

УДК 531.8

Терентьев О. М., проф., д.т.н., Клещов А. Й., студ.

Національний технічний університет України «КПІ», ІЕЕ

## РУЙНУВАННЯ МОЛЕКУЛЯРНИХ ЗВ'ЯЗКІВ ГІРСЬКИХ ПОРІД

*В класичних теоріях руйнування Гілмана-Обреймофа, Рейгеля та інших не враховуються міжмолекулярні сили зв'язків. Цей недолік усувається впровадженням у технологію руйнування гірських порід молекулярно-хвильової теорії, що враховує функціональні змінні і постійні фемтоструктур та їх взаємодію із зовнішнім середовищем. При цьому більш точно підбирається обладнання для руйнування масивів. Це сприяє зниженню енергоємності процесів руйнування гірських порід.*

*В классических теориях разрушения Гилмана-Обреймофа, Рейгеля и других не учитываются междумолекулярные силы связей. Этот недостаток устраняется внедрением в технологию разрушения горных пород молекулярно-волновой теории, которая учитывает функциональные переменные и постоянные фемтоструктур и их взаимодействие с внешней средой. При этом более точно подбирается оборудование для разрушения массивов. Это способствует снижению энергоёмкости процессов разрушения горных пород.*

*In classic theories of failures by Gilman-Obreimoff, Reagal and others, intermolecular bonds' forces are not taken into account. This shortcoming is removed by implementation of molecular-wave theory in technology of rock failure. It takes into consideration functional variables and constants of femtostructures and their interaction with the environment. At that, the most appropriate equipment for rock failure is chosen. It subserves the decrease of power consumption of rock failure processes*

**Вступ.** Однією із характеристик продуктів руйнування є поверхнева енергія. Ця енергія виникає за рахунок некомпенсованості кристалічних структур, розташованих на поверхні продуктів руйнування. При розрахунку потужності бурових установок, не враховується енергія руйнування молекулярних зв'язків кристалічних решіток гірських порід. Тому збільшуються енергетичні втрати і зменшується життєвий цикл робочого обладнання. Для зниження енергоємності процесу руйнування породних масивів доцільно враховувати енергію, необхідну для розірвання міжмолекулярних зв'язків кристалічних решіток. Враховуючи вищевикладене, зниження енергоємності процесу на молекулярному рівні є актуальною задачею, що підтверджено в п.3 Державної цільової економічної програми енергоефективності на 2010 – 2015 роки, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 року № 243 [1].

**Мета роботи** – встановлення залежностей граничної міцності гірських порід від швидкості руйнуючої маси гідроударних пристроїв та від поверхневої енергії молекули гірської породи.

**Матеріал і результати досліджень.** В процесі руйнування гірських порід енергія витрачається на подолання сил тертя, пружних та пластичних деформацій [2]. Аналізуючи закони Кірпічова – Кіка [3], Реттингера [4], Г. Ф. Бонда [5], при руйнуванні гірських порід встановлено необхідність врахування молекулярних характеристик порід, а саме відстань між молекулами, діаметри молекул, масу молекул. При сучасному рівні знань, потенційна енергія кристалічної решітки визначається через зміщення атомів з положення рівноваги, сили взаємодії між атомами та енергію вільних електронів. При цьому з'являється можливість переходу від класичних теорій Гілмана-Обреймофа до молекулярно-хвильової теорії руйнування гірських порід. Основою математичних моделей руйнування зв'язків між

молекулами є теорії Н. Н. Kausch [8], Рейгеля [9], I. Narisava [10] та інших. Вони визначають взаємодію молекул гірських порід, як сукупність сил пластичності та пружності і представляють сталість фізико-механічних констант середовища, що руйнується [6]. Тобто недоліком цих теорій є емпіричні фізико-механічні константи середовища, що руйнується та постійність процесів руйнування. Розглянута математична модель відрізняється від відомих урахуванням непостійності процесів і розглядає середовище, як модель із функціональними змінними.

Границя міцності гірських порід розриву [6]:

$$\sigma_p = 2 \cdot m \cdot V^2 / (\pi \cdot d_m^2) / \delta \quad (1)$$

де  $\sigma_p$  – границя міцності гірських порід, МПа;

$m$  – маса молекули породи, кг;

$V$  – швидкість взаємодії на породу руйнуючим інструментом, м/с;

$d_m$  – діаметр молекули, м;

$\delta$  – відстань між сусідніми молекулами, м.

Розрахунок наведених залежностей енергетичних характеристик руйнування масивів проведено на прикладі галітів. Для реалізації математичних моделей прийнято масу молекули  $6,65 \cdot 10^{-27}$  кг, діаметр молекули  $3 \cdot 10^{-13}$  м, [7]. Без зміни точності, відстань між сусідніми молекулами прийнято рівною значенню діаметра молекули. Швидкості зовнішньої дії на породний масив обрані згідно з паспортними даними серійної техніки для руйнування породного масиву [6]:

– ГПМ – 120 Бородянського екскаваторного заводу, АО «Борэкс» м. Бородянка, Україна,  $V = 6 \dots 7$  м/с;

– ГПМ – 300 – АО «Атек» м. Київ, Україна,  $V = 7 \dots 8$  м/с;

– СП – 72 – Воронежський екскаваторний завод м. Воронеж, Росія,  $V = 7 \dots 10$  м/с.

Розрив молекулярних зв'язків породного масиву при використанні вказаної техніки, досягається при зовнішньому навантаженні гідроімпульсними ударними органами.

Для моделювання умов руйнування, максимально наближених до реальних, враховано дефектність порід. Швидкість взаємодії руйнуючого інструменту із породою має випадковий характер, що реалізовано при кількісному розрахунку у встановлених межах за Гаусівським шумовим уточненням. При моделюванні, змінні та постійні руйнування переведені у символічний і машинний вигляд, таблиця 1.

Таблиця 1

– Символьний вигляд змінних та постійних руйнування

Назва параметру та одиниця виміру	Символьний Вигляд	Машинний вигляд	Значення	Джерело
1	2	3	4	5
Границя міцності гірських по, Па	$\sigma_p$	Sr		визначається-
Відстань між сусідніми молекулами, м	$\delta$	S	$3 \cdot 10^{-13}$	[6]
Маса молекули породи, кг	$m$	m	$6,65 \cdot 10^{-27}$	[7]
Швидкість взаємодії на породу руйнуючим інструментом, м/с	$V$	$V_i$		[6]
Діаметр молекули, м	$d_m$	dm	$3 \cdot 10^{-13}$	[7]

Реалізація вказаних залежностей наведена на рисунках 1 - 4.

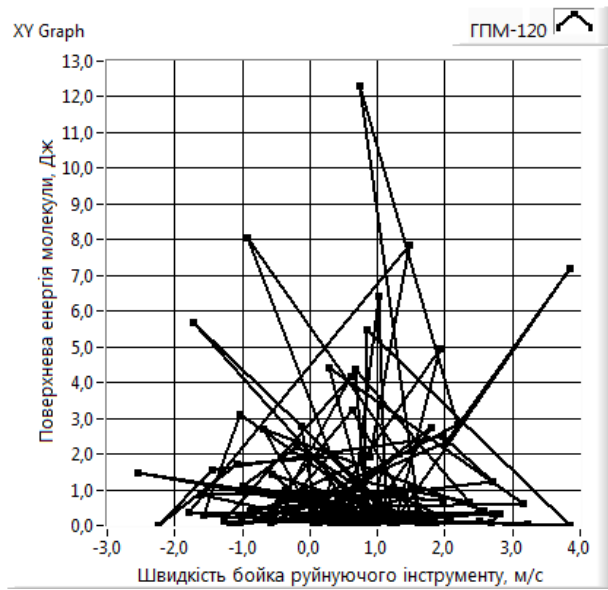


Рисунок 1 – Залежність поверхневої енергії молекули галітів від швидкості бойка ГПМ-120

Згідно з графіком на рис.1, середня поверхнева енергія молекул галітів при руйнуванні породи ГПМ-120 коливається в межах 2 – 4 Дж. Піки, що виходять за вказані межі – не суттєві і присутні через похибки обладнання. Їх кількість не перевищує 5 % від повного обсягу показів. Від'ємні значення швидкості відповідають зміні напрямку руху руйнуючого інструменту. Піки, що не досягають зазначених меж мають місце через наявність дефектності у кристалічній структурі.

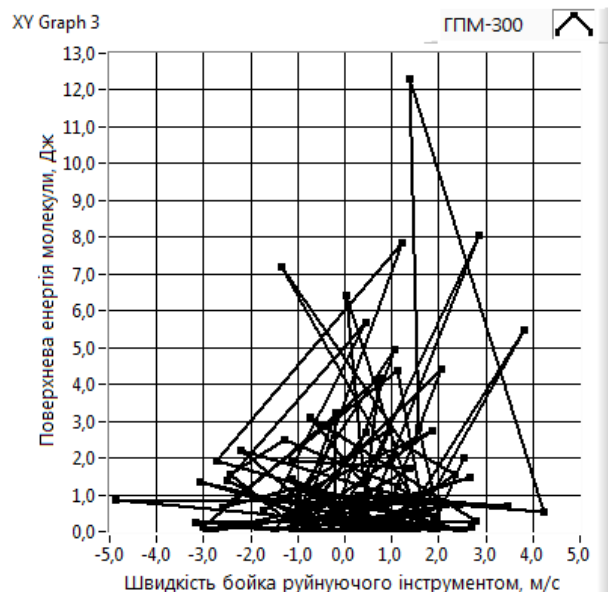


Рисунок 2 – Залежність поверхневої енергії молекули галітів від швидкості бойка ГПМ-300

На рис. 2, аналогічно рис. 1, виведено середню поверхневу енергію молекул галітів при руйнуванні породи ГПМ-300, що коливається в межах 2 – 5 Дж. Підвищення рівня енергії викликано використанням потужнішого руйнуючого інструменту.

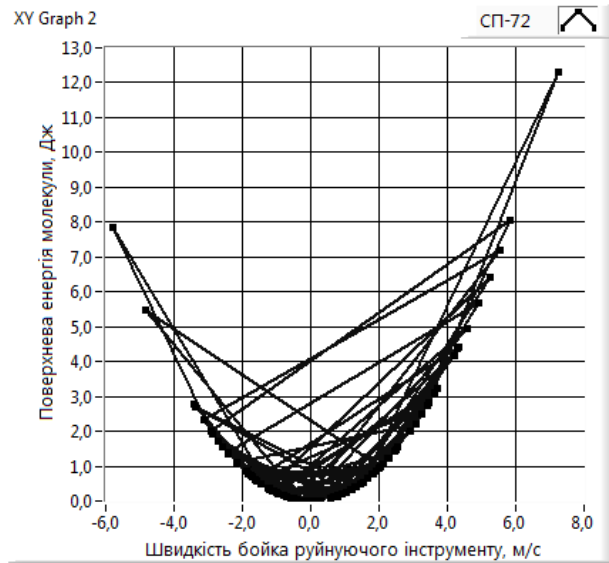


Рисунок 3 – Залежність поверхневої енергії молекули галітів від швидкості бойка СП -72

На рис. 3 виведено середню поверхневу енергію молекул галітів при руйнуванні породи СП-72, що коливається в межах 2 – 7 Дж. На відміну від ГПМ-120 і ГПМ-300 (рис. 1, рис. 2 відповідно), поверхнева енергія при руйнуванні СП -72 має чіткішу симетрію. При цьому значення поверхневої енергії більші. Через це можна зробити висновок, що із збільшенням швидкості бойка руйнуючого інструменту, поверхнева енергія збільшується. Це призводить до передачі надлишкової енергії вглиб кристалічної структури і збільшення дефектності. В результаті, збільшується кількість мікротріщин, що знижує енергоємність руйнування. На рис. 4 за допомогою комп'ютерних оболонок визначено границю міцності галітів, в залежності від її поверхневої енергії.

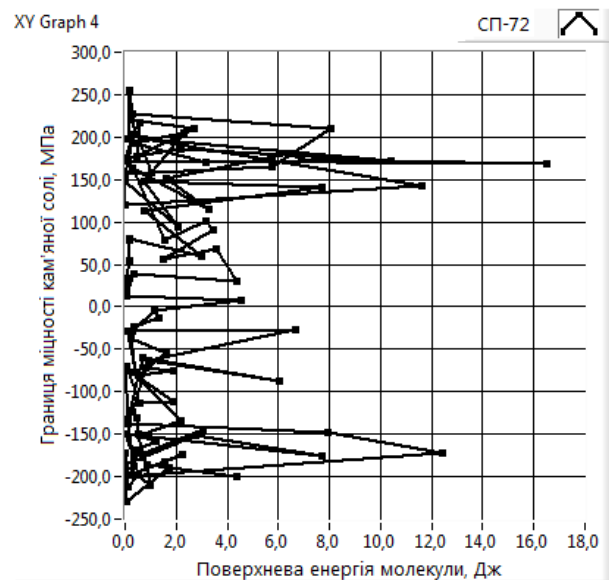


Рисунок 4 – Залежність границі міцності галітів від поверхневої енергії

Згідно з рис. 4, при збільшенні поверхневої енергії галітів, її міцність підвищується, що пояснюється утворенням ядра ущільнення. Із досягненням граничного значення, розриваються молекулярні зв'язки. Це призводить до руйнування породи. Граничним значенням

відповідають піки на графіку. Величина граничної міцності залежить від тангенсу кута наповнення енергією фемтоструктур. При використанні обладнання ГПМ-120, ГПМ-300, СП - 72, із швидкістю 3...10 м/с, границя міцності коливатиметься в межах 1го – 2го класу міцності за шкалою Протодьяконова. Тобто середня різниця із табличним значенням, вказаним у енциклопедичному словнику Ф. А. Брокгауза і І. А. Ефрона (2й клас) не перевищує одного класу міцності і знаходиться в межах 140 - 220 МПа. Нижчі значення присутні на графіку через похибку обладнання.

Враховуючи кристалічну структуру породних масивів, знижуються енергоємність процесу руйнування та фізичного зношування за рахунок більш точного підбору обладнання.

### Висновки

1. Встановлено, що середня поверхнева енергія молекул галітів при руйнуванні породи ГПМ-120 коливається в межах 2 – 4 Дж. Піки, що мають місце на графіку – не суттєві і присутні через неточність обладнання. Їх кількість не перевищує 5 % від повного обсягу показів. При руйнуванні породи установкою ГПМ-300 - коливається в межах 2 – 5 Дж. При руйнуванні породи установкою СП -72 - в межах 2 – 7 Дж.

2. Виявлено, що при використанні для руйнування галітів обладнання ГПМ-120, ГПМ-300, СП -72, із швидкістю 3...10 м/с, границя міцності коливатиметься в межах 1 - 2 класу міцності за шкалою Протодьяконова. Тобто середня різниця із табличним значенням, вказаним у енциклопедичному словнику Ф. А. Брокгауза і І. А. Ефрона (2й клас) не перевищує одного класу міцності і знаходиться в межах 140 - 220 МПа.

### БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

1. Державна цільова економічна програма енергоефективності на 2010 – 2015 роки, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 2010 року № 243 [Текст] . - Введ. 2010-03-01. - 17 с.

2. Співак А. І. Механіка гірських порід [Текст] / А. І. Співак. – М. : Недра., 1967. - 192 с.

3. Технічна енциклопедія [Електронний ресурс] / Technic Hyundai. - Режим доступу : [www/URL:http://www.ai08.org/index.php/term/9da4ac975b545ba09f5c5\\_25f56aea9589c56535c59649e61a86b5b63929da260666b53976b545fa661ae975a569fa15cac595f675e.shtml/](http://www.ai08.org/index.php/term/9da4ac975b545ba09f5c5_25f56aea9589c56535c59649e61a86b5b63929da260666b53976b545fa661ae975a569fa15cac595f675e.shtml/) - 2011 р. - Загол. з екрану.

4. Загальні відомості про процес розмолу, вугільного пилу і його властивостях. [Електронний ресурс] / Научні статті для вашей учебы. - Режим доступу : [www/URL:http://all4study.ru/parovie-kotli/process-razmola-ugolnoj-pyli-i-ee-svojstva.html/](http://all4study.ru/parovie-kotli/process-razmola-ugolnoj-pyli-i-ee-svojstva.html/) - 2009 р. - Загол. з екрану.

5. Механічне обладнання [Електронний ресурс] / Story - Content. - Режим доступу : [www/URL: http://stroy-content.ru/mekhanicheskoe\\_oborudovanie/svedeniya\\_ob\\_izmelchaemykh\\_materialakh/energoemkost\\_protesssa\\_izmelcheniya2/index.html/](http://stroy-content.ru/mekhanicheskoe_oborudovanie/svedeniya_ob_izmelchaemykh_materialakh/energoemkost_protesssa_izmelcheniya2/index.html/) - 2009 р. - Загол. з екрану.

6. Терентьев О. М. Синтез функціонування систем «Зовнішнє джерело – середовище» [Текст] : дис. докт. техн. наук / О. М. Терентьев. - К., 2008. - 323 с.

7. Спірідонов О. П. Фундаментальні фізичні сталі. [Текст] / О. П. Спірідонов. – М. : Высшая школа., 1982. - 231 с.

8.Kausch, H. H. Polymere Fracture [Text] / H. H. Kausch. – Berlin, Heidelberg, New York. : Springer-Verlag, 1978. - 441 p.

9.Регель, В. Р. Кинетическая природа прочности твердых тел [Текст] : учеб. пособие В. Р. Регель, А. И. Слуцер, Э. Е. Томашевский ; под общ. ред. Д. А. Миртовой ; издательство «Наука». - М. : Наука, 1974.- 560 с.

10. Narisava, I. Polymere Strength [Text] / I. Narisava. – Japan. : OHMSHA, 1982. - 399 p.