

# Том 7

# Будівництво, геотехніка і геомеханіка

УДК 692

Плякун С. Г., Фролікова Г. В., студенти гр. БЕС-15-1/9

Наукові керівники: Піщида Н. В., Кириловська В. В., Хмарук Ю. М.

(Придніпровський державний металургійний коледж, м. Кам'янське, Україна)

### ТЕПЛОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ

У сучасних умовах нового будівництва, реконструкції і модернізації будівель вже на першому етапі виникає необхідність перевірки енергозберігаючих властивостей зовнішніх огороджувальних конструкцій будівель різного призначення.

Метою теплотехнічного розрахунку зовнішніх огороджувальних конструкцій цивільних будівель є підбір товщини огороджувальної конструкції (для нового будівництва) або шару додаткового утеплення (в умовах реконструкції будівлі) за заданим пунктом будівництва (реконструкції), характеристикою матеріалів шарів і призначенням огорожень (табл. 1, 2, 3).

Таблиця 1

Розрахункові характеристики окремих шарів стіни

№	Розрахункова схема стіни	Найменування шарів	Густина $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Товщина $\delta$ , м	Коефіцієнт теплопровід- ності, $\lambda$ , Вт/м К
1		Цегла керамічна	1800	0,12	0,81
		Цегла силікатна		0,25	0,87
2		Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому	75	$\delta_p$ -?	0,062
3		Цементно-піщаний розчин	1600	0,02	0,93
4		Металеві зв'язки з оцинкованої сталі $\varnothing 4B$ 1 через 0,5 м по довжині і через 5 рядів по висоті	В розрахунок не приймаються		

Таблиця 2

Значення теплотехнічних показань

№	Теплотехнічні показники	Позначення	Од. вимір.	Значення	Обґрунтування
1	Коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни	$\alpha_B$	Вт/м <sup>2</sup> К	8,7	ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель зі змінами»
2	Коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни	$\alpha_Z$		23	ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель зі змінами»
3	Опір тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни	$R_B$	м <sup>2</sup> К/Вт	0,11	$R_B \frac{1}{\alpha_B} = \frac{1}{8,7}$

7-2

№	Теплотехнічні показники	Позначення	Од. вимір.	Значення	Обґрунтування
4	Опір тепловіддачі зовнішньої поверхні стіни	$R_3$		0,04	$R = \frac{1}{a_3} = \frac{1}{23}$
5	Мінімально допустиме значення опору теплопередачі при $t = 20^\circ\text{C}$	$R_{q \min}$		Для I температурної зони 3,3	ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель зі змінами»

Таблиця 3

## Розрахунок опору теплопередачі зовнішньої огорожувальної конструкції

№	Теплотехнічні показники	Позначення	Од. вимір.	Обґрунтування
1	Опір теплопередачі 1-го шару	$R_1$	м <sup>2</sup> К/Вт	$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,12}{0,81} = 0,14$
2	Опір теплопередачі 2-го шару	$R_2$		$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0,25}{0,87} = 0,29$
3	Опір теплопередачі 3-го шару	$R_3$		$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0,02}{0,93} = 0,02$
4	Опір теплопередачі розрахункового шару (утеплювача)	$R_{ут.}$		$\delta_{ут.} = \left( R_{q \min} - \frac{1}{a_b} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_3}{\lambda_3} - 0,04 \right) \cdot 0,062 = 0,17 \text{ м}$ $R_{ут.} = \frac{\delta_{ут.}}{\lambda_{ут.}} = \frac{0,17}{0,062} = 2,74$
5	Сумарний опір теплопередачі стіни	$R_{\Sigma \text{ пр}}$		$R_{\text{пр}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_b + R_3$ $= 0,14 + 0,29 + 0,02$ $+ 2,74 + 0,11 + 0,04$ $= 3,34$
6	Основна умова теплотехніки			$R_{\text{пр}} \geq R_{q \min} = 3,34 \geq 3,3$

Висновки: Умова  $R_{\text{пр}} \geq R_{q \min}$  виконується. Товщина утеплювача прийнята правильно. Товщина утеплювача становить 0,17 м.

**Перелік посилань**

1. ДБН В.2.6-31-2016 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінбуд України, 2017. – 71 с.

УДК 624.071.34

Плякун С. Г., Бугачевський С. Д. студенти гр. БЕС-15-1/9

Наукові керівники: Піщида Н. В., Кириловська В. В., Хмарук Ю. М.

(Придніпровський державний металургійний коледж, м. Кам'янське, Україна)

## РОЗРАХУНОК ЦЕНТРАЛЬНО-СТИСНУТОЇ КОЛОНИ

Головні балки спираються на верхню частину колони, яка закріплюється від горизонтального зсуву вертикальними зв'язками і конструкцією перекриття. Колони служать для передачі навантаження від вище розташованих конструкцій через фундамент на ґрунт.

Колони даного робочого майданчика працюють на центральний стиск, навантаження прикладені або безпосередньо до центру перерізу колони, або симетрично щодо осі стержня, відповідно до схеми, наведеної на рис. 1, де 1 – настил; 2 – балки настилу; 3 – головні балки; 4 – колони; 5 – зв'язки по колонам; 6 – фундаменти.

Найбільш навантаженою є колона середнього ряду, на яку спираються дві головні балки (рис. 2).

Зусилля в колоні чисельно дорівнює двом реакціям головних балок  $N = 2R_2$ . Для робочого майданчика підбираємо переріз середньої колони К1. Відмітка верха майданчика  $H = 4,200$  м. Відмітка низу колони  $H = 0,150$  м. Колона виконана із сталі С235  $R_y = 230$  МПа = 23 кН/см<sup>2</sup>.

Розрахункове зусилля в колоні, відповідно до [1, 2], складає

$$N = 2R_{Гб} = 2 \cdot 556,95 = 1113,9 \text{ кН.}$$

Висота колони

$$h_k = H - h_{\text{стр}} - H_1 = 4,2 - 0,993 + 0,15 = 3,357 \text{ м} \approx 335,7 \text{ см.}$$

$$h_{\text{стр}} = t_{\text{пл}} + h_2 = 100 + 893 = 993 \text{ мм} \approx 0,99 \text{ м.}$$

Розрахункова довжина колони

$$l_{efx} = l_{efy} = \mu \cdot h_k = 1 \cdot 3,36 = 3,36 \text{ м} = 336 \text{ см.}$$

Задаємося коефіцієнтом повздовжнього вигину  $\varphi = 0,6$ .

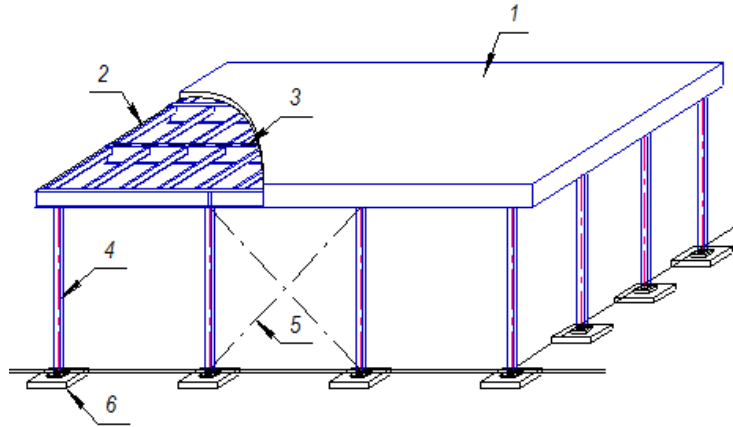


Рис. 1. Робочий майданчик

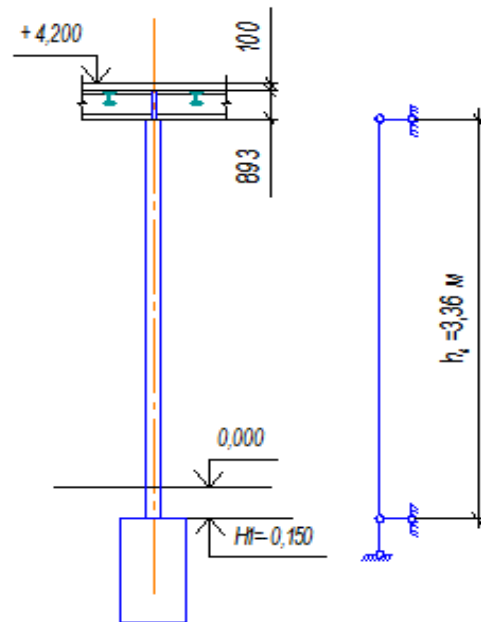


Рис. 2. Конструктивна схема колони

Необхідна площа перерізу колони

$$A_{\text{тр}} = \frac{N}{\varphi \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1113,9}{0,6 \cdot 23 \cdot 1} = 80,72 \text{ см}^2$$

Мінімальний радіус інерції з умови граничної гнучкості

$$i_{\text{min}} \geq \frac{l_{\text{ef } x}}{\lambda_u} = \frac{336}{120} = 2,8 \text{ см}$$

За наявною площею підбираємо переріз головної колони.

По сортаменту вибираємо зварні труби з прокатних швелерів, площа поперечного перерізу якого підходить за величиною  $A_{\text{мп}}$ . По сортаменту приймаємо профіль № 30.

Геометричні характеристики перерізу двох швелерів, які зварені коробочкою  $A=81,0 \text{ см}^2$ ,  $I_x=11620 \text{ см}^4$ ,  $I_y=5186 \text{ см}^4$ .

Радіус інерції перерізу:  $i_x = 12,0 \text{ см}$ ;  $i_y = 8,0 \text{ см}$

Визначаємо гнучкість колони відносно головних осей:

$$\lambda_x = \frac{l_{\text{ef } x}}{i_x} = \frac{336}{12} = 28$$

$$\lambda_y = \frac{l_{\text{ef } y}}{i_y} = \frac{336}{8} = 42$$

По максимальній гнучкості  $\lambda_{\text{max}} = 42$  і розрахунковому опору сталі  $R_y = 230 \text{ МПа}$  визначаємо  $\varphi = 0,8888 \approx 0,89$  і перевіряємо стійкість колони за формулою:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_{\text{min}} \cdot A_{\text{br}}} = \frac{1113,9}{0,89 \cdot 81 \cdot 1} = 15,45 \leq R_y \cdot \gamma_c = 23 \cdot 1 = 23 \text{ кН/см}^2$$

Стійкість колони забезпечена.

При цьому максимальна гнучкість колони не повинна перевищувати граничну  $\lambda_{\text{ід}} = 180 - \alpha \cdot 60 \approx 120$  (з досвіду проектування), де

$$\alpha = \frac{N}{\varphi_{\text{min}} \cdot A_{\text{br}} \cdot R_y \cdot \gamma_c} = \frac{1113,9}{0,89 \cdot 81 \cdot 23 \cdot 1} = 0,67 \geq 0,5$$

Гранична гнучкість

$$\lambda_{\text{ід}} = 180 - \alpha \cdot 60 = 180 - 0,67 \cdot 60 = 139,8 \approx 140 \geq 42$$

Умова гнучкості виконується.

#### Перелік посилань

1. ДБН В.1.2-2:2006 Навантаженні і впливи: Норми проектування (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів). – Офіц. вид. – Чинний з 01.01.2007р. – К.: Мін буд України, 2006. – 60 с.
2. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 Прогини і переміщення. Вимоги проектування. (Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів). – Офіц. вид. – Чинний з 01.01.2007р. – К.: Мін буд України, 2006. – 60 с.

УДК 692.232.7

**Вербицька К. О., Фролікова Г. В., студентки гр. БЕС-15-1/9****Наукові керівники: Піщида Н. В., Хмарук Ю. М., Кириловська В. В.***(Придніпровський державний металургійний коледж, м. Кам'янське, Україна)*

## **БУДИНОК З НЕЗНІМНОЇ ОПАЛУБКИ: ТЕХНОЛОГІЯ БУДІВНИЦТВА**

Опалубка – це не що інше, як форма. Можна згадати свої дитячі ігри в пісочниці або представити господиню, яка заливає тісто для коржів у спеціальні ємності для випічки. Тільки на відміну від наведених прикладів, форма залишиться на місці, стаючи частиною стін або фундаменту. Незнімна опалубка збирається за принципом дитячого конструктора з блоків, що мають різний склад. Принцип монтажу нагадує цегляну кладку. Елементи конструкції мають пази або спеціальні з'єднання замкового типу. При необхідності скріпити протилежні блоки застосовують стяжки. Обов'язково використовують вертикальне армування, а щоб конструкція витримала тиск, який чиниться на неї зсередини розчином, заливання проводять серіями. У кожен із заходів цементом заповнюють висоту, рівну трьом або чотирьом рядами блоків [1].

Елементи для опалубки виробляють з пінополістиролу або деяких інших матеріалів, що сприяють теплоізоляції. Монолітні конструкції міцні самі по собі. Залишена опалубка створює додатковий каркас, підсилює стіни майбутнього будинку. Монолітні стіни менше тиснуть на основу, тому розробляючи проекти будинків з незнімної опалубки можна прорахувати варіант зі збільшенням поверховості будинку.

Спінений полістирол – прекрасний матеріал для утеплення житлових приміщень, а його характеристики доповнюються ще й тим, що він відмінно гасить звуки. Зведення незнімної опалубки – це в своєму роді одночасне проведення робіт з утеплення та звукоізоляції.

Економити при будівництві власного житла потрібно з розумом. Оренда дорогої будівельної техніки буде викреслена з кошторису монолітного будинку. Та й добровільних або найманих працівників багато не потрібно. Процес заливки – швидкий. Значить, переплачувати за робочий зайвий час перебування на об'єкті теж не доведеться.

Блоки з пінополістиролу для монтажу нерозбірної опалубки – це пустотілі елементи зі стінками різної товщини. Зовнішня сторона матеріалу набагато більше внутрішньої – саме вона буде відповідати за збереження тепла в будинку. Самі блоки досить міцні, щоб утримати розчин, який заливається, негігроскопічні і доступні за ціною. Збірка у вигляді цегляної кладки додає міцності конструкції, а додаткову жорсткість стіні додасть армування. Прути арматури, розташовані вертикально, з'єднуються внапуск. Важливо правильно вибрати її діаметр, як і марку бетону. Комунікації, включаючи електропроводку, закладаються через попередньо вирізані в блоках отвори. Всі роботи потрібно завершити до початку заливки. На виході виходить своєрідний сендвіч, де «начинка» з залізобетону укладена між шарами ізоляції.

Полістиролбетон – це «дихаючий» матеріал. Він паропроникний тому, що створений на основі цементу. Укладати блоки доведеться на спеціальний клей, пов'язувати арматурою і потім заливати. Блоки на цементній основі відрізняються до того ж великою різноманітністю.

Щепо-цементні блоки – це винахід нідерландських розробників. Для їх виробництва використовується велика щепка деревини хвойних порід (вона становить приблизно 80-90% від загального складу матеріалу). Щепи обробляються спеціальними добавками і скріплюються сумішшю гіпсу, цементного клінкеру і ще деяких добавок (портландцемент).

Переваги, крім екологічності, очевидні:

- висока міцність на тлі малої ваги;
- паропроникність;
- тепло - і звукоізоляційні властивості;
- стійкість до атмосферних впливів;
- морозостійкість.

Пожежна безпека досягається за рахунок спеціальної обробки, а гниття, цвілі і шкідників такі блоки теж не бояться. Вони легко піддаються різанню і обробці.

Висновки: отже переваги будівництва будівель з незнімної опалубки очевидні і складають наступні:

- економія місця. Монолітні стіни тонше цегляних, але захищають своїх власників від холоду нітрохи не гірше, а місце всередині економлять значною мірою;
- незнімна опалубка дозволить не переплачувати за опалення при подальшій експлуатації будинку;
- довговічність. Якщо до дрібниць дотримуватися технології, то стіни, утворені полістирольними блоками і бетоном, прослужать не менше століття;
- простота обробки. Блоки створюють гарну рівну поверхню стін, що дозволяє без зусиль і зайвих витрат на вирівняних основах провести їх фінішну обробку і з боку вулиці, і всередині будинку.

### Перелік посилань

1. Дом из несъемной опалубки: технология строительства. Режим доступа: <http://strport.ru/stroitelstvo-domov/dom-iz-nesemnoi-opalubki-tekhnologiya-stroitelstva>

УДК 005.8

**Струкова С.В., студентка групи 760м,****Науковий керівник: Задоя В.О., к.е.н., доцент кафедри економіки та менеджменту**  
(Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, Україна)

## **УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТОМ САНАЦІЇ ТА ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ЖИТЛОВОГО ФОНДУ НА БАЗІ АОСББ «ЗАХІДНИЙ» У М. ДНІПРО**

Вартість енергоресурсів на утримання багатоквартирного будинку з кожним роком займає все більшу долю видатків у бюджеті української родини. Населення починає самостійно застосовувати різноманітні способи зекономити свої витрати на "комуналку": утеплюватись, знижувати температуру опалення в квартирі та місцях загального користування, наращувати борги за комунальні послуги та оформлювати все більше субсидій, що викликає додаткове навантаження на державний бюджет. Як один із варіантів рішення цієї проблеми пропонується проведення енергоаудиту будівель.

Згідно з отриманим звітом та розрахованим проектом, можливо провести роботи із санації, термомодернізації та залучення альтернативних джерел отримання енергоносіїв, тобто застосувати методи енергетичного менеджменту.

Окреслена проблема є дуже актуальною на теперішній час й найближчі 10-20 років буде лише набувати своєї нагальності, тому що житловий фонд України масово збудований у 60-70 рр. минулого століття, не є взірцем якісного житла. За даними досліджень, 23% всього багатоквартирного фонду України, або 72 млн. кв. метрів, – це житлові будинки, так звані «хрущовки» [1]. А рівень експлуатації цього житлового сектору після проведення приватизації квартир у 1990-2000 рр. був майже відсутнім, що стало рушійною силою занедбання місць загального користування, інженерних систем та зовнішніх конструктивних елементів багатоквартирного будинку.

У Міністерстві регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України вважають, що ці будинки «не відповідають сучасним нормативним вимогам до житлового фонду». Крім того, значна кількість таких будинків знаходиться в незадовільному технічному стані, а кожен другий будинок потребує проведення капітального або поточного ремонту [2].

Загалом у світі, в тому числі в Україні є багатий досвід дослідження та реалізації схожих проектів та програм з санації, термомодернізації та залучення альтернативних джерел отримання енергоносіїв у подібних забудовах ("хрущовках") та у зовсім інноваційних прикладах, які теж можливо спробувати впровадити у цьому проекті. Як інвестиції, можливо залучити кошти Державного фонду енергоефективності, Державної програми "теплі кредити", місцевих та регіональних програм, а також власні кошти. Залучення коштів Міжнародних фондів та комерційних інвестицій має значно менший розголос та досвід у нашій країні.

«Хрущовки» будувалися як тимчасове житло, закладений термін експлуатації – 50 років. У той період застосування газу і електроенергії для опалення будинку було вигідно з економічної точки зору, тому проектувальники не приділяли особливу увагу проблемі експлуатаційних витрат. Сьогодні це призвело до таких проблем:

- тісні, з низькими стелями «хрущовки» встигли застаріти фізично і морально;
- зносилися комунікаційні мережі – водопровід, каналізація, електромережа і т.д.;
- на опалення «хрущовок» витрачають в 3...5 разів більше енергоносіїв, ніж найбільш розповсюджених житлових будинках Західної Європи [3].



Проблему невідповідного експлуатаційного та енергоефективного стану «хрущовок» в Україні й у тому числі у Дніпрі можна вирішити двома способами – знести або реконструювати.

Радикальний шлях – знести старі будинки, а на їх місці побудувати сучасні висотні будівлі. Кожен з варіантів має свої плюси і мінуси. Наприклад, плюси: можна звести новий висотний будинок з сучасними квартирами. А мінуси: для Дніпра цей спосіб вигідний лише для будинків, розташованих в центрі міста, де висока вартість землі.

Інший шлях – реконструкція, що включає ремонт і модернізацію будівлі.

Можливо виділити два напрямки проектів реконструкції «хрущовок».

1. Надбудова поверхів із застосуванням металевого або залізобетонного каркаса. В цьому випадку, поряд з існуючою будівлею зводяться колони, на яких надбудовують необхідну кількість поверхів. Плюси: можна збільшити площу і поліпшити планування на перших п'яти поверхах, а також отримати сучасні квартири, аж до дворівневих на надбудованих поверхах. Для Дніпропетровської області цей метод актуальний, оскільки для виготовлення каркаса можна використовувати виробничі потужності металургійних підприємств. Мінуси: для проведення реконструкції необхідно виселити мешканців і надати їм житло [2].

2. Надбудова поверхів на існуючу будівлю. Плюси: інвестор виробляє утеплення будівлі, заміну комунікацій і надбудову поверхів, натомість отримує квартири. При цьому він не витрачає кошти на зведення фундаменту і підведення мереж. Залежно від умов домовленості з інвестором частина квартир на нових поверхах може отримати ОСББ – тобто власники будинку. Цю житлову площу можна, наприклад, здавати в оренду, а виручені кошти використати на потреби будинку. При використанні легких конструкцій – металевих профілів роботи зі зведення надбудови можна вести без відселення мешканців. Мінуси: можна надбудувати обмежену кількість поверхів, в залежності від стану ґрунту під фундаментом, оптимально – два [2].

Таким чином можливо зробити висновок, що не займаючись перебудовою, укріпленням, санацією, термомодернізацією та залученням альтернативних джерел отримання енергоносіїв уже сьогодні і в найближче десятиліття багато людей, у кращому випадку, може залишитись на вулиці через те, що багатоквартирні будинки будуть розвалюватись один за одним, як "карткові будиночки". А можливі й надзвичайні ситуації з людськими втратами.

### Перелік посилань

1. Все пути решения проблем «хрущовок» зашли в тупик? // Перше ріелторське est!медіа. Режим доступу: <https://est.ua/press/41554/>.

2. Есть ли шанс у «хрущовок» // Лица. 20 мая 2011. Режим доступа: <http://www.litsa.com.ua/show/a/5209>

3. Житлові будинки. Основні положення. ДБН В.2.2-15-2005. Державний комітет України з будівництва та архітектури. Режим доступу: <https://kga.gov.ua/files/doc/normy-derjavy/dbn/Budyanky-i-sporudy-ZhYTLOVI-BUDYNKY-OSNOVNI-POLOZhENNJa-DBN-V22-15-2005.pdf>

УДК 621.797:621.664

**Кириченко А.Л., к.т.н., главный технолог***Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод», г. Павлоград, Днепропетровской обл., Украина***Куливар В.В., аспирант каф. строительства, геотехники и геомеханики***Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина*

## **ОБ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНИЦИИРОВАНИЯ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ КОМПОЗИТОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ**

В ряд актуальных задач современной химической физики относятся вопросы создания мощных первичных инициирующих светочувствительных ВВ, не содержащих тяжелых металлов, по уровню чувствительности к стандартным видам воздействий, безопасности в обращении и применении соответствовали или превосходили вторичное штатное ВВ – тэн. Кроме решения этой задачи, необходимыми являются исследования закономерностей поведения новых видов светочувствительных ВВ при лазерном воздействии. Если в решении первой задачи необходимо привлекать опыт соответствующих специалистов: в области разработки и синтеза светочувствительных ВВ [1-7], в области экспериментальных исследований взаимодействия лазерного излучения с энергонасыщенными веществами, создания оптических средств инициирования, систем инициирования и их применения [8-14].

Установлены закономерности формирования светового режима освещенности при действии узких лазерных пучков, позволившие объяснить на основе представлений о диффузном рассеянии света в образцах ВВ природу размерного эффекта – зависимости порога инициирования от диаметра лазерного пучка.

Полученные результаты направлены на создание светочувствительных взрывчатых композитов – нового класса инициирующих взрывчатых веществ (ИВВ) для оптических детонаторов лазерных систем инициирования и определение их характеристик зажигания, а также позволяют развивать теоретические исследования механизма лазерного инициирования. Получены следующие результаты:

1. Разработана методика определения функции распределения плотности энергии в сечении лазерного пучка, основанная на измерении лазерных отпечатков на материале, претерпевающем фазовое превращение при световом воздействии.

2. Исследования размерного эффекта и на примере  $\text{Cu}(\text{AGTp})\text{ClO}_4$  показали, что энергетически выгодно использовать в оптических системах инициирования узкие лазерные пучки диаметром меньше 500 мкм. Полученные результаты являются научной основой для разработки оптических детонаторов – основного элемента оптических систем инициирования зарядов ВВ.

3. Задержки инициирования взрывчатых составов (ВС) на 2–3 порядка меньше задержек воспламенения, которые получены при других видах воздействия. Сделан вывод, что лазерный метод инициирования способен значительно повысить прецизионность, а значит и качество, проведения взрывных работ в промышленности.

4. Экспериментальные исследования размерного эффекта и измерениям задержек времени инициирования представляются наиболее важными в решении проблемы создания оптических систем инициирования зарядов ВВ.

Оценка научно–технической разработки – оптического детонатора сводится к следующему:

– оптические детонаторы могут быть использованы только по прямому назначению, поэтому исчезают стимулы для хищений таких средств взрывания;

– при использовании оптической системы иницирования (ОПСИН) увеличивается безопасность проведения взрывных работ, что ведет к снижению травматизма и числа человеческих жертв на предприятиях;

– снижаются финансовые затраты на проведение организационных и технических мероприятий, направленных на охрану здоровья и жизни исполнителей взрывных работ.

### Перечень ссылок

1. Илюшин М.А., Судариков А.М., Целинский И.В., Котомин А.А. и др. Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010. – 188 с.

2. Илюшин М.А., Целинский И.В., Котомин А.А. и др. Энергонасыщенные вещества для средств иницирования. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2013. – 176 с.

3. Илюшин М.А., Соболев В.В., Чернай В.А. Иницирующие взрывчатые вещества и составы в оптических системах иницирования пиросредств // Вісник НГА України. – 2001. – №1. – С.73–76

4. Соболев В.В., Чернай А.В., Чернай В.А., Білан Н.В. Фізична модель запалювання лазерним моноімпульсом світлочувливих речовин з великою густиною розсіювачів // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників –2007” – Д.: Національний гірничий університет, 2007. С.174-181

5. Соболев В.В., Куливар В.В., Кириченко А.Л. Первичные взрывчатые вещества для лазерных систем иницирования // Матеріали II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», – Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2017. – С.166.

6. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 39, Issue 3, 2003, Pages 105-110.

7. Куливар В.В., Соболев В.В. Светочувствительные энергонасыщенные композиции для лазерных средств взрывания // НАУКОВА ВЕСНА 2016: Матеріали VII-ї Всеукраїнської науковотехнічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених (Дніпропетровськ, 06-07 квітня 2016 року). / Держ. вищ. навч. закл. «Національний гірничий університет. – Д.: ДВНЗ «НГУ», 2016. - С.188-189

8. Соболев В. В., Чернай А. В., Кашуба О. И. Новая оптическая система за инициране на сондажни взривни заряды // Минно дело и геология. 1996. – № 9. – С. 16 – 18

9. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., et al. Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating // Combustion, Explosion, and Shock Waves. Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 239-242.

10. The method of obtaining mechanical loading pulses based on a laser initiation of explosion of explosive coatings / Chernaj, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnik, N.E. // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 106-111.

11. Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation / V.F. Sobolev, L.N. Shyman, N.N. Nalisko, A.L. Kirichenko // Naukovyi visnyk Nationalnoho hirnychoho universytetu. – 2017 – №6. – С.

12. Соболев В.В., Чернай А.В., Оптическая система иницирования зарядов взрывчатых веществ // X Міжнар. наук.-техн. конф. «Розробка, використання й екологічна безпека сучасних гранульованих та емульсійних вибухових речовин, Кошице 2-9 лютого 2014. - Кременчук: КрНУ, 2014. – С. 49-54.

13. К вопросу о механизме зажигания взрывчатых составов лазерным моноимпульсом / А.В. Чернай, В.В. Соболев, М.А. Илюшин, Н.Е. Житник, Н.А. Петрова // Химическая физика. – 1996 – Т.15, №3. – С134–139

14. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 39, Issue 3, 2003, Pages 105-110.

УДК 621.797:621.664

**Куливар В.В., аспирант каф. строительства, геотехники и геомеханики***(Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина)***Курляк А.В., руководитель группы, Мельников Д.В., инженер 1 категории***(Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод», г. Павлоград, Украина)***О ФОРМИРОВАНИИ ПЛОСКИХ УДАРНЫХ ВОЛН С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО СПОСОБА ВЗРЫВАНИЯ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ВВ**

Целью работы является провести сравнительный анализ экспериментальных значений скорости метания металлической плоской пластины и полученных расчетным путем. Дать оценку возможности использования данного метода в качестве стандартной методики проведения экспериментов с плоскими ударными волнами.

Скорость метания стальной пластины плотностью  $\rho_{пл} = 7,85 \text{ г/см}^3$  продуктами взрыва заряда литого тротила плотностью  $\rho_{ВВ} = 1,59 \text{ г/см}^3$  исследовалась с применением лазерной системы инициирования зарядов взрывчатых веществ (ВВ) [1,2] и светочувствительных взрывчатых композитов [3]. Источник питания – лазер на неодимовом стекле; длина волны 1,06 мкм, время импульсного излучения 22 нс. В экспериментах использовались элементы методик [4–6] Каждый из зарядов ВВ представлял собой цилиндр диаметром 80 мм, высотой 100 мм. Средняя скорость детонации зарядов тротила составляла  $D = 6895 \text{ м/с}$ . Верхнее основание заряда покрывалось слоем иницирующего светочувствительного ВС-2 [3] толщиной от 2,0 до 2,5 мм. К нижнему основанию заряда крепилась стальная пластина диаметром 90 мм и толщиной  $h = 3,5 \text{ мм}$ . Для измерения скорости пластины использовались электроконтактные датчики, размещенные в зазоре  $b_0 = 14 \text{ мм}$  на пути движения пластины. Соотношение массы ВВ к массе пластины составляло во всех случаях  $M_{ВВ}/M_{Пл} = 6$ . При проведении сравнительного анализа использовались методики расчета скорости пластин, приведенные в работах [7, 8].

Расчетная зависимость скорости полета пластины показана на рисунке (сплошная кривая 1).

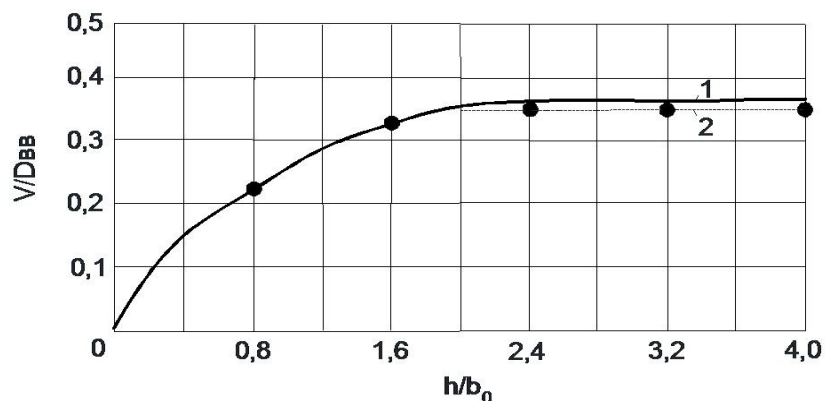


Рисунок – Изменение скорости стальной пластины  $V$ : 1 и 2 соответственно расчетный и экспериментальный графики скоростей в зависимости от пройденного расстояния в зазоре  $h/b_0$

Математическая задача о метании пластины конечных размеров продуктами детонации заряда ВВ в общем случае является трехмерной и нестационарной. Однако наиболее широкое практическое применение получили расчеты по упрощенным моделям, которые дают вполне приемлемые результаты. Во многих задачах по метанию пластин или цилиндрических оболочек рассматривается начальный период движения пластины, разогнанной продуктами детонации. При этом имеется в виду, что фронт детонационной

волны падает нормально к поверхности оболочки; инерционное движение оболочки после разлета продуктов детонации не рассматривается и во внимание не принимается. Такая постановка соответствует режимам сварки взрывом, при которых перемещение стенки оболочки не превышает 1,0 - 1,5 ее толщины, при этом разлет продуктов детонации не оканчивается до момента соударения.

В расчетах принималось действие нормально падающего фронта детонации на поверхность пластины. В экспериментах расчетное значение давления продуктов взрыва на поверхность метаемой пластины составляло 23,6 ГПа. Результаты исследования приведены на рис. Экспериментальная кривая (на графике обозначена пунктиром) отличается от расчетной не более чем на 3-5 %. Измеренная скорость пластин, метаемых продуктами детонации заряда ВВ с дополнительной массой ВВ плосковолнового генератора отличается от расчетной не менее чем на 10-12%. В экспериментальной физике с ударными волнами такой результат не всегда оказывался корректным.

### Перечень ссылок

1. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnik, N.E. Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating // Combustion, Explosion, and Shock Waves-Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 239-242
2. Соболев В.В., Ищенко Б.С., Куливар В.В., Романова А.С. Физико-технические особенности оптической системы инициирования зарядов взрывчатых веществ // Перспективи розвитку будівельних технологій [Текст]: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. – Д.: Національний гірничий університет, 2017. – 135 с. – Укр. та рос. – С. 126-128.
3. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 39, Issue 3, 2003, Pages 105-110.
4. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnev, N.E., Petrova, N.A. On the mechanism of ignition of energetic materials by a laser pulse // Chemical Physics Reports Volume 15, Issue 3, 1996, Pages 457-462
5. Соболев В.В., Ищенко Б.С., Куливар В.В., Романова А.С. Способ возбуждения плоских детонационных волн в тонкослойных зарядах взрывчатых веществ // Перспективи розвитку будівельних технологій: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р.– Д.: Національний гірничий університет, 2017. – С. 112-114.
6. Sobolev V.V., Shiman L.N., Nalisko N.N. Kirichenko A.L. Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, – 2017 – №6 – Р. 53-60.
7. Альтшулер Л.В. Применение ударных волн в физике высоких давлений // Успехи физических наук. – 1965 -Т.85, №2. – С. 197-258.
8. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. – Москва: Энергоатомиздат, 2010. – 764 с.
9. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск, 1980. – 241 с.
10. Соболев В.В., Кириченко А.Л., Соляник О.В. Оценка давления на стенки зарядной камеры с учетом изоэнтропы продуктов детонации ВВ и ударной адиабаты породы // Материалы XI Междунар. научно-технич. конференции «Разработка, использование и экологическая безопасность современных гранулированных и эмульсионных взрывчатых веществ» Кременчуг-Свалыва, 01-07 февраля 2015 г. – Кременчуг: КрНУ, 2015. – С. 7-9.

УДК 621.797:621.664

**Курляк А.В.,** руководитель группы, **Мельников Д.В.,** инженер 1 категории  
(Государственное предприятие «Научно-производственное объединение «Павлоградский химический завод», г. Павлоград, Украина)

**Куливар В.В.,** аспирант каф. строительства, геотехники и геомеханики  
(Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина)

## МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПЛОСКОГО ФРОНТА ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИНИЦИИРОВАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Традиционные способы создания в металлах ударных волн заданного профиля относятся главным образом к области машиностроения и, в частности, к процессам и машинам обработки давлением. Наряду с классическими технологиями обработки давлением такие операции как штамповка, сварка, упрочнение, резка, синтез материалов с использованием энергии взрыва за последние несколько десятков лет приобрели статус традиционных [1]. Взрывные способы воздействия на различные вещества пока остаются безальтернативными в экспериментальной физике ударных волн [2], решая фундаментальные научные проблемы и вопросы создания новых технологий [3].

Наибольшее распространение получили два способа обработки материалов взрывом – плоскими ударными волнами и коническими (которые ошибочно иногда называют цилиндрическими) [4]. Для реализации этих способов разработаны десятки устройств, однако в данной работе исследуется один тип устройства, предназначенный для генерирования в обработанном материале плоской ударной волны [5]. Недостатком этих устройств заключается в применении специальных плосковолновых генераторов детонационных волн [6]. Большой практический интерес представляют схемы обработки ударными волнами с заданным профилем волны: плоским, цилиндрическим, сферическим и др. Однако эксперименты оказываются как правило энергозатратными [5] и дорогостоящими, а в случае применения стандартных способов инициирования – часто принципиально невыполнимыми, требующих использования больших дополнительных масс взрывчатых веществ (ВВ), что делает невозможной корректную оценку параметров.

С разработкой лазерного способа инициирования [7] и светочувствительных ВВ [8, 9] стало возможным осуществлять обработку материалов сверхкороткими импульсами на больших поверхностях, имеющих рельеф любой сложности, например, поверхность цилиндра [10]. В работе использовалась экспериментальная установка, схема которой приведена на рис. 1 [11]. В качестве источника излучения использовался твердотельный оптический квантовый генератор (1) на неодимовом стекле ГОС-30М, работающий в режиме генерации добротности резонатора. Длительность лазерного импульса 30 нс, энергия в импульсе 100 мДж, длина волны излучения 1,06 мкм. Лазерный пучок ограничивался диафрагмой (2) по уровню интенсивности 0,8. Часть излучения отщеплялась стеклянной пластиной (3) для измерения энергии лазерного импульса калориметром (8) ИКТ-1Н. Призма (4) обеспечивала поворот лазерного луча в направлении заряда ВВ (6, 7), а рассеивающая линза (5) расширяла таким образом, что диаметр луча на поверхности слоя инициирующего светочувствительного ВС-2 (6) составлял 90 мм, перекрывая основание заряда (7) диаметром  $D = 80$  мм. Слой ВС-2 (6) имел массовую плотность  $300 \text{ мг/см}^2$  (толщина покрытия порядка 2 мм). Заряд ВВ (7) представлял собой цилиндр из литого тротила высотой  $h = 25$  мм, диаметром  $D = 80$  мм.

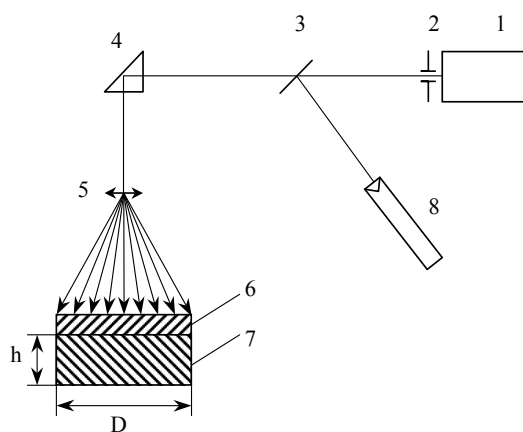


Рисунок – Схема возбуждения плоского фронта детонационной волны в заряде ВВ

Заключение. Получаемые результаты по метанию пластин отличаются высокой воспроизводимостью конечных результатов, высокой точностью относительно теоретических оценок. Предлагаемый метод ударно-волновой обработки может служить базовым образцом для стандартизации экспериментальных исследований с плоскими ударными волнами.

#### Перечень ссылок

1. Дерibas А.А. Физика упрочнения и сварки взрывом. – Новосибирск: Наука, 1980. – 251 с.
2. Альтшулер Л.В. Применение ударных волн в физике высоких давлений // Успехи физических наук – 1965. -Т.85, №2. – С. 197-258.
3. Соболев В.В. Физика импульсной обработки материалов. Коллективная монография / А.В. Ананьин, Т.Р. Балан, Н.И. Боримчук и др. – Днепропетровск: Арт Пресс, 2003. – 336 с.
4. Физика высоких плотностей энергии / Под ред. П. Кальдиолы и Т. Кнопфеля. – Москва: МИР, 1974. – 484 с.
5. Соболев В.В., Чернай А.В. Применение ударных волн в экспериментальной минералогии // Минералогический журнал. – 1995. – №3. – С.15-25
6. Соболев В.В., Таран Ю.Н., Губенко С.И. Синтез алмаза в чугунах // Металловедение и терм. обработка металлов. – 1993. – №1. – С.2-6.
7. Chernai, A.V., Sobolev, V.V. Laser method of profiled detonation wave generation for explosion treatment of materials // Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov Issue 5, September 1995, Pages 120-123
8. Чернай А.В., Соболев В.В., Чернай В.А. и др. Лазерное инициирование взрывчатых составов на основе 3-гидразино-4-амино-1,2,3-триазолмедь (II) перхлорат // Физика горения и взрыва. – 2003. – №3. – С.105-110.
9. Chernai A.V., Sobolev V.V., Chernai V.A., Ilushin M.A., Dlugashek A. Laser Ignition of Explosive Compositions Based on di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazole)-Copper(II) Perchlorate // Combustion, Explosion, and Shock Waves. – 2003. – V.39, №3. – P.335-339.
10. Соболев В.В., Куливар В.В. Кириченко А.Л., Зазимко В.И. Способ формирования сходящихся цилиндрических ударных волн // 12-та Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів та студентів (2018): Перспективи розвитку будівельних технологій. – Дніпро, НГУ, 2018. – С. 136-141.
11. Чернай А.В., Соболев В.В., Чернай В.А. и др. Обработка многослойных материалов плоскими ударными волнами // Высокоэнергетическая обработка материалов /Сб. науч. тр. НГАУ - №8. - Днепропетровск: Сич, 1999. – С.221-227.

УДК 621

Баскевич А.С., к-т физико-математических наук, с.н.с.

(Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепр, Украина)

## КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ УГЛЕРОДНЫХ И УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЦЕПОЧЕК КАМЕННОГО УГЛЯ

Развитие новых энергосберегающих и экологически безопасных технологий переработки углей требует создания новых способов дестабилизации химических связей в компонентах угля. Поведение наноструктуры угля особенно при одновременном воздействии более двух физических факторов, действие которых характерно для природного минералообразования и углефикации (давление, температура, электрическое поле, магнитное поле, флюиды), не изучалось. Каждый из перечисленных факторов мог нарушить состояние равновесия в минеральной системе, инициировать развитие тех или иных химических процессов и сыграть ведущую роль в формировании физико-химических свойств каменного угля.

Впервые в области физико-химической механики углей, исследующей их свойства, причины и механизмы возникновения в структуре нестабильных состояний, получены новые результаты [1-9]. Становится таким образом очевидной актуальность исследований кинетики зарождения и роста новых углеводородных и углеродных фаз, роли поверхности в химических реакциях, динамики изменения свойств органической массы угля в процессе углефикации, квантово-механических закономерностей, проявляющихся в процессе формирования компонентного состава органической массы угля при воздействиях физических полей различной природы.

Предложена физико-математическая модель состоянию устойчивости химических связей в компонентах угля при электрофизических воздействиях. Результаты расчета показаны на рис. 1 и рис.2.

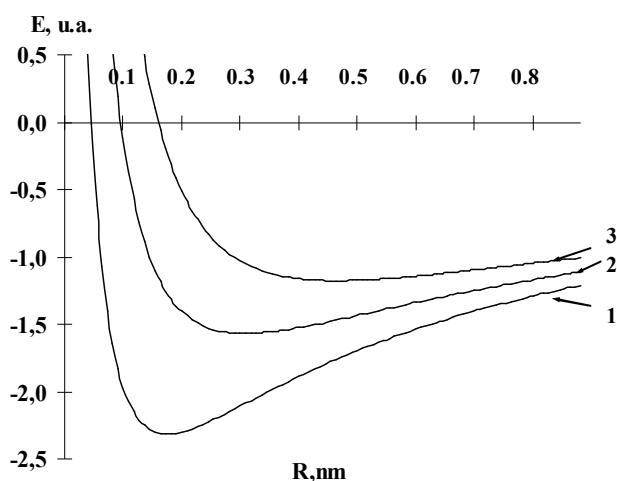


Рис. 1. Влияние «лишних» электронов на энергию связи соседних атомов углерода молекулы: 1 – энергия невозмущенной связи С-С; 2 – энергия связи С-С с учетом влияния на нее лишнего электрона; 3 – энергия связи С-С с учетом влияния на нее двух лишних электронов

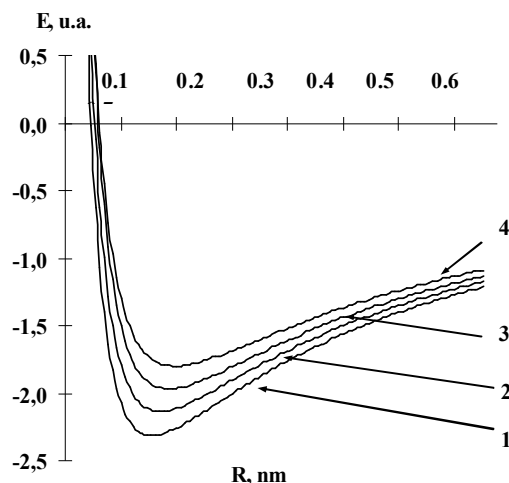


Рис. 2. Характер изменения энергии связи от заряда  $Z=2$ , который находится на расстоянии  $H$  от середины этой связи: 1 –  $H=6$ ; 2 –  $H=5$ , 3 –  $H=4$ ; 4 –  $H=3$



Показано, в частности, что при воздействии внешнего слабого электрического поля часть твердой фазы каменного угля переходит в газ [10]. Предполагается, что основная доля подвижных компонентов образуется при разрушении углеродных и углеводородных цепочек.

По результатам действия электрическое стимулирование химических процессов в углях аналогично механохимической активации, исследуемой в работах Т.М. Хренковой (1973), Г.Д. Фролова (1988) и др. однако в случае механохимического активирования процесс перехода угля в газ сопровождается высокоскоростным разложением угля., что вероятно связано с разрушением цепочек, переходящих в состояние неустойчивости из-за количественного дефицита атомов в цепочке.

Квантово-механическая оценка влияния внешних элементарных электрических зарядов на устойчивость химической связи свидетельствует о снижении энергии между атомами углерода и разрыве связей в случае увеличения количества свободных электронов, что подтверждается данными исследований ЭПР и ИКС [2, 3].

Результаты работы могут быть использованы при разработке технических и социально-экологических проектов в угледобывающей промышленности

### Перечень ссылок

1. Соболев В.В., Чернай А.В., Черняк С.А. Роль электрического тока в стимулировании деструктивных процессов в каменном угле // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Техн. науки. – 2006. – Приложение №9. – С. 45-51.
2. Соболев В.В., Черняк С.А. Фазовые превращения в каменном угле при воздействии магнитных полей слабой напряженности // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників–2006". - Д.: НГУ, 2006. – С.115-118.
3. Соболев В.В., Чернай А.В., Баскевич А.С. Изменение энергии связи углеводородных цепочек каменного угля при физико-механических воздействиях // Форум гірників – 2009. Матеріали міжнар. конф. "Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання". – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2009. – С. 179-186
4. Соболев В.В., Баскевич А.С., Билан Н.В. и др. Устойчивость наноструктуры каменного угля при воздействии электрического тока // Науковий вісник НГУ. – 2011. – №6. – С. 80-84
5. Пивняк Г.Г., Соболев В.В., Филиппов А.О. Электрохимическая активация наноструктурных компонентов каменного угля // Доп. НАН Украины. – 2012. – №1. – С. 89-94.
6. Пивняк Г.Г., Соболев В.В., Баскевич А.С. Устойчивость углеродсодержащих фаз в углях при прохождении слабого электрического тока // Доп. НАН Украины. – 2012. – №2. – С. 107-113.
7. Sobolev V., Bilan N., Filippov A., Baskevich A. Electric stimulation of cemicl reactions in coal // Technical and Geoinformational systems in Mining. – Leiden: CRC Press/Balkema, 2011. – S. 125-130.
8. Соболев В.В., Филиппов А.О., Самовик Д.В. и др. Изменения структуры каменных углей при воздействии слабого магнитного поля // Вісник Кременчуцького державного технічного університету ім. Михайла Остроградського. – 2012. – №1. – С.143-148.
9. Pivnyak, G.G., Sobolev, V.V., Filippov, A.O Phase transformations in bituminous coals under the influence of weak electric and magnetic fields // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu Volume 5, 2012, Pages 43-49.
10. Соболев В.В., Чернай А.В., Зберовский В.В. и др. Физическая механика выбросоопасных углей. – Запорожье: Привоз Принт, 2014. – 304 с.

УДК 541.8.002

**Забора В.Ю., студент гр. 184М-17-3****Научный руководитель: Соболев В.В., д.т.н., проф. кафедры строительства, геотехники и геомеханики***(Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина)*

### **ЗАВИСИМОСТЬ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖКИ ВСПЫШКИ СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ВВ ОТ ПЛОТНОСТИ ЭНЕРГИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Для разработки оптических детонаторов важными являются результаты измерения задержки вспышки взрывчатого вещества (ВВ). В [1] показано, что задержки вспышки азид свинца практически не зависят от размера облучаемой площадки. Следовательно, температура очагов разогрева, вызывающих инициирование, в первом приближении, постоянна. Поэтому, можно сделать вывод, что они реализуются в условиях одинаковой освещенности.

В работе [2] отмечено, что для тринитрорезорцината свинца (ТНРС) и гремучей ртути в критических условиях задержка вспышки при воздействии лазерного моноимпульса по открытой поверхности образца ВВ с ростом давления  $P_{пр}$  уменьшается от 80 – 100 мкс до 1 – 5 мкс при  $P_{пр} = 20$  кбар (где  $P_{пр}$  – давление прижатия образца ВВ к оптическому стеклу). Этот эффект связан с расширением продуктов взрыва с поверхности и приходом волны разрежения. Увеличение  $E$  при постоянном  $P_{пр}$  в 5 – 10 раз снижает задержку вплоть до совпадения с длительностью импульса [3]. Инициирование всех исследованных азидов (свинца, серебра, кадмия) сопровождается минимальной задержкой ( $\leq 1$  мкс), резким световым и звуковым эффектом, разрушением пластины, прижатой к поверхности ВВ.

Зажигание тетразена коротким и длинным импульсами требует прижатия поверхности образца к пластине. Воздействие по открытой поверхности даже при наивысших значениях плотности энергии лазерного излучения  $E$ , достигавших  $100 \text{ Дж/см}^2$ , приводит к выгоранию этого ВВ без дальнейшего развития горения, так же, как это происходит со вторичными ВВ.

Практический и научный интерес вызывают исследования зависимости времени задержки воспламенения от плотности энергии излучения светочувствительных взрывчатых композитов на основе комплексных ВВ [4-7], проявляющих высокую чувствительность к действию лазерного импульса. Однако только в работе [8] была решена эта задача, и то только для воздействия излучения оптического квантового генератора (лазера), работающего в режиме свободной генерации ( $\tau_{и} \approx 30 \cdot 10^{-6}$  с).

На рисунке представлена полученная нами зависимость времени задержки воспламенения на примере светочувствительного взрывчатого композита ВС-2 [9] от плотности энергии излучения (ВС-2 – иницирующее светочувствительное взрывчатое вещество характеризуется аномально высокой чувствительностью только к действию лазерного излучения. Идея, разработка, компонентный состав и технология изготовления осуществлены специалистами Санкт-Петербургского государственного технологического университета и Национального технического университета «Днепровская политехника»). В исследованиях использован лазер, работающий в импульсном режиме. Длина волны излучения лазера на неодимовом стекле равна 1,06 мкм, время генерации излучения в режиме моноимпульса составляет  $22 \cdot 10^{-9}$  с.

Время задержки вспышки, отсчитываемое от начала генерации, даже вблизи порога инициирования, было всегда меньше длительности короткого импульса, и с увеличением энергии падающего излучения в целом наблюдалась тенденция к его снижению.

Такой результат качественно соответствует картине, полученной для азида свинца в работе [10], что свидетельствует о единой природе воспламенения взрывчатых веществ.

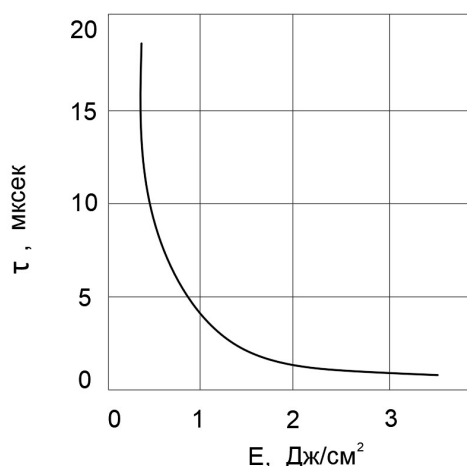


Рисунок – Залежність часу затримки запалювання ВС-2 від енергії лазерного випромінювання

#### Перечень ссылок

1. Александров Е.И., Ципилев В.П. Исследование размерного эффекта при лазерном инициировании прессованного азид свинца. Влияние распределения световой энергии на поверхности ВВ на критические световые потоки // Физика горения и взрыва –1983. – Т.19, №1 – С.78–80.

2 Карабанов Ю.Ф., Боболев В.К. Зажигание инициирующих взрывчатых веществ импульсным лазерным излучением // Докл. АН СССР – 1981 –Т.256, №5 – С.1152–1155.

3 Соболев В.В., Чернай А.В., Чернай В.А., Білан Н.В. Фізична модель запалювання лазерним моноімпульсом світлочутливих речовин з великою густиною розсіювачів // Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників –2007” – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – С.174-181.

4. Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 39, Issue 3, 2003, Pages 105-110.

5 Chernai, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., et al. Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating // Combustion, Explosion, and Shock Waves. Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 239-242.

6. The method of obtaining mechanical loading pulses based on a laser initiation of explosion of explosive coatings / Chernaj, A.V., Sobolev, V.V., Ilyushin, M.A., Zhitnik, N.E. // Fizika Goreniya i Vzryva. Volume 30, Issue 2, March 1994, Pages 106-111.

7. Chernaj, A.V., Sobolev, V.V. Laser method of profiled detonation wave generation for explosion treatment of materials // Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov. – Issue 5, September 1995, Pages 120-123.

8. Александров Е.И., Вознюк А.Г. Влияние статистики поглощающих неоднородностей на лазерное инициирование взрывчатого разложения // Физика горения и взрыва – 1988 – №6. – С.98–100.

9. Чернай А.В., Соболев В.В., Чернай В.А., Илюшин М.А. и др. Зажигание взрывчатых веществ импульсным лазерным излучением // Физика импульсной обработки материалов. Днепропетровск: Арт-ПРЕСС, 2003. – С. 267-314

10. Александров Е.И., Ципилев В.П. Влияние режима генерации на особенности размерного эффекта при лазерном инициировании прессованного азид свинца // Физика горения и взрыва. – 1982. – №6. – С.60–62.

УДК 622.023:539.217.5

**Камчатный А.А., младший научный сотрудник***(Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины, г. Днепр)*

### **ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В КАМЕННЫХ УГЛЯХ, ВЫЗВАННЫЕ ВЛИЯНИЕМ СЛАБОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

В области исследований угля существует ряд актуальных задач фундаментального характера, связанных с механизмами, инициирующими образование угля, и процессами углефикации в целом; проявлением изотопного эффекта в радикальных реакциях и возможным накоплением изотопа  $^{13}\text{C}$  в компонентах угля; особенностями молекулярной структуры и их связи с физическими свойствами различных марок угля; теплопроводностью и устойчивостью наноструктуры при различных способах физических воздействий; причинами и механизмами формирования состояний, идентифицируемых как выбросоопасные, и т. д.

Влияние слабых электрических и магнитных полей на состояние устойчивости микроструктуры каменного угля, на стимулирование химических реакций и фазовых переходов изучалось впервые в [1-10]. Явление влияния слабых магнитных полей, спин-селективные химические реакции в жидкостях и газах описаны в [11].

Влияние магнитного поля на систему «органическая масса угля – радикалы», кроме стимулирования магнитного сценария межрадикальных реакций, приводит к стабилизации и росту углеродных структур с регулярным расположением атомов. Эффект может быть использован при разработке физико-химических моделей процесса углефикации и формирования твердых углеродных фаз.

Исследования показали, что химические реакции, протекающие в угольном веществе при воздействии слабого магнитного поля, направлены главным образом на образование устойчивых молекул газа в результате рекомбинации свободных радикалов. Кроме этого, свободные радикалы вступают в химические реакции с компонентами органической массы угля, наращивая, таким образом, кристаллическую составляющую структуры.

Образование угля и вопросы подавления газодинамических явлений в шахтах можно условно рассматривать как одну физико-химическую задачу, связанную в целом с устойчивостью системы уголь–газ, одним из решений которой является имитация процесса углефикации. Для создания угольногазовой системы с большей степенью устойчивости, можно использовать магнитные поля слабых напряженностей.

В настоящее время экспериментально и теоретически доказано, что магнитное поле является стимулирующим фактором развития химических превращений между свободными радикалами газовой и жидкой среде. Причем, кинетика таких реакций в жидкостях существенно зависит от динамики молекулярных движений, которая определяется структурой жидкости и свойствами радикальных пар.

На сегодняшний день в литературе какие-либо серьезные сообщения о спиновых эффектах в твердофазных реакциях (ТФР) отсутствуют. Отсутствуют также теоретические наработки, направленные на выявление влияния слабых магнитных полей на химические реакции, протекающие в твердой фазе. Анализ получаемых нами на протяжении многих лет экспериментальных результатов по терромагнитной обработке твердофазных систем (минералов, горных пород, каменных углей), может быть интерпретирован именно с точки зрения проявления спиновых эффектов. Практически все исследованные материалы были пористыми или использовались в виде спрессованного порошка. Поэтому наиболее вероятно, что химические превращения проходят на поверхностях частиц порошка, пор, трещин и в межзерновых границах. Такой вывод напрашивается прежде всего из соображений о необходимости условий пусть даже и весьма ограниченной под-

вижности реакционных комплексов.

Развитие нового научного направления – спиновые проявления в химических превращениях твердых конденсированных сред – требует решения следующих задач: оценки динамики энергии химических связей молекулярных комплексов на твердых поверхностях при влиянии тепловых и магнитных полей, динамики взаимодействия радикальных пар и других подвижных компонентов в электростатическом поле поверхностных зарядов. Большой интерес представляют процессы изотопного фракционирования  $^{12}\text{C}$  и  $^{13}\text{C}$  в фазах угля после магнитной, тепловой и электрической обработок, их одновременного воздействия в различных сочетаниях.

Практическое применение полученных результатов по магнитной обработке угля может быть непосредственно связано с созданием нового способа подавления выбросоопасного состояния в углях.

### Перечень ссылок

1. Соболев В.В., Черняк С.А. Фазовые превращения в каменном угле при воздействии магнитных полей слабой напряженности // Матеріали міжнародної конференції "Форум гірників–2006" - Д.: НГУ, 2006. – С.115-118.
2. Соболев В.В., Чернай А.В., Черняк С.А. Магнитное стимулирование фазовых превращений в каменном угле // Strategy of Quality in Industry and Education. Vol. 1 – Varna, 2006. – P.62-65.
3. Соболев В.В., Чернай А.В., Билан Н.В., Филиппов А.О. Образование газа как результат механодеструкции органической массы угля // Форум гірників – 2009. Матеріали міжнар. конф. "Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання". – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2009. – С. 186-191.
4. Соболев В.В., Филиппов А.О. Магнітне стимулювання фазових перетворень у вугіллі марки Ж // Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений. Сб. научн. тр. Вып 15. – Донецк: Норд-Пресс, 2009. С. 97-99
5. Соболев В.В., Поляшов А.С., Тарасенко В.Г. О природе шумов при измерениях электрических характеристик углей // Уголь Украины, 2010 – №4 – С. 41-42.
6. Соболев В.В., Баскевич А.С., Билан Н.В., Филиппов А.О. Устойчивость наноструктуры каменного угля при воздействии электрического тока // Науковий вісник НГУ. – 2011. – №6. – С. 80-84
7. Пивняк Г.Г., Соболев В.В., Филиппов А.О. Электрохимическая активация наноструктурных компонентов каменного угля // Доп. НАН України. – 2011. – № 1. – С. 89-94.
8. Pivnyak, G.G., Sobolev, V.V., Filippov, A.O. Phase transformations in bituminous coals under the influence of weak electric and magnetic fields // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu Volume 5, 2012, Pages 43-49.
9. Sobolev V.V., Molchanov A.N., Bilan N.V. Electrically stimulated phase transformations in bituminous coals // Topical issues of resource-saving technologies in mineral mining and processing. Multi-authored monograph. – Petroani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2018. – 270 s, – P. 186-21
10. O. Molchanov, D. Rudakov, V. Sobolev, O.Kamchantnyy // Destabilization of the hard coal nanostructure by a weak electric field // E3S Web of Conferences 60, 00023 (2018); DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000023>
11. Бучаченко А.Л., Сагдеев Р.З., Салихов К.М. Магнитные и спиновые эффекты в химических реакциях. Новосибирск: Наука, 1978. – 296 с.

УДК 534.2

Ушеренко Ю.С., к.т.н., доцент, заведующая Научно-исследовательской лабораторией ИЛ «Новые материалы и технологии»

(Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ В РЕЖИМЕ СВЕРХГЛУБОКОГО ПРОНИКАНИЯ МИКРОЧАСТИЦ

Основными факторами, определяющими конкурентоспособность между производителями конструкционных материалов, являются ряд таких показателей, как создание новых эффективных технологий производства и материалов с новым комплексом физико-химических и механических свойств, снижение затрат энергии на производство новых материалов и др.

Одним из экономически целесообразных и конкурентоспособных направлений является разработка новой технологии создания композиционных материалов, которая может быть реализована в условиях высокоэнергетического и динамического воздействия на матричный материал [1]. Эффективным физическим "инструментом", изменяющим физические параметры в объеме твердого тела, является процесс сверхглубокого проникания микрочастиц в металлы (СП) [2]. Этот инструмент позволяет выполнить следующие задачи:

- ввести микрочастицы-ударники в объем металла на глубину в сотни-тысячи калибров ударников или синтезировать в твердом теле новые химические элементы, в том числе различные изотопы этих химических элементов;
- перенести или сконцентрировать легирующие химические элементы в локальные длинномерные зоны внутри металлической матрицы;
- создать в объеме длинномерных зон из вводимого материала и матричного материала химические соединения или устойчивые метастабильные соединения;
- преобразовать длинномерные легируемые зоны в армирующие волокна и сформировать композиционные материалы.

Глубина проникания вводимого легирующего материала при СП и синтез легирующих элементов в матричном материале, армированном волокнами композиционных материалов, главным образом зависит от анизотропии физических свойств в объеме [1, 3].

В качестве матричного материала часто используют алюминий и его сплавы, так как существенные изменения механических и физико-химических свойств этой группы конструкционных материалов происходят при низкой концентрации легирующих элементов [4, 5]. Алюминиевые сплавы играют значительную роль в машиностроении [5]. Например, многие элементы конструкций аэрокосмических аппаратов изготавливаются из сплавов алюминия, включая систему алюминий-кремний.

Условия, при которых проявляются новые физические эффекты, характеризуются воздействием какой-либо обработки на "предварительно дестабилизированную микроструктуру твердого тела" [6], т.е. на микроструктуру с запасом дополнительной внутренней энергии. Микроструктурные изменения, фазовые превращения, синтез элементов и многие другие явления можно объединить одной идеей, впервые сформулированной В. Соболевым в [6] и подтвержденной экспериментально несколькими новыми эффектами в [7-10].

Динамическая прошивка поликристаллического алюминиевого сплава позволяет за доли секунды сформировать композиционный материал. На основе полученных экспериментальных результатов можно сделать следующие основные выводы:

- при обработке цветных металлов в режиме СГП значительно увеличивается химическая активность обработанного металла и ускоряется процесс его травления (на примере меди процесс ускоряется почти в 100 раз);
- в сплавах меди и алюминия существует значительный градиент плотности по объему. Это является одной из причин того, что глубина проникновения легирующих частиц в этих сплавах существенно (в 2...3 раза) больше, чем в чистых металлах;
- в сплавах разноплотных цветных металлов (медь и алюминий) в режиме СГП реализуется объемное легирование деталей как за счет введения струи микрочастиц (SiC), так и за счет синтеза новых химических элементов: Zn, изотопов калия, лантана и церия;
- изменение физико-химических свойств волоконного армирующего материала происходит за счет наномодификации материала канальных зон: дробления элементов структуры, синтеза дополнительных легирующих элементов и создания высоколегированного метастабильного состава в канальных зонах, например, увеличения концентрации легирующих элементов в алюминиевом сплаве от 0,35 масс. % до 26 масс. %.

### Перечень ссылок

1. Ушеренко С.М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. – Минск: НИИ ИП с ОП, 1998. – 210 с.
2. Usherenko S., Figovsky O. Superdeep Penetration as the New Physical Tool for Creation of Composite Materials // Multi-functional Materials and Structures. 2008 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland, Proceeding., International Conference on Multifunctional Materials and Structures, July 28-31, 2008, Hong Kong, P.R. China. – 2008. – P. 395–402.
3. Процесс сверхглубокого проникания. Глава 19 / С.М. Ушеренко, Ю.С. Ушеренко, Е.И. Марукович // Коллективная монография "Перспективные технологии" под редакцией академика НАН РБ В.В. Клубовича. – Витебск: УО "ВГТУ", 2011. – 599 с. – С. 442–481.
4. Особенности структурообразования алюминиевых сплавов под воздействием сгустков космической пыли / А.А. Андрушевич, С.М. Ушеренко, А.С. Калиниченко, А.И. Белоус // Материалы 1 Белорусского космического конгресса. – Минск: ОИПИ НАН Белоруссии, 2003. – С. 41–44.
5. Марукович Е.И., Ушеренко Ю.С., Андрушевич А.А. Изменение свойств алюминиевых сплавов при динамической обработке // Высоко-энергетическая обработка материалов. Сборник научных статей / Отв. ред. В.В. Соболев. – Днепропетровск: Арт-Пресс, 2009. – С. 113–126.
6. Соболев В.В. Методы комплексной обработки давлением и их применение для реализации физико-химических превращений в углеродсодержащих материалах: Автореф. дис. ... докт. техн. наук: 01.04.07 и 05.03.05 / Соболев, Валерий Викторович. – Краматорск, 1990. – 32 с.
7. Sobolev, V.V., Usherenko, S.M. Shock-wave initiation of nuclear transmutation of chemical elements // Journal De Physique. IV : JPVolume 134, August 2006, Pages 977-9828th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dyanmic Loading; Dijon; France; 11 September 2006 до 15 September 2006; Код 68460
8. Sobolev V.V., Baskevich A.S., Shiman L.N., Usherenko S.M. Mechanism of thick metal walls penetration by high-speed microparticles // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2016. – №6. – P. 74-82.
9. Марукович Е.И., Ушеренко Ю.С. Особенности структурных изменений в меди при динамическом легированию // Литье и металлургия. – 2012, – № 4 (80). – С. 120-125.
10. Формирование новых материалов на основе литейного алюминиевого сплава / С.М. Ушеренко, Е.И. Марукович, Ю.С. Ушеренко и др. // ИФЖ – 2011. – Т. 84, № 5. – С. 1095-1099.

УДК 622.504.75.05

**Чоботько И.И., аспирант, кафедры горных машин и инжиниринга***(Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина)***Баскевич А.С., к-т физико-математических наук, с.н.с.***(Украинский государственный химико-технологический университет, г. Днепр, Украина)*

## ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ МЕХАНИЗМА САМОВОЗГОРАНИЯ УГЛЕЙ И ПОРОД ТЕРРИКОНОВ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В области исследований физико-химических причин и механизмов самовозгорания отвалов угольных шахт существуют проблемы, связанные с отравлением атмосферы вредными газами и насыщением ее наноразмерными минеральными частицами. По данным [1] горящих терриконов только в районе Донбасса более 350. Случаются взрывы терриконов, в результате которых выбросы десятков и сотен тысяч тонн раскаленной породы приводят к многочисленным человеческим жертвам. Такие события, например, произошли в 1962 году – взрыв террикона шахты им. Ильича бывшего треста «Кадиевуголь», шахты 5/6 им. Димитрова бывшего треста «Красноармейскуголь» (1966 г.) и др.

В работах Н.П. Зборщика, В.В. Осокина, Б.С. Панова, М.И. Гамова, И.В. Гордеева и многих других ученых обсуждаются возможные физико-химические механизмы самовозгорания, предлагаются соответствующие модели и гипотезы исследуемых процессов [2-4], в том числе техногенного минералообразования [2], глубже раскрывающие физическую суть явлений. В своей работе Б.С. Панов и Ю.А. Проскурня. предлагают учитывать разработанную ими модель «при оценке склонности угольных отвалов к самовозгоранию и применять для решения вопросов экологической минералогии в пределах Донецкого каменноугольного бассейна, а также других старопромышленных угольных районах мира». Авторы [1] считают, что способность углей, горючих пород почвы, кровли и межугольных прослоев адсорбировать молекулярный кислород атмосферы и развитие химических реакций окисления являются причиной самовозгорания. Однако ни в одной работе не приведена информация о механизмах преодоления энергетического барьера той или иной реакции окисления, не рассматриваются причины разрыва связей – процесса, предшествующего образованию новых химических соединений.

Цель работы – обоснование применения физико-математической модели элементарного акта химической реакции.

Возгорание терриконов угольных шахт является следствием реакций окисления с участием кислорода как окислителя, сопровождающихся выделением большого количества тепла. В целом сценарий реакций окисления можно представить в виде таких условных этапов как передача (одного или нескольких) электрона атомом (восстановителем) атому окислителя (например, атомом натрия – атому хлора; атомом водорода – атому кислорода и др.) Первый акт передачи электрона сопровождается образованием химической связи восстановителя с окислителем:  $\text{Na} + \text{Cl} = \text{NaCl}$ ;  $2\text{H} + \text{O} = \text{H}_2\text{O}$  и т.д. К металлам восстановителям относятся калий, натрий, алюминий, цинк и др. Водород, углерод, угарный газ, углеводороды, азотоводороды, бороводороды и др. являются типичными представителями неметаллов восстановителей.

В работе предполагается, что преодолению барьера химической реакции могут способствовать энергия напряженности поля поверхностных электрических зарядов [5] и запасенная микроструктурой минералов дополнительная энергия, накопленная в дефектах кристаллической решетки [6,7]. И в первом, и во втором случае ключевая роль принадлежит электрическим зарядам, в поле которых как показывают исследования [5-11], любая химическая связь теряет устойчивость. Для оценки влияния на степень устойчивости химической связи и соответственно на степень «готовности» вещества к переходу в состояние восстановителя выбрана физико-математическая модель, описанная в [8] и



апробированная неоднократно в различных приложениях [5, 9- 11]. Разработанный квантово-механический метод расчета устойчивости вещества (химической связи), основанный на решении задачи о движении электрона в поле двух кулоновских центров, учитывает влияние третьего кулоновского центра на химическую связь [12]. Метод апробирован при расчете устойчивости линейных цепочек атомов водорода и углерода. Полученные электронные термы и межатомные расстояния удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными. Решение квантовомеханической двухцентровой задачи обобщено на N-кулоновских центров. Этот подход позволил получить решение задачи квантования электрона в поле линейной молекулярной цепочки. В частности, показано, что при увеличении количества валентных электронов повышается минимум энергии цепочки и увеличиваются межцентровые расстояния. При определенном количестве «лишних» электронов цепочка становится неустойчивой.

### Перечень ссылок

1. Панов Б.С., Проскурня Ю.А. Модель самовозгорания породных отвалов угольных шахт Донбасса // [http://terrikon.donbass.name/ter\\_s/290-model-samovozgoraniya-porodnykh-otvalov-ugolnykh-shaxt-donbassa.html](http://terrikon.donbass.name/ter_s/290-model-samovozgoraniya-porodnykh-otvalov-ugolnykh-shaxt-donbassa.html)
2. Панов Б.С., Проскурня Ю.А. О техногенной минерализации породных отвалов угольных шахт Донбасса // Межвуз. научн. тематич. сб. "Геология угольных месторождений". – Екатеринбург, 1999. – С. 241-249
3. Зборщик М.П., Осокин В.В. Природа самовозгорания и тушения отвальных пород угольных месторождений // Уголь Украины. Март-апрель 2015. – С. 75-78.
4. Голынская Ф.А. Методика исследования самовозгорания углей в пластах // Межвуз. научн. тематич. сб. "Геология угольных месторождений". – Екатеринбург, 2001. – С. 268-270.
5. Sobolev V.V., Bilan N.V., Baskevich A.S., Stefanovich L.I. Electrical charges as catalysts of chemical reactions on a solid surface // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2018 №4, 50-58.
6. Соболев В.В., Билан Н.В. Механізми накопичення енергії під час деформування кристалів на прикладі кварцу // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №7-8. – С. 43-48.
7. Соболев В.В., Билан Н.В. До питання оцінки розчинності механоактивованого кварцу у воді // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №9-10. – С. 60-62.
8. Соболев В.В. Закономерности изменения энергии химической связи в поле точечного заряда // Доп. НАН Украины. – 2010. – №4. – С. 88-95.
9. Соболев В.В. Закономерности изменения энергии химической связи в поле точечного заряда // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2010. – №34, т. 2. – С.142-151..
10. Соболев В.В., Шиман Л.Н. Оценка устойчивости химической связи в поле электрического заряда // Матеріали міжнар. конф. "Підземні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання". – Д.: Нац. гірн. ун-т, 2009. – С. 179-186
11. Sobolev V. Synthesis of nanosized phases from an atomic carbon // Advanced Materials Research. Multi-functional Materials and Structures III. – 2010. – Vols. 123-125. – pp. 791-794.
12. Яркової Г.О. Функция Грина для задачи – электрон в поле двух кулоновских центров / Г.О. Яркової. – Днепропетровск, Химико-технологический институт, 1975. – 12 с. (Препринт АН УССР, Институт теоретической физики, ИТФ-75-54Р.

УДК 624:691

Лётка М. В., студент гр. 192м-18-1

Научный руководитель: Иванова А.П., к.т.н., доцент кафедры СГГМ

(Национальный технический университет «Днепровская политехника», г. Днепр, Украина)

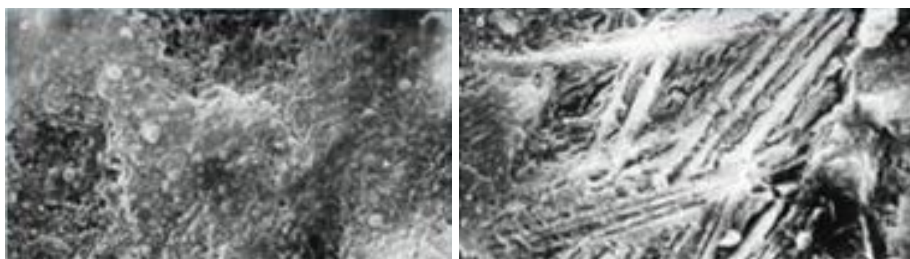
## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОБЕТОНОВ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Область применения нано-материалов постоянно расширяется и строительная индустрия давно нуждается в многофункциональном материале, который благодаря своим свойствам и характеристикам позволил бы сделать рывок вперед в развитии этой сферы. Поэтому одним из перспективных направлений исследования в области улучшения качества бетонов является реализация в их производстве нанотехнологий.

Такой материал должен был экономичным, иметь высокие физико-механические свойства. Также должна быть возможность его применения в строительных, ремонтных или восстановительных работах различной сложности, так как большинство капитальных строений были выполнены 30-40 лет назад, среди них жилые дома, заводские цеха, промышленные зоны, городские коммуникации, путепроводы, дорожные и туннельные конструкции и многое другое. Время, в совокупности с воздействием внешней среды и отсутствием плановых ремонтов разрушает их, поэтому указанные строения требуют реконструкции, ремонта, либо полной замены.

Этим многофункциональным материалом стал нанобетон, создание которого стало возможным благодаря включению в состав вместо традиционных пластификаторов - наноинициаторов, которые на молекулярном уровне изменяют структуру материала (рис.1). Структура становится кристаллизованной и армирует его [1].

Наноинициаторы представляют собой полимерные углеродные трубки поллой формы с диаметром несколько микрон и толщиной стенок несколько атомов. Состав нанобетона схож с обычным бетоном, однако



а)

б)

Рисунок 1 – Фото под микроскопом:

а – тяжелый бетон; б – с применением наноинициаторов

его структура позволяет снизить потребность в воде. Поэтому наноинициаторы позволяют создать бетон, который прочнее, морозоустойчивее, более устойчив к воздействию едких веществ и высоким температурам, легче чем традиционный бетон (табл. 1) [2].

Экспериментировать с нанодобавками в строительных материалах начали в конце 20 века. Было замечено, что при добавлении в состав бетонной смеси углеродных нанотрубок в количестве от 0,001 до 0,0001% от доли расхода вяжущего вещества, прочностные и другие физико-механические характеристики полученного материала повышаются до 40%, а по некоторым параметрам – и в 2-3 раза [3].

Первые результаты по разработке и практическому применению нанобетона были получены в 1993 году исследователем Андреем Пономаревым из Санкт-Петербурга. Дальнейшие работы по исследованию свойств нанобетонов проводились учёными из Москвы и Новочеркасска. В Кемеровской области учёные создали нанодобавку для бетонов, позволяющую повысить их прочность примерно на четверть. Наноструктурированная углеродная добавка была названа «Kemerit», используется она в строительстве жилья, дорог, мостов и при сооружении водоканалов [3].

Таблица 1

7-26

## Сравнительная характеристика нанобетона и тяжелого бетона

№п/п	Наименования показателя	Нанобетон	Тяжелый бетон
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1350/1600	2200/2500
2	Предел прочности при сжатии, МПа	35/65	4,5/78,6
3	Предел прочности при изгибе, МПа	4/8	1,5/3
4	Класс горючести	НГ	НГ
5	Термостойкость, °С	750/850	250/300
6	Класс по водонепроницаемости, W	16/20	4/8
7	Водопоглощение, % по массе	0,4/1	4,2/5,7
8	Класс по морозостойкости, F	200/500	50/150
9	Класс удобоукладываемости	П4/Р4	П4/Р4

В настоящее время в мире зарегистрировано и выпускается промышленностью более 1800 наименований нано-материалов. Самые развитые страны борются за лидерство в этой сфере. При этом доля США на рынках наукоемкой продукции составляет 36 %, Японии – 30 %, России всего 1 %, тогда как для Украины эта сфера является новой. В странах Европы создаются научные лаборатории и центры по изучению наноматериалов. В то время как в Украине эта проблема носит, в основном, фрагментарный характер. Из украинских ученых, которые проводят исследования по использованию нанотехнологий в производстве бетонов можно отметить доктора технических наук, профессора Криворожского национального университета А.А. Шишкина.

Основные преимущества наномодифицированных бетонов:

1. За счет повышенной несущей способности, при сравнительно малом весе конструкции, снижаются расходы по армированию на 30% и более. Потому как требуемый диаметр стержней будет меньше, а также меняется и схема армирования.
2. Уменьшается нагрузка на фундамент, что позволяет делать его не таким массивным. Увеличивается количество вариантов для реконструкции зданий без изменения их оснований.
3. Сооружения, построенные из наномодифицированного бетона, не требуют дополнительной гидроизоляции. Имеют низкую пожарную опасность. А за счет своей структуры, получаемой посредством микродисперсного армирования, значительно повышается трещиностойкость и упругость материала, и в целом надежность зданий. Рекомендовано для использования на сейсмоопасных территориях.
4. Общая экономия при строительстве из наномодифицированного бетона, достигается за счет упрощения и ускорения работ при возведении крупных сооружений, а также снижения затрат на транспортировку.

Несмотря на все преимущества наномодифицированного бетона, его главным недостатком является высокая стоимость, поэтому экономически целесообразно использовать его: при строительстве высотных сооружений; в мостостроении, дорожных работах и при возведении гидротехнических объектов; при строительстве сооружений на сейсмоактивных территориях, вне зависимости от климатического районирования.

#### Перечень ссылок

1. Савельев А.А. Инновационное решение в модификации сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. – 2012. – С. 52-53.
2. Иванова А.П., Труфанова О.И. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту.– 2014. – № 5 (53). – С. 150-153
3. Пономарев А.Н. Нанобетон – концепция и перспективы. Синергизм наноструктурирования цементных вяжущих и армирующей фибры // Строительные материалы. – 2007. – С. 2-4.

УДК 692.23

Семенова Г.А. студентка гр. 192м-17-1

Науковий керівник: Волкова В.Є., д.т.н., професор кафедри БГГМ

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

## ТЕХНОЛОГІЯ ОБЛАШТУВАННЯ ФАСАДІВ БУДИНКІВ ВЕНТИЛЬОВАНИМИ ФАСАДНИМИ СИСТЕМАМИ

На даний час в Україні існує багато різних технологій облаштування фасадів, тому зробити вибір не завжди є легкою задачею.

Вентильований фасад являє собою конструкцію (рис. 1), яка складається з елементів облицювання – 1 (плит або листових матеріалів) і під облицювального каркасу – 2, які, кріпляться до стіни – 3 таким чином, щоб між захисно-декоративним покриттям і стіною залишався повітряний проміжок. Для додаткового утеплення зовнішніх конструкцій між стіною й облицюванням може встановлюватися теплоізоляційний шар – 4. Конструкція під облицювального каркасу може кріпитися як на несучу, так і на самонесучу у каркасних будівлях стіну, виконану з різних матеріалів (бетон, цегла). Застосовують вентильовані фасади не тільки у новому будівництві, але й при реконструкції існуючих будівель та споруд.

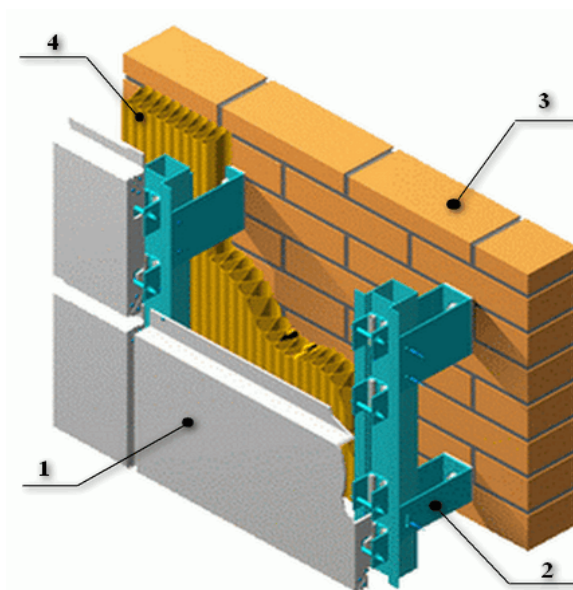


Рис. 1. Схема вентильованого фасаду

Влаштування додаткової теплоізоляції зовні будівлі краще захищає стіну від змінного замерзання й відтавання. Точка роси зміщується в зовнішній теплоізоляційний шар, внутрішня частина стіни не сиріє, і не потрібно додаткової пароізоляції. Наявність повітряного проміжку у вентильованому фасаді принципово відрізняє його від інших типів фасадів, тому що завдяки перепаду тиску цей проміжок працює за принципом дії витяжної труби. Температура повітря в ньому приблизно на три градуси вища, ніж зовні.

Для виготовлення монтажних деталей для фасадних систем в Україні використовують: оцинковану сталь, алюмінієві сплави, нержавіючу сталь. Негативно відображається на довговічності і безпечності фасадної системи, перш за все, незадовільна якість кріплення. Дуже відповідальним моментом є вибір анкерних з'єднань. Економія на них може призвести до руйнування всієї системи. Вибір утеплювача у фасадних сис-

темах з повітряним прошарком, значною мірою повинен визначатись матеріалом, що використовується в під облицювальному каркасі.

На пожежну безпеку впливає і наявність волого вітрозахисної мембрани. Не допускається застосовувати волого-вітрозахисну мембрану з мінераловатними плитами з карбованою зовнішньою поверхнею.

Під час проведеного дослідження проаналізовано вартість систем вентиляованих фасадів (табл.1):

Таблиця 1

Розрахунок вартості найбільш розповсюджених вентиляованих фасадів (ВФ) за 1м<sup>2</sup> в грн. з урахуванням ПДВ

Вид ВФ	Вартість облицювальних матеріалів, грн.	Вартість утеплювача 50 мм, грн.	Вартість утеплювача 100 мм, грн.	Вартість підсистем, грн.	Вартість кріплення, грн.	Вартість робіт, грн.	Вартість 1м.кв. фасаду без утеплювача, грн.	Вартість 1м.кв. з утеплювачем 50мм, грн.	Вартість 1м.кв. з утеплювачем 100 мм, грн.
ВФ з керамограніту	112	47	85	66	18	261	457	504	542
ВФ з фібро-цементних плит	154	47	85	69	27	278	528	575	613
ВФ з композитних панелей	207	47	85	70	31	330	638	685	723
ВФ з металевих касет	112	47	85	63	18	291	484	531	569
ВФ з металосайдингу	67	47	85	27	18	174	286	333	371

Дані ціни були представлені постачальниками цих виробів станом на жовтень 2018 року. Вартість улаштування вентиляованих фасадних систем є досить високою (табл.1), але вона дозволяє знехтувати вирівнювання несучої стіни, тим самим зменшити загальну вартість. Більше того, сама система вентиляованих фасадів дозволяє вирівнювати дефекти та нерівності поверхні завдяки профільній конструкції. Здійснювати монтаж можна в будь-яку пору року. Виходячи з ціни, найдоступнішим варіантом є ВФ металосайдингу, а от по якості, довговічності та стійкості до корозії найкращими є ВФ з керамограніту та композитних панелей. Золотою серединою і найкращим за якісно-ціновим співвідношенням є ВФ з керамограніту.

#### Перелік посилань

1. ДБН В.2.6-33: 2008 Конструкція будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд.
2. Вентилюваний фасад: матеріали, рішення, ціна. Режим доступу: <http://www.pruszynski.com.ua/ventiliruemyi-fasad/>
3. Види вентиляованих фасадів. Режим доступу: <http://www.vekm.ru/ventiliruemye-fasady/>

УДК 699.865

**Бакун В.А.** студент гр. 192м17-1**Науковий керівник: Волкова В.Є., проф. кафедри будівництва геотехніки та геомеханіки**  
(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

### УТЕПЛЕННЯ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ ЗІ ЗБЕРЕЖЕННЯМ ФАСАДУ

При реконструкції споруд будівельники стикаються з рішенням різних задач. Однією з головних задач є теплоізоляція конструкцій, так як з кожним роком норми стають дедалі жорсткішими. Особливу складність представляють завдання по утеплення будівель з історичними фасадами. Такі будівлі формують вигляд міста і охороняються законом, тому при реконструкції метою ставлять збереження їх унікального зовнішнього вигляду. У таких особливих випадках традиційне утеплення огорожувальних конструкцій зовні неможливо тому виникає необхідність розробки конструктивних рішень по утепленню стін зсередини. Рішенням таких завдань можна вибрати утеплення конструкцій зсередини. При цьому виникають деякі проблеми.

Утеплення зсередини будівлі як метод економії енергії ще не знайшов достатнього застосування в силу відомих причин. Одна з таких причин полягає у тому, що при утепленні зсередини віднімається частина житлової площі та вносить зміни у оздобленні квартир, що експлуатуються. Інша причина пов'язана з можливістю накопичення вологи усередині стіни. Для уникнення цих недоліків слід утеплювальні панелі робити досить тонкими 30 - 50 мм з дуже ефективних матеріалів, а для уникнення накопичення вологи - наносити надійний шар пароізоляції.

Основний фактор, якому слід приділити увагу це місце розміщення точки роси ,випадання конденсату, яке повинно бути якнайдалі до фасаду, і забезпечення достатнього рівня вентиляції утеплювального шару. З такими завданнями справляються пінополістирол і пінополіуретан - порівняно з раніше популярної мінеральною ватою ці матеріали набагато ефективніше за всіма критеріями. Одним з таких критеріїв є водопоглинання теплоізолюючого матеріалу. Найпоширенішими утеплюючими матеріалами у нашій місцевості є пінополістирол та мінеральна вата. У пінополістирола водопоглинання менше ніж у мінеральної вати. Цьому слід приділяти увагу, так як мокрий матеріал значно втрачає свої теплоізолюючі властивості.

Звідси можна зробити висновок про необхідність розробок конструкцій внутрішніх утеплювальних панелей. При цьому треба мати на увазі, що така панель обов'язково повинна включати пароізоляційний шар для уникнення попадання вологи в стіну. Цей шар одночасно не дозволяє зволожувати всій стіновий конструкції. А така суха стіна має більш високі термічні властивості.

Створення паробар'єра – виробники пропонують плівки для пароізоляції, укласти їх слід без найменших зазорів, обов'язково герметизувати всі стики. Паробар'єр повинен захистити утеплювач від попадання пари. Він складається з двох або трьох шарів. Перший шар має великі отвори для відводу пара. Другий шар паробар'єра являє собою армована сітка, яка виготовлена з полівінілхлориду з кроком сітки в один сантиметр. Третій шар, додатковий, шар який має паробар'єр представляє плівку з більш дрібними отворами для відводу пара. Другий та третій шари плівки повинні бути наклеєні врозбіг по отворах. Це дозволяє плівці працювати на віддачу пара зсередини і не пропускати конденсат з зовні. Тобто стіна або підставу на якому лежить паробар'єр «дихає».

Паропроникність матеріалу, що використовується для огорожувальних конструкцій є дуже важливим показником для ізоляції – чим нижче показники, тим краще, оскільки за умови, що паропроникність стіни вище – пар буде виходити назовні.

*Внутрішнє утеплення стіни, порядок виконання робіт*

Фахівці рекомендують: для утеплення цегляних стін в основному використовувати плити спіненого пінополістиролу, цей матеріал характеризується низькою теплопровідністю, стійкістю до появи цвілі, грибків, він не горючий і екологічно безпечний.

Для роботи з утеплення бетонної стіни використовують екструдований пінополістирол, товщина утеплювача розраховується за формулами, а також обов'язково враховувати особливості кліматичного поясу, розташування квартири в будинку.

Перед виконання монтажу внутрішнього утеплювального шару цегляна кладка очищається, штукатуриться, потім наноситься шпаклівка також і бетонна стіна шпаклюється в два шари, потім наносяться ґрунтовка. Після цього обов'язково укладають пароізоляційні матеріали, попередньо обробивши стіни антисептиком. Важливо, укладаючи плити пінополістиролу, обов'язково обробляти стики герметиком і клейовий розчин наносити на поверхню плити рівномірним тонким шаром. Потім на плити укладається за допомогою клейового складу армована сітка, шліфується після висихання. Після виконання всіх етапів настає черга фінішної обробки ґрунтовкою і шпаклівкою під фарбування / поклейку шпалер, або монтаж каркаса під стінові панелі (рис. 1)



Рис. 1. Схема конструкції для внутрішнього утеплення

Потім на плити укладається за допомогою клейового складу армована сітка, шліфується після висихання. Після виконання всіх етапів настає черга фінішної обробки ґрунтовкою і шпаклівкою під фарбування / поклейку шпалер, або монтаж каркаса під стінові панелі (рис. 1)

*Технічні характеристики панелей*

Декоративні панелі для стін (рис. 2) один з новітніх продуктів на будівельному ринку. Вони дозволяють вирішити відразу кілька завдань: утеплення, звукове ізолювання і, власне, декорування фасаду.

Використання готової плити набагато зручніше і скорочує час монтажу всіх прошарків для утеплення зсередини.

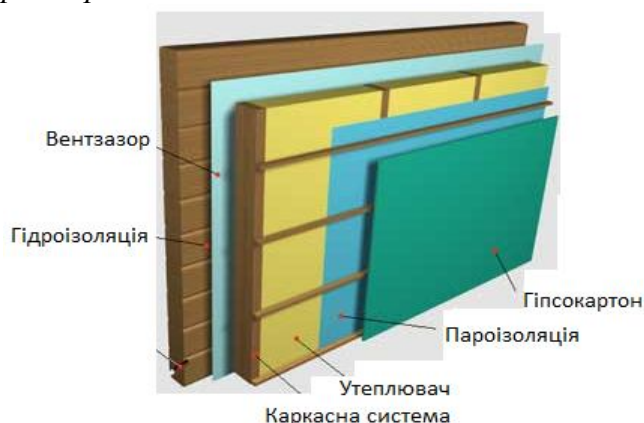


Рис. 2. Панель для внутрішнього утеплення

**Перелік посилань**

1. Утеплення будинку: види, методи, технології. Режим доступу: <https://thermomodernisation.org/vydy-uteplennia/>
2. Силаєнков Е.С. Системы утепления наружных стен «Урал» // Жилищное строительство. – 2000.
3. Совершенствование конструктивных решений теплозащиты наружных стен зданий / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т проблем науч.-техн. прогресса и информ. в строительстве; Сост. И.Н. Бутовский, О.В. Худошина. – М., – 1990.

УДК 622.283+622.236

**Прокудин А.З.,** соискатель, **Янкин А.Е.,** к.т.н., доцент кафедры геодезии  
**Научный руководитель: Солодянкин А.В.,** д.т.н., профессор кафедры СГГМ  
(Национальный технический университет "Днепропетровская политехника", г. Днепр, Украина)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ ПРИ ПРОХОДКЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

При сооружении стволов буровзрывной способ и в настоящее время остается основным при выемке горных пород. Основными параметрами БВР при проходке стволов являются: удельный расход ВВ, количество, глубина и расположение шпуров.

Породные стены ствола после взрывания имеют сложный контур в виде случайно расположенных выступов и впадин. При этом характерными являются переборы породы, составляющие, в среднем 100...300 мм, максимальные 400...450 мм [1]. Объем переборов породы на 1 м ствола может достигать 6 м<sup>3</sup>, что в 1,5...2 раза превышает допустимые значения. Это увеличивает трудоемкость уборки породы, вызывает перерасход бетона в 1,5...2 раза. Неровности породного контура, помимо этого, ухудшают условия работы крепи, провоцируют развитие разрушений, вызывают вывалы.

Неравномерность разрушения боковых стен ствола может быть объяснена следующими причинами. В нижней части заходки массив подвергается действию взрыва донной части шпуров предыдущей заходки, т.е. испытывает двойное воздействие взрыва. Кроме того, при проходке стволов существует практика увеличения заряда именно в нижней части шпура для повышения КИШ, лучшего дробления породы в нижней части заходки для большей производительности и полноты механизированной погрузки.

По мере удаления от устья ко дну оконтуривающих шпуров влияние плоскости обнажения (забоя) на разрушение породы уменьшается. Можно полагать, что в средней части шпурового заряда разрушение происходит в более тяжелых условиях, причем на участке, практически не подвергавшемся действию взрыва донной части оконтуривающих шпуров предыдущей заходки. Это необходимо учитывать при контурном взрывании и принимать меры к обеспечению одинаковых условий разрушения породы по всей длине оконтуривающих шпуров. Для этого требуется сводить к минимуму глубину стаканов, располагать оконтуривающие шпуры возможно ближе к проектному контуру выработки и точно выводить на него дно каждого оконтуривающего шпура. Также необходимо уменьшить взрывное воздействие в донной части заходки.

Это может быть достигнуто за счет правильного расположения ближайшего ряда отбойных шпуров, смещения оконтуривающих шпуров по длине относительно остальных шпуров комплекта (с тем, чтобы выемка центральной части забоя опережала отбойку приконтурного слоя). Также, требования качества оконтуривания обуславливают необходимость снижения величины зоны трещинообразования, что может быть достигнуто применением зарядов ВВ уменьшенного диаметра или снижением давления в зарядной камере за счет специальных конструкций зарядов (рассредоточенных).

Для улучшения качества оконтуривания стен ствола при проведении БВР предложена схема расположения шпуров, отличающаяся следующими параметрами.

1. Оконтуривающие шпуры располагаются по одной окружности и отстают от комплекта основных шпуров на величину  $h_y$ , величина которой должна быть  $h_y = 0,5...1,5$  м.
2. Длина оконтуривающих шпуров за счет перемещения их дна из зоны наиболее «зажатых» пород уменьшена и равна длине заходки  $l_{ок} = l_{зах} = 4,0$  м (для них КИШ равен 1,0).
3. Оконтуривающие шпуры имеют уменьшенный заряд, который располагается на большей длине шпура (2,5 м) за счет применения деревянных брусков, устанавливаемых между патронами ВВ. Передача детонации осуществляется отрезком ДШ. Это позволяет увеличить объем зарядной камеры и уменьшить давление газов взрыва.



4. Внешняя окружность с отбойными шпурами расположена ближе к оконтуривающим для облегчения отрыва породы последними. Ширина уступа составляет  $b_y = 0,75$  м.

Определение рациональной высоты уступа было выполнено с применением численного метода исследований, для чего использован программный комплекс Phase 2. Задача решалась в плоской постановке. Изучению подвергается только торцовая часть ствола – забой. Рассматривался участок вертикального ствола, забой которого расположен на глубине 1000 м. Ствол диаметром 8 м моделируется в однородном породном массиве (рис. 1). Размеры области массива пород составляют  $200 \times 200$  м. Крепость пород  $f = 10$ . Рассматривалось гидростатическое поле напряжений.

С учетом принятых подходов и упрощений было проведено исследование НДС породного массива призабойной части ствола, подвергавшейся взрывному воздействию. При этом выполнялась оценка влияния воздействия оконтуривающих шпуров на проектный контур ствола при различной величине отставания оконтуривающих шпуров от общего комплекта шпуров.

На рис. 2 приведен результат определения НДС призабойного незакрепленного участка ствола. Состояние оценивалось на основе strength-фактора. Strength-фактор в ПП «Phase 2» – некоторая величина, эквивалентная коэффициенту устойчивости  $k_y$ . Значение  $k_y$  меньше единицы, означает разрушение массива [2].

Выполненные исследования показали (рис. 3,) что при уступной форме забоя снижается динамическое воздействие на стенки ствола от взрывания оконтуривающих шпуров в нижней части заходки. Максимальный эффект при такой форме забоя для ствола диаметром вчерне  $\varnothing = 8$  м достигается при  $h_y = 0,9$  м.

При выборе параметров БВР следует применять контурное взрывание, что уменьшает переборы, снижает затраты на проходку ствола и повышает долговечность крепи.

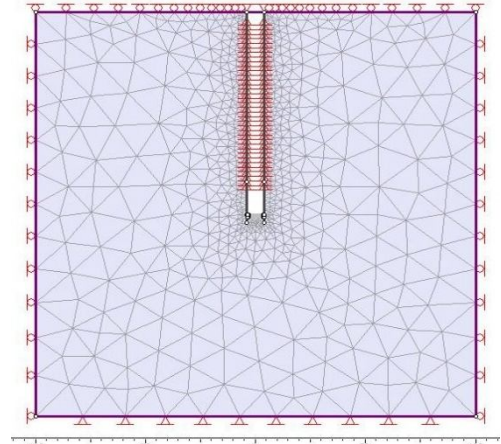


Рисунок 1. Расчетная схема и конечно-элементная модель



Рисунок 2. Распределение strength-фактора в забое ствола после взрывания шпуров при  $h_y = 0,9$  м

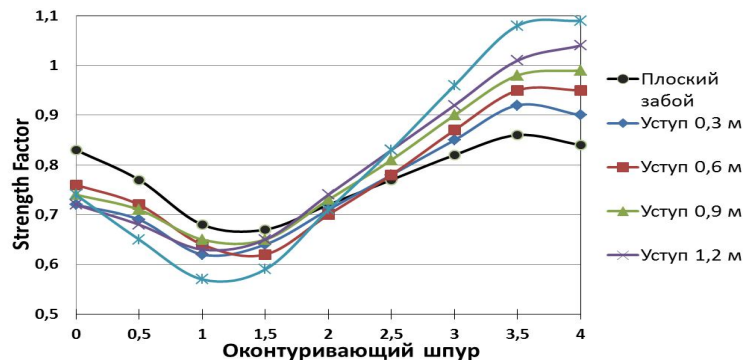


Рисунок 3. Зависимость коэффициента устойчивости от высоты уступа по глубине шпура (0 – устье шпура, 4 – дно)

#### Перечень ссылок

1. Фисунов В.Д., Фисунов А.В. Разрушаемость породных обнажений в стволах при взрывной проходке // Уголь Украины. – 1989. – №12. – С. 37-38.
2. Солодянкин А.В., Янкин А.Е. Повышение качества оконтуривания вертикальных стволов при проходке буровзрывным способом // Розробка родовищ. Д.: ТОВ «ЛізуновПрес», 2014. – С. 229-237.

УДК 622.831.2

**Машурка С.В.,** соискатель кафедры СГГМ, Белошапкин Н.А., студент гр. 184м-17-1  
**Научный руководитель:** Солодянкин А.В., д.т.н., профессор кафедры СГГМ  
 (Национальный технический университет "Днепропетровская политехника", г. Днепр, Украина)

### КРИТЕРИЙ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПОСОБА ОХРАНЫ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В последние годы, в связи с актуализацией направления ресурсосбережения при подготовке выемочных участков, для обоснования целесообразности повторного использования выработок, исследователями предложен ряд критериев.

В работах И.Н. Поповича [1] качестве такого критерия предлагается использовать предельные смещения контура выработки, которые обеспечивают остаточное сечение штрека, достаточное для дальнейшей безопасной эксплуатации выработки после первого прохода лавы. Расчетная схема к определению величины предельных смещений контура выработок приведена на рис. 1.

При таком подходе, с учетом сохранения сечения выработки в пределах 60-70% от начального, смещения контура  $U_0$  должны составлять не более 0,4 м при условии их равномерного смещения в кровле, боках и почве.

Логуновой А.О. [2] в качестве критерия экономической целесообразности повторного использования подготовительной выработки предлагается предельное значение остаточной площади сечения, которая в большей степени отвечает горно-геологическим условиям шахт ГП «Селидовуголь» и составляет  $S_{ост} = 8,5 \text{ м}^2$ .

В исследованиях И.В. Дудки [3] при обосновании возможности повторного использования выработок в условиях ГП «Антрацит» также рассматривается экономическая целесообразность сохранения выработки для повторного использования при устойчивых породах почвы и больших деформациях пород в кровле и бортах, вызывающих необходимость перекрепления выработки. Для рассматриваемых условий в качестве критерия принята остаточная площадь сечения выемочной выработки  $S_{ост} = 8,0 \text{ м}^2$ .

Дубовиком А.И. [4] в качестве критерия экономической целесообразности рассматривается предельный уровень эксплуатационных затрат, задача определения которых сформулирована как задача о выбросах случайной функции за заданный уровень.

Рассмотренные критерии, по сути, включают два условия, которые необходимы для целесообразного повторного использования выработки:

- технологическое – площадь выработки на сопряжении с лавой должна быть достаточной для размещения оборудования и безопасного выполнения работ:  $S_{ост} = 0,6 \div 0,7 S_{св}$ ;
- экономическое – суммарные затраты на проведение выработки и дополнительные мероприятия, направленные на ее поддержание ( $C_{подд}$ ), должны быть меньше стоимости проведения новой ( $C_{пр}$ ), т.е.  $C_{подд} < C_{пр}$ .

При выборе критерия целесообразности повторного использования выработок для условий ШУ «Южнодонбасское №1» были приняты данные условия с учетом специфики развития деформационных процессов, к которым следует отнести наличие слабых вмещающих пород в почве выработки и необходимость их неоднократной подрывки (рис. 2). При этом рассмотрено еще одно необходимое условие – геомеханическое, которое может быть сформулировано так: взаимодействие элементов крепи и охраны выработки с породным массивом не должны приводить к неуправляемым деформациям приконтур-

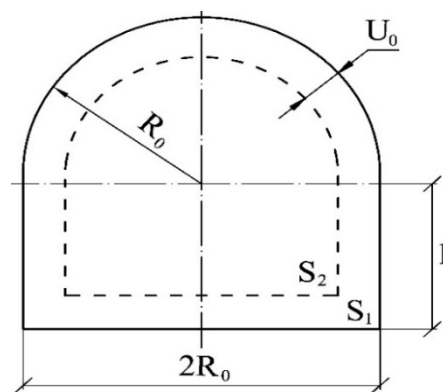


Рисунок 1. Схема к определению предельного значения потери сечения выемочной выработки

ного массива (например, к перекреплению или систематическим подрывкам почвы), которые и влекут за собой большие объемы ремонтных работ.

Пучение, а также опускание пород кровли приводят к деформациям и разрушению крепи, вызывают необходимость подрывки почвы и перекрепления выработки. Для рассматриваемых условий при определении стоимости работ на сооружение и поддержание выработки для повторного использования допускается, что в течение срока службы выработки смещения почвы потребуют не более одной подрывки ( $n = U_{пр}/U_{п} \leq 1,0$ ), а смещения кровли не вызовут необходимость перекрепления, т.е. смещения кровли не превысят паспортной податливости крепи ( $m = U_{пр}/U_{к} \leq 0,5$ ). В качестве предельных смещений, требуемых подрывки почвы или перекрепления выработки принята величина  $U_{пр} = 0,6$  м.

Предложенный показатель ремонтируемости  $P_{п} = (n + 2,5m)$ , который учитывает суммарные смещения кровли и почвы в процессе эксплуатации и необходимость проведения ремонтных работ, должен быть не более  $P_{п} = 2,25$ , что может считаться критерием геомеханической целесообразности повторного использования выработки, закрепленной металлической трехзвенной конструкцией крепи [5]. (Для рассматриваемого случая принято, что стоимость перекрепления  $S_{пер}$  в 2,5 раза больше стоимости подрывки  $S_{подр}$ . И тогда  $m = 2,5 n$ )

Определение значений  $n$  и  $m$  – количества подрывок и перекреплений зависит от величины смещений за весь срок службы выработки или за исследуемый этап ее эксплуатации. При определении смещений в выработке, смещения обычно определяют по установленной эмпирической зависимости. Если речь идет о выемочной выработке, поддерживаемой для повторного использования, то при определении смещений учитывают их величину за каждый отдельный этап эксплуатации – до влияния очистных работ  $U_1$ , в зоне влияния очистных работ первой лавы  $U_2$  и т.д. Тогда общие смещения составят сумму смещений контура выработки на каждом этапе:  $U_{общ} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ .

### Перечень ссылок

1. Попович И.Н. Исследование эффективности элементов крепления и охраны выемочных выработок в условиях шахты «Партизанская» ГП «Антрацит» // Форум гірників-2014: Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Дніпро, НГУ. – 2014. – С. 97-103.
2. Гапеев С.Н., Григорьев А.Е., Логунова А.О. Критериальная величина остаточного сечения конвейерного штрека, используемого повторно // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук, 2015. – Вип. 2. – С. 90-99.
3. Солодянкин А.В., Машурка С.В., Дудка И.В. К вопросу об эффективности повторного использования выработок в сложных геомеханических условиях // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – Кременчук, 2015 – № 2 (16). – С. 99-109.
4. Шашенко А.Н., Дубовик А.И. Обоснование критерия целесообразности повторного использования подготовительных выработок угольных шахт // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2016. – № 1(38). – С. 61-63.
5. O. Solodyankin, O. Hryhoriev, I. Dudka, S. Mashurka. Criterion to select rational parameters of supports to reduce expenditures connected with construction and maintenance of development working // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2017. – №2. – P. 19-27.

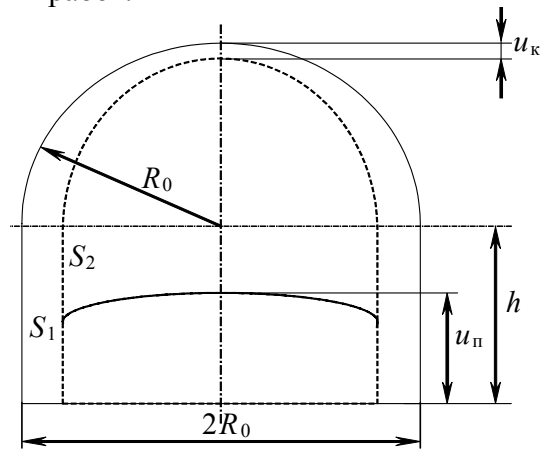


Рисунок 2. Схема смещений породного контура выработки при ее поддержании вне зоны влияния очистных работ