

Буріння свердловин

УДК 539.215

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ

М. М. Слепко, В. М. Чарковський

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15*

Виконано лабораторні дослідження ряду показників механічних властивостей гірських порід Передкарпатського прогину. Подано гістограми розподілу механічних властивостей за зведеними показниками лабораторних вимірювань. Серед показників визначались: твердість по штампу; абразивність; модуль пружності та межа пружності; коефіцієнт пластичності; питомі об'ємна та поверхнева енергості руйнування. Описано зміну показників відповідно до геологічних товщ Передкарпатського прогину. Встановлено, що твердість та модуль пружності для пісковиків значно різняться з геологічними товщами на що вказує тримодальний розподіл цих показників. Підібрано функції розподілу для статистичного моделювання та дослідження впливу показників механічних властивостей на технологічні процеси буріння свердловин.

Ключові слова: *гірська порода, механічні властивості, емпіричний розподіл, функції розподілу.*

Постановка проблеми дослідження. Вивчення механічних властивостей гірських порід є першочерговим завданням при вирішенні проблеми підвищення ефективності бурових робіт. Збільшення проходки на долото та механічної швидкості буріння за рахунок вибору раціональних доліт у тих чи інших інтервалах буріння, проектування параметрів режиму буріння, розробка нових конструкцій породоруйнівного інструменту були б неможливими без показників твердості, абразивності та міцності порід при відповідних видах навантажень та у відповідних умовах руйнування.

Більшість досліджень та опублікованих наукових праць стосуються вищезгаданих показників з точки зору саме інтенсифікації проходки. Проте, показники механічних властивостей порід мають місце також при дослідженні інших проблем, що виникають при бурінні свердело-

вин. Зокрема, при дослідженні ефективності ліквідації прихоплень, спричинених заклинюванням інструменту, потрібно визначати умови часткового руйнування гірської породи, наприклад, коли вивільнення інструменту відбувається за рахунок застосування способів динамічної дії, тобто ударними механізмами або вибухами шнурових торпед. У сучасній науковій літературі такі дослідження ще дуже мало висвітлені.

Огляд досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми. Роботи з вивчення механічних властивостей гірських порід започатковано Л.А. Шрейнером і розвинено А.І. Співаком, А.Н. Поповим, М.Р. Мавлютовим та багатьма іншими. Результати цих робіт покладено в основу навчальної літератури [1].

Переважає кількість публікацій стосується дослідження міцності гірських порід при дії на ці породи вибухової хвилі, а також при їх руйнуванні робочими органами гірничорудних машин [2, 3].

При вирішенні різних технологічних завдань, пов'язаних із бурінням свердловин, в одному ряду із показниками міцності та абразивності розглядається сила тертя та її природа. Сили тертя залежать не тільки від фізико-механічних властивостей гірських порід, але й від складу бурового розчину, траєкторії свердловини, форми перерізу стовбура, його протяжності, розмірів та матеріалу бурильної колони [4]. Значення сил опору, які можуть зустрічатися у свердловині, підпорядковані випадковому характеру розподілу, а тому вивчення кореляційних зв'язків між показниками, а також застосування статистичних методів обробки даних можна використати у різних геологічних умовах буріння та при вирішенні різних технологічних завдань. Взаємозв'язок між показниками руйнування у тих чи інших умовах можна знайти, застосовуючи статистичні методи моделювання і таким чином заповнити відсутність даних щодо необхідних для розрахунків показників. Наприклад, в умовах буріння Кольської СГ-3 [4] виникала необхідність у встановленні кореляційних залежностей між твердістю по штампу та напруженнями руйнування зразка гірської породи при стискуванні та розтягуванні. Для практичних задач буріння Кольської СГ-3 визначалися у лабораторних умовах на керновому матеріалі такі показники, як твердість по штампу, міцність при стискуванні та розтягуванні зразків, коефіцієнт пластичності та модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, абразивність. У процесі буріння безперервно визначалася інформація щодо розбурюваних порід, що викликало необхідність застосовувати різні експрес-методи оцінки механічних властивостей, у т.ч. оцінювати міцність порід шляхом статистичної обробки даних. Окрім встановлення кореляційних зв'язків між міцністю та твердістю по штампу, також було виявлено, що вплив декомпресійного фактора на показник твердості по штампу є побічним і проявляється тільки на великих глибинах, а головна роль щодо впливу на твердість належить мінералогічному складу порід. Встановлено, що відносна зміна показника твердості по штампу

на глибині 7-11 км та на поверхні відрізняється на 20-30%. Виконувались також дослідження щодо кореляційних зв'язків між коефіцієнтом пластичності та крихкістю порід. Останній показник визначався за співвідношенням напружень стиску та напружень розтягу і набував значень від 5-6 для порід, піднятих з глибини до 6842 м, до 8-21 для порід на більшій глибині.

У роботах [5, 6] наведено результати досліджень абразивності гірських порід Передкарпатського прогину, а також наведено гістограми розподілу показника абразивності по інтервалах геологічного розрізу та відповідних породах.

Серед невирішених раніше завдань можна виділити відсутність результатів досліджень інших показників механічних властивостей гірських порід Прикарпаття, зокрема твердості, пружності, питомих енергоємностей руйнування і т.п. Також у роботах [5, 6] не проведено досліджень, пов'язаних із визначенням основних законів розподілу та їх статистичних параметрів.

Метою даної статті є встановлення законів розподілу, а також дослідження та відповідне їх застосування при моделюванні механічних властивостей гірських порід Передкарпатського прогину.

Виклад основного матеріалу

Для розрахунку режимно-технологічних параметрів, витрати доліт, вивчення механічних властивостей порід широко застосовується розчленування розрізу на геологічні товщі. Такими товщами в межах Внутрішньої зони Передкарпатського прогину є стрийська, ямненська, манявська, вигодська, бистрицька, менілітова, поляницька, воротиченська, стебницька. У літологічному відношенні ці товщі представлені глинами, аргілітами, конгломератами, вапняками з прошарками кальциту, кременю, калійних та натрієвих солей. При порівнянні літології окремих товщ було замічено, що вони представлені літологічно однорідними породами, серед яких найбільший інтерес викликають пісковики, аргіліти та алевроліти.

Для лабораторних досліджень схема відбору проб була суміщена зі схемою відбору ядерного матеріалу при бурінні свердловин на Прикарпатті Надвірнянським, Івано-Франківським, Долинським та Бориславським управліннями бурових робіт на піку буріння свердловин у 1960-1970-х роках. Досліджувалися абразивні властивості, механічні властивості в атмосферних умовах, а також вплив диференціального тиску та глибини на механічні властивості в умовах, наближених до вибійних.

Дослідження абразивності виконувалося за методом Л.І. Барона – А.В. Кузнецова. Первинна обробка результатів випробувань на абразивність полягала в тому, що на кожен зразок складалася відповідна картка випробувань. У тому випадку, коли розходження точок перевищувало допустимі межі, зразок породи повертався на додаткові випро-

бування. Було виявлено, що при задовільній збіжності результатів для одного зразка, результати, отримані для інших зразків (літологічно однорідних та відібраних з однієї товщі), суттєво відрізнялися між собою. З цього слідувало, що рівень достовірності залежить не тільки від числа одиничних випробувань, але й від кількості зразків досліджуваного різновиду гірських порід. Окрім того, було встановлено, що інтервали зміни абразивних властивостей окремих горизонтів у значній мірі перебивають один одного і навіть можуть бути однакові, хоча в цілому абразивність різних горизонтів є різною. Оскільки абразивність різних горизонтів визначається не інтервалом значень, а деяким осередненим значенням, що залежить від частоти інших значень, для характеристики абразивності гірських порід застосовувався метод визначення показника за гістограмами розподілу частот.

З механічних властивостей визначались: твердість по штампу, межа пружності, модуль пружності, коефіцієнт пластичності, питома об'ємна та питома поверхнева енергоємності руйнування. Методика визначення цих показників базувалася на залежності деформації зразка гірської породи від діючого навантаження та поділу порід на крихкі, пластично-крихкі, високопластичні та сильно пористі. Розрахунок значень показників виконувався за такими формулами:

- твердість по штампу $P_{ум} = \frac{P_p}{F_{ум}}$, де P_p – навантаження на штамп

дослідної установки, при якому відбулося руйнування поверхні зразка; $F_{ум}$ – площа контакту зразка породи зі штампом;

- межа пружності $P_0 = \frac{P_{np}}{F_{ум}}$, де P_{np} – навантаження на штамп, при

якому починають проявлятися залишкові деформації;

- модуль пружності $E = \frac{1-\mu^2}{\delta} \cdot \frac{P}{d_{ум}}$, де P – навантаження, що

відповідає пружній деформації; $d_{ум}$ – діаметр штампа; μ – коефіцієнт Пуассона ($\mu=0,25$); δ – пружна деформація в точці пропорційної залежності між деформацією δ та навантаженням P ;

- коефіцієнт пластичності $K_{nl} = \frac{A}{A_{np}}$, де A – загальна робота, ви-

трачена на руйнування зразка породи (вимірювалася за площею під кривою на графіку «навантаження – деформація» до моменту руйнування породи); A_{np} – робота пружних деформацій (вимірювалася за площею під кривою пружних деформацій графіка «навантаження – деформації»);

- питома об'ємна робота руйнування $Av = \frac{A}{V}$, де V – об'єм лунки при вдавлюванні штампа у зразок;

- питома поверхнева енергоємність $As = \frac{A}{F}$, де F – площа лунки при вдавлюванні штампа у зразок.

Визначення вищенаведених параметрів виконувалося на лабораторних установках, у т.ч. з моделюванням вибійних умов. При визначенні механічних властивостей в умовах, що моделюють вибійні була прийнята схема навантаження на зразок гірської породи із усестороннім рівномірним стисканням зразка в його контакті з робочою рідиною. Для створення необхідної температури камера лабораторної установки була обладнана нагрівальною спіраллю.

На рис. 1 подано гістограми розподілу частот вищенаведених механічних властивостей за зведеними показниками лабораторних вимірювань.

Для гістограм розподілу частот твердості помітною є загальна закономірність: для аргілітів – форма гістограм асиметрична зі зміщенням вліво максимумом, для пісковиків – гістограми мають більш-менш симетричну форму з максимумом, що розташований значно правіше. Що стосується алевролітів, то вони займають проміжне положення як по формі, так і по розміщенню максимального значення. Всередині всіх товщ зберігається порядок наростання твердості від аргілітів до пісковиків. Більше того, у значній мірі цей порядок зберігається і для всього розрізу в цілому. Так, наприклад, пісковики майже всіх товщ за виключенням воротищенської, поляницької і менілітової займають по твердості провідне становище по відношенню до алевролітів. Аргіліти ж, за виключенням стрийських і манявських, займають по твердості останні місця.

Як відомо, знання твердості гірських порід важливі для правильного вибору типу долота і обґрунтування осьового навантаження. При цьому вибір твердості, як узагальненого показника, навіть в межах однієї товщі не завжди буде вірним, оскільки на роль критерію претендують три величини: середнє значення твердості \bar{p}_{um} , максимальне значення $p_{um\max}$ і таке, що найчастіше зустрічається p_{um}^* . Після порівняння між собою цих показників, можна відмітити, що перший з них (\bar{p}_{um}) дає найбільш узагальнену оцінку твердості породи. А це значить, що при його використанні вибір долота і осьового навантаження буде відповідати оптимальному з найбільшою ймовірністю.

Другий показник ($p_{um\max}$) дозволяє враховувати наявність в породі найбільш твердих пропластків і тим самим гарантувати від руйнування долота, які вибрані за умовою значно меншої твердості

$\frac{P_{um\max}}{P_{um}} = 2 - 3$. Що стосується третього параметра (p_{um}^*), то він дозво-

ляє руйнувати породу з твердістю, яка найчастіше зустрічається, але абсолютно не враховує наявність більш твердих пропластків.

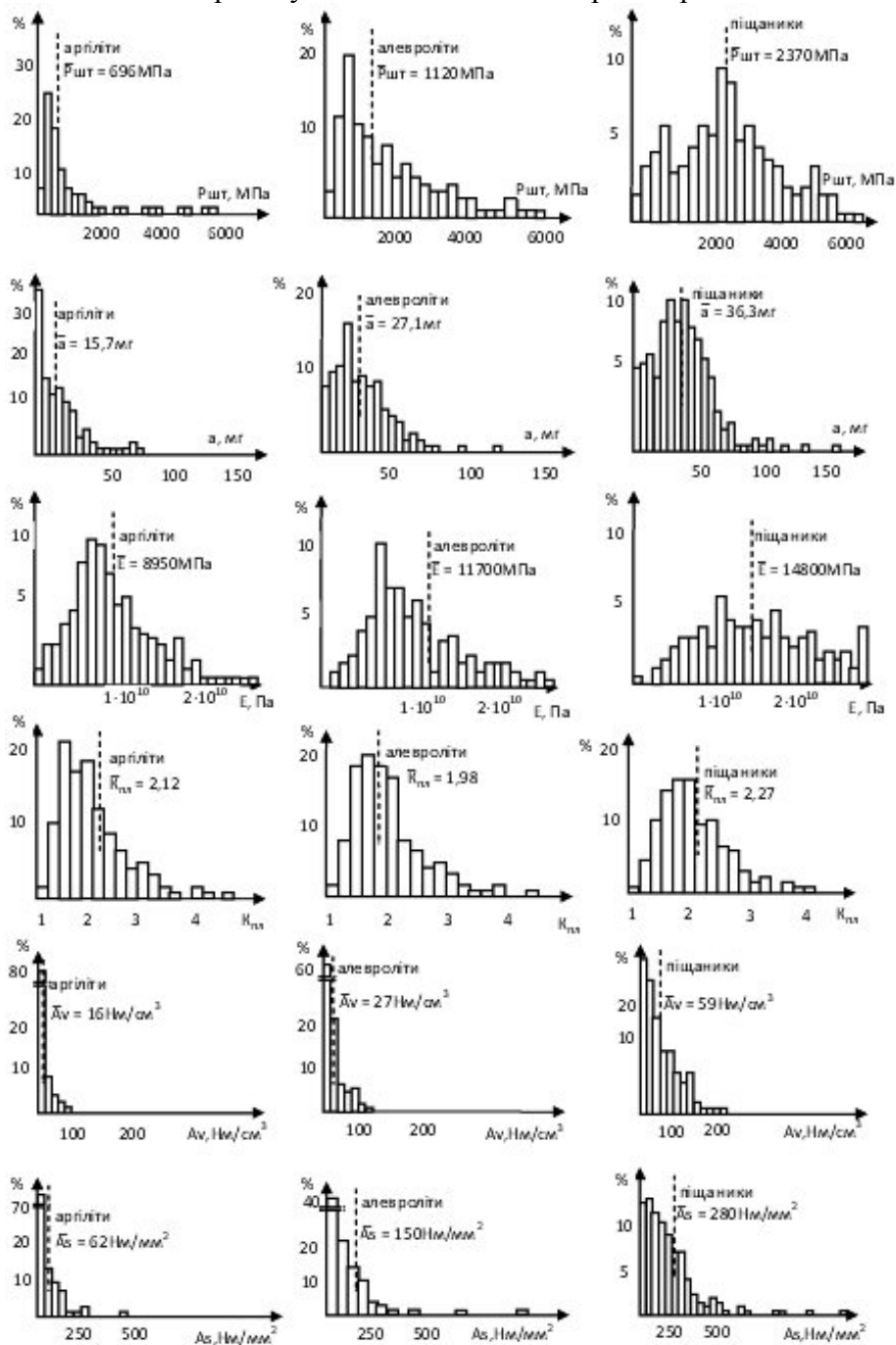


Рис. 1. Гістограми розподілів механічних властивостей порід

Для наукового обґрунтування критерію оцінки твердості пропонується використати метод статистичного моделювання з використанням даних лабораторних досліджень та перенесенням результатів на нові умови з метою вибору та прийняття технологічних рішень при подальшому бурінні свердловин. У будь-якому випадку вибраний критерій має перевірятися за максимальною твердістю і корегуватися у залежності від результатів перевірки. Оскільки в лабораторних умовах виконувати таку перевірку далеко не завжди є можливим, то у цьому випадку метод статистичного моделювання може частково замінити лабораторні дослідження. Цей метод також є незамінним, коли потрібно виконати прогнозування параметрів.

Після візуального аналізу гістограм абразивності, як і у випадку розподілу твердості, можна зауважити, що для аргілітів – це фігури асиметричні з явним наближенням максимуму до осі ординат і поступовим зниженням частот справа від максимуму. Проте, характер гістограм не є однаковим для всіх аргілітів. Так, наприклад, для аргілітів воротищенської, поляницької, менілітової і стрийської товщ характерним є певна зміна значень абразивності, причому більша частина значень попадає в перший інтервал, що визначає відповідний закон розподілу як наближений до експоненціального. Інший характер гістограм спостерігається в аргілітах вигодської і манявської товщ, для яких найбільша частота приходить на інтервали відносно високої абразивності, що можна пояснити наявністю піску у вигодських відкладах та окременінням аргілітів манявської товщі.

Для пісковиків, як правило, характерною є симетрична форма гістограм з широким інтервалом абразивності. Справа і зліва від максимуму проходить більш-менш рівномірне зменшення частоти. Це дає привід вважати, що розподіл частот абразивності підпорядковується нормальному закону з деяким зміщенням максимального значення. Дещо своєрідно виглядають гістограми пісковиків ямненської та стрийської товщ, для яких характерним є наявність двох максимумів, що говорить про існування у цих товщах двох різних по абразивності різновидів пісковиків (різниця у абразивності зумовлена різними значеннями розмірів зерен).

Алевроліти, займаючи у літологічному відношенні проміжне становище між аргілітами і пісковиками, мають з точки зору абразивності багато спільного. Для них характерним є широкий діапазон абразивності, менш виражена область максимуму і, як правило, менше у порівнянні з пісковиками та більше, ніж у аргілітів, абсолютне значення абразивності. Виключення складають алевроліти бистрицької та манявської товщ, де узагальнений показник абразивності дещо більший, ніж у пісковиків тих же товщ, що можна пояснити співвідношенням твердості зерен та цементуючого матеріалу, при якому утворюються сприят-

ливі умови для зносу металу та оновленням ріжучих елементів у породі.

При вирішенні питання про вибір критерію оцінки абразивних властивостей за основу було взято положення про те, що абразивність породи пропорційна добутку знайдених значень абразивності на частоту, з якою дане значення зустрічається

$$\bar{a} = \frac{\sum_i a_i n_i}{N}, \quad (1)$$

де \bar{a} – узагальнений показник абразивності; a_i – середнє значення i -го інтервалу, яке визначається як півсума нижньої і верхньої меж даного інтервалу; n_i – кількість значень абразивності, що попадає в даний інтервал; N – сумарна кількість одиничних дослідів; c_i – відносна частота значень, що зустрічаються в даному інтервалі.

Використання узагальненого показника у якості основного критерію абразивності дає можливість розташувати всі породи в один ряд за зменшенням їх значень абразивності [6], порівнювати їх між собою, а також вводити кількісну оцінку абразивності у необхідні розрахунки. Виконані дослідження також показали, що твердість та абразивність порід не підпорядковані певній закономірності зміни їх значень у залежності від глибини.

Щодо зменшення буримості порід зі збільшенням глибини їх залягання, то це можна пояснити наступним. Як відомо, руйнування породи означає розривання внутрішніх сил взаємодії між елементарними частинками. Природа цих сил, як правило, електростатична. Їх величина залежить від електричного заряду, відстані та кількості контактуючих частинок.

Під час стискування зразка кількість мікроконтактів відповідно збільшується, що призводить до збільшення сил взаємодії або збільшення міцності. Але цей процес не має зворотної дії, тобто, зразок, що один раз був ущільнений, не здатний в подальшому до самовільного розущільнення. Це означає, що кількість мікроконтактів, а значить величина сил взаємодії всередині зразка, зберігається після зняття стискувального навантаження. Іншою особливістю процесу є його нелінійність. Спочатку спостерігається інтенсивний приріст сил взаємодії, а потім, в міру збільшення сил стискування, приріст зменшується, асимптотично наближаючись до якоїсь межі, після якої може наступити стрибкоподібна зміна сил взаємодії, що буде викликана внутрішньою перебудовою породи. Слід відзначити, що стрибок цей можливий при відносно великих тисках, які відповідають глибинам, значно більшим від тих, що досягнуті при бурінні свердловин за період наведених тут досліджень. Цей висновок може не справджуватися для відносно м'яких порід, що залягають на відносно невеликій глибині. Для цих порід із глибиною твердість може збільшуватися і стосується це в основному глини.

Інший випадок стосується того, що збільшення твердості порід є пропорційним гідростатичному тиску у свердловині

$$p_{шт}^{виб} = p_{шт}^{атм} + \frac{p_r}{10K}, \quad (2)$$

де $p_{шт}^{виб}$ – твердість по штампу у вибійних умовах; $p_{шт}^{атм}$ – твердість по штампу, виміряна в атмосферних умовах; p_r – гідростатичний тиск у свердловині; K – коефіцієнт пропорційності (для глинисто-карбонатних порід $K=1,235$; для пісковиків-алевролітових $K=1,662$; для гіпсово-ангідридових $K=1,730$).

Особливістю розподілу межі пружності P_0 є більша у порівнянні з твердістю пікоподібність гістограм, що у свою чергу призводить до наявності більших частот значень P_0^* , тобто тих, що найбільше зустрічаються.

Після споглядання результатів визначення модуля пружності E , можна замітити, що в цілому при переході від аргілітів до пісковиків спостерігається збільшення модуля пружності. Але всередині окремих товщ є відхилення від цього правила. Так, наприклад, у поляницькій товщі модуль пружності аргілітів є більшим, ніж у алевролітів, а у вигодській товщі максимальне значення мають алевроліти, а за ними слідує аргіліти та пісковики. Аналогічні докази можна навести по відношенню до аргілітів поляницької товщі.

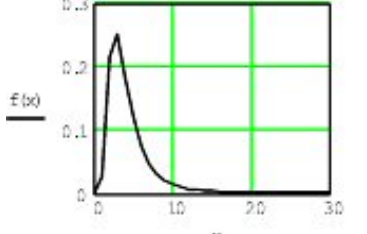
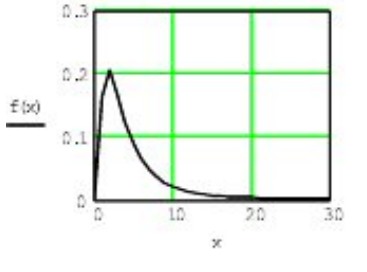
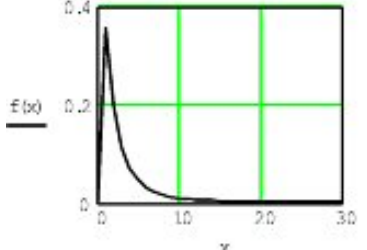
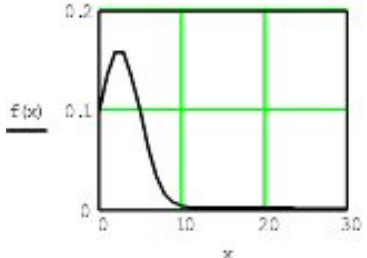
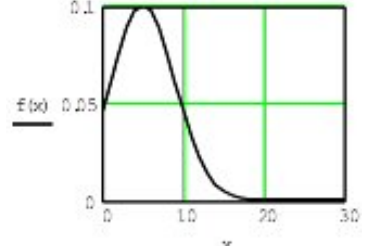
Характерною особливістю коефіцієнта пластичності $K_{пл}$ є відносно невелика відмінність між осередненими значеннями для різних порід і стратиграфічних підрозділів. Осереднені значення знаходяться в межах $K_{пл} = 1,8-2,8$, а інтервал значень, що найчастіше зустрічається ще вузький $K_{пл}^* = 1,1-2,2$. Характер гістограм при цьому асиметричний і для різних порід подібний, особливо для аргілітів та алевролітів. Деяке збільшене значення коефіцієнта $K_{пл}$ для пісковиків пояснюється збільшенням їх міцності.

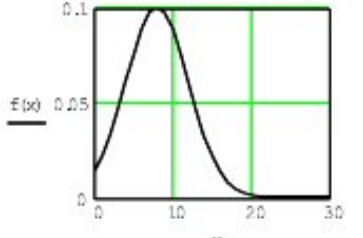
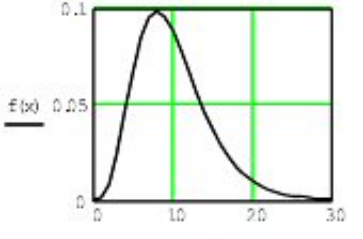
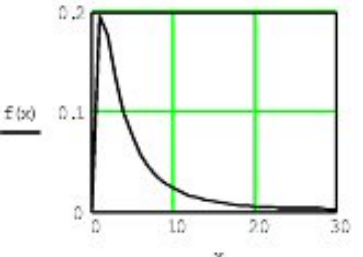
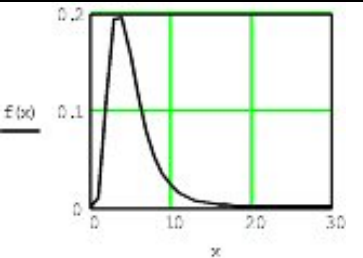
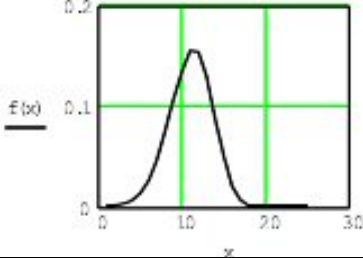
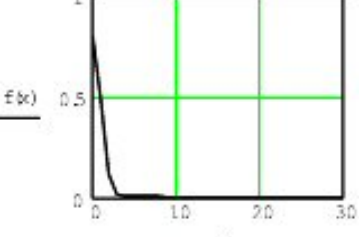
Об'ємна і поверхнева енергоємності руйнування A_v та A_s характеризують процес руйнування з енергетичного боку і являють собою певний інтерес. Після огляду зведених гістограм вказаних параметрів (див. рис. 1), можна стверджувати, що у порівнянні з розглянутими раніше, вони мають інший закон розподілу (наближений до експоненціального), інтервал зміни значень є вузьким, а відносна частота значень, що найбільше зустрічаються сягає більшої частоти. Так, наприклад, по параметру A_v для аргіліта вона сягає 81%, а для алевроліта – 61%, а по параметру A_s для аргіліта – не більше 70%. Більшу питому енергоємність, як правило, мають пісковики, а найменшу – аргіліти. Алевроліти займають проміжне положення.

Відповідно до основних законів розподілу [7] та їхніх типових параметрів виконано дослідження щодо відбору тих з них, які дають змо-

гу теоретично описати емпіричні розподіли на рис. 1 з прийнятною точністю. Результати цього моделювання наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Результати моделювання емпіричних даних

Параметр механічних властивостей породи на рис. 1	Відповідний теоретичний закон розподілу та його параметри	Графічне зображення функції розподілу
Твердість по штампу аргілітів	Обернений β -розподіл з функцією щільності $f(x, \alpha, \beta) = \frac{x^{\alpha-1}(1+x)^{-\alpha-\beta}}{B(\alpha, \beta)}$ та параметрами $\alpha=17; \beta=5$	
Твердість по штампу алевролітів	Логарифмічно нормальний розподіл з функцією щільності $f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \times \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$ та параметрами $\mu=1,2; \sigma=0,8$	
Абразивність аргілітів	Логарифмічно нормальний розподіл з параметрами $\mu=0,5; \sigma=0,9$	
Абразивність алевролітів	Нормальний розподіл з функцією щільності $f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right]$ та параметрами $\mu=2,5; \sigma=2,5$	
Абразивність пісковиків	Нормальний розподіл з параметрами $\mu=5; \sigma=4$	

Модуль пружності аргілітів	Нормальний розподіл з параметрами $\mu=8$; $\sigma=4$	
Модуль пружності алевролітів	χ -квадрат розподіл з функцією щільності $f(x, n) = \frac{x^{\frac{n-1}{2}} e^{-\frac{x}{2}}}{2^{\frac{n}{2}} \Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}$ та параметром $n=10$	
Коефіцієнт пластичності аргілітів	Логарифмічно нормальний розподіл з параметрами $\mu=1,2$; $\sigma=1$	
Коефіцієнт пластичності алевролітів	Логарифмічно нормальний розподіл з параметрами $\mu=1,5$; $\sigma=0,5$	
Коефіцієнт пластичності пісковиків	Розподіл Вейбулла з функцією щільності $f(x, b, c) = \frac{cx^{c-1}}{b^c} e^{-\left(\frac{x}{b}\right)^c}$ та параметрами $b=12$; $c=5$	
Об'ємна енергоємність аргілітів	χ -розподіл з функцією щільності та параметрами $n=1$; $\sigma=1$	

<p>Об'ємна енергоємність алевролітів</p>	<p>χ-розподіл з параметрами $n=1$; $\sigma=1,2$</p>	
<p>Об'ємна енергоємність пісковиків</p>	<p>Розподіл Вейбулла з параметрами $b=3$; $c=1$</p>	
<p>Поверхнева енергоємність аргілітів</p>	<p>Розподіл Вейбулла з параметрами $b=1,4$; $c=1$</p>	
<p>Поврехнева енергоємність алевролітів</p>	<p>Розподіл Вейбулла з параметрами $b=2,5$; $c=1$</p>	
<p>Поверхнева енергоємність пісковиків</p>	<p>Експоненціальний розподіл з функцією щільності $f(x, \alpha) = \alpha e^{-\alpha x}$ та параметром $\alpha=0,2$</p>	

На осі абсцис графіків (табл. 1) відкладені інтервали частот відповідних показників на рис. 1. Зміна значень розглядуваних тут показників поділена на 25-30 інтервалів, що відображено на осі абсцис у кожному з наведених графіків. Що стосується твердості по штампу та модуля пружності пісковиків, які відсутні у результатах моделювання, то їх розподіл є тримодальним, а отже вибірка включає в себе фактично

три вибірки, кожен з яких потрібно розглядати окремо. Очевидно, що твердість та модуль пружності для пісковиків значно різняться з геологічними товщами.

Підібрані функції розподілу застосовують при статистичному моделюванні та дослідженні впливу показників механічних властивостей порід на різні технологічні процеси під час проводки свердловин в умовах Передкарпатського прогину, що може стати **предметом подальших досліджень**.

Висновки

1. Геологічні розрізи свердловин Передкарпатського прогину складені в основному пружно-пластичними пористими та тріщинуватими породами середньої міцності та середньої абразивності.

2. Характер зміни міцності порід у різних інтервалах розрізів є вкрай неоднорідним, а тому виникають серйозні ускладнення при бурінні свердловин, пов'язані зі стійкістю гірських порід, прихопленнями труб, поглинаннями розчину.

3. Неоднорідність механічних властивостей та велика ймовірність ускладнень при бурінні вимагає сучасного підходу до методів прогнозування показників міцності та абразивності. Серед таких методів найперспективнішим є метод статистичного моделювання.

Література

1. Спивак А.И. Разрушение горных пород при бурении скважин: Уч-к для вузов / А.И. Спивак, А.Н. Попов. – М.: Недра, 1986. – 208с.
2. Бубок В.К. Буровзрывные работы и проходка горных выработок: Уч.пособие / В.К. Бубок, Ю.М. Мисник, Е.Г. Карпунов. – Л.: Изд. ЛГИ, 1986. – 100с.
3. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел / С.Н. Журков // Вест.АН СССР. – 1968. – №3. – С. 46-52.
4. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. – М.: Недра, 1984. – 490с.
5. Исследование влияния глубины залегания пород и их физико-механические свойства / А.И. Волобуев, М.Н. Слепко, Г.П. Волобуева, В.В. Волошанский и др. // Мат-лы конф. «Тектоника и полезные ископаемые запада Украинской ССР», часть I, Львов, 1973. – К.: Наукова думка, 1973. – С. 281-282.
6. Результаты исследования абразивных свойств горных пород Прикарпатья / А.И. Волобуев, М.Н. Слепко, Г.П. Волобуева, В.В. Волошанский и др. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений, вып.11. – Львов, 1974. – С. 79-84.
7. Borghers E. Statistics – Econometrics – Forecasting. Office for Research Development and Education [Електронний ресурс] / E. Borghers, P. Wessa. – Режим доступу: <http://www.xycoon.com>

*Стаття надійшла до редакційної колегії 4.04.2018 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором **Мойсишиним В.М.**,
к.т.н. **Ставичним Є.М.***

RESEARCH OF MECHANICAL PROPERTIES OF ROCKS OF THE PREKARPATIANS DEFLECTION

M. M. Slepko, V. M. Charkovsky

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, Karpatska str., 15*

Laboratory researches of a number of indicators of mechanical properties of rocks of the Prekarpathians deflection are executed. Histograms of distribution of mechanical properties on summary indicators of laboratory measurements are submitted. Among indicators were defined: hardness on a stamp; abrasivity; module of elasticity and limit of elasticity; plasticity coefficient; specific volume and superficial power consumption of destruction. Change of indicators according to geological suites of the Prekarpathians deflection is described. It is established that the hardness and the module of elasticity for sandstones considerably differ with geological suites what points three mode distribution of these indicators to. Functions of distribution for statistical modeling and a research of influence of indicators of mechanical properties on technological processes of well-drilling are picked up.

Key words: *rock, mechanical properties, empirical distribution, distribution functions.*