ”. Серія „Гірництво”. – К., 2003. – Вип. 8. – С. 65–73.

5. Пепекін В. І., Кузнецов Н. М., Лебедев Ю. А. О взаимосвязи параметров детонации с химическим составом взрывчатых веществ // Докл. АН СССР. – 1977. – Т. 234. – № 1. – С. 105–108.

6. Афанасенков А. Н., Галкин В. В. Экспресс-метод расчета параметров детонации промышленных ВВ и порохов // Горный журнал. – 1992. – № 11. – С. 30–33.

7. Кондриков Б. Н., Шаповал В. Н. К расчету скорости детонации смешанных взрывчатых веществ // Вопросы теории конденсированных взрывчатых систем. Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева. – М., 1980. – Вып. 112. – С. 134–138.

8. Кондриков Б. Н., Шаповал В. Н. О методах расчета скорости детонации СННО – взрывчатых веществ // Хим. физика конденсированных взрывчатых систем. Тр. МХТИ им. Д. И. Менделеева. – М., 1979. – Вып. 104. – С. 122–129.

9. Кук М. А. Наука о промышленных взрывчатых веществ / Под ред. Г. П. Демидюка и Н. С. Бахаревич. – М.: Недра, 1980. – 453 с.