

товщ по латералі. У внутрішній зоні Передкарпатського прогину МС глинистих порід неогену є вищою, ніж у зовнішній зоні. В межах платформенного значення  $\chi$  карбонатних порід є помітно менші за величини МС карбонатів в Передкарпатському прогині.

Для більш ґрунтовних висновків необхідні подальші дослідження, які передбачають збір даних про магнітні властивості гірських порід Карпатської складчастої споруди, передового прогину, Волино-Подільської плити та західного закінчення Східно-Європейської платформи.

### Література

1. Мавричев В.Г., Козеев С.И., Петрова А.А., и др. Выявление залежей углеводородов в пермских отложениях по материалам аэромагнитной съемки // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2003. – № 7. – С. 21-28

2. Максимчук В.Ю., Кузнецова В.Г., Чоботок І.О. Досвід застосування високоточної магнітометрії при пошуках родовищ вуглеводнів: Сб. научн. трудов НГА України // Геофизика. – Днепропетровск: РИК НГА Украины, 1999. – № 6. – Том 3. – С. 154-158.

3. Максимчук В.Ю., Городиский Ю.М., Кудеравец Р.С. Анализ магнитных свойств и минерального состава нефтегазоносных відкладів центральної частини ДДЗ // Науковий вісник НГАУ. – 2001. – № 5. – С. 20-21.

4. Максимчук В.Ю., Городиский Ю.М., Кудеравец Р.С. Магнітні властивості відкладів нижнього карбону Селюхівського родовища Дніпровсько-Донецької западини // Зб. наук. праць УкрДГРІ. – К., 2003. – № 1. – С. 120-125.

5. Максимчук В.Ю., Крива І.Г., Кудеравец Р.С. Застосування капаметрії для розчленування та кореляції візейських відкладів Дніпровсько-Донецької западини // Матеріали 8-ої Міжнародної науково-практичної конференції „Нафта і газ України-2004” (Судак, 29 вересня-1 жовтня 2004 р): У 2-х томах. – Львів: Центр Європи, 2004. – Т. 1. – С. 336-337.

6. Крива І.Г. Використання капаметрії для уточнення фаціальних границь літомагнітних комплексів північного борту ДДЗ // Зб. доп. конференції молодих вчених і спеціалістів (1-2 листопада 2005). – Львів: ЛВ УкрДГРІ, 2005. – С. 86-88.

7. Буров В.С., Вишняков И.Б., Глушко В.В. и др. Тектоника Украинских Карпат (объяснительная записка к тектонической карте Украинских Карпат м-ба 1:200 000). – Львов: УкрНИГРИ, 1986. – 152 с.

УДК 622.236+622.243.57

## ВПЛИВ ЕНЕРГІЇ ГІРСЬКОГО МАСИВУ НА ДИСКУВАННЯ КЕРНА В ГЛИБОКОМУ БУРІННІ

<sup>1</sup> Е.М.Барановський, <sup>2</sup> В.М.Мойсишин

<sup>1</sup> Комплексна лабораторія технології буріння та кріплення свердловин ПВ УкрДГРІ; 79018, м. Львів, вул. Тургенєва, 33; к. 45; тел. (032) 2373126; e-mail: pvikrdgri@mail.lviv.ua

<sup>2</sup> ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42123  
e-mail: math@nung.edu.ua

*Исследуется влияние энергии горного массива на дискование керна при бурении глубоких скважин. Для определения начала дискования керна использована теория упругой энергии формоизменения. Выведена формула для определения толщины диска керна, а также определен характер ее зависимости от диаметра керна. С учетом энергии горного массива произведена оценка стойкости керна к дискованию с ростом глубины скважины. Установлено влияние удельной потенциальной энергии изменения объема на механическую скорость бурения при комбинированном разрушении горной породы в процессе отбора керна. Предложена формула для установления зависимости выноса керна от степени его дискования.*

*The paper is devoted to research of influencing of energy of the mountain array for an appearance of disk- ing of a core at long holing. For definition of a begin- ning of disk- ing of a core the theory of elastic energy of changing of the form is used. The formula for definition of width of the disk of a core is output, and also the nature of dependence it from core diameter is defined. In view of energy of the mountain array the rating of stability of a core to disk- ing with growth of well depth is produced. Influence of specific potential energy of change of size on mechanical drilling rate is installed at combined corrupting of rock during recovery of core. The formula for installation of influencing of core re- covery from a degree it disk- ing is proposed.*

Вперше явище поділу керна на диски різної товщини було зареєстровано при бурінні свердловин з гірничих виробок глибоких шахт і рудників. Сам по собі факт поділу керна на диски не звернув би серйозної уваги дослідників,

коли б не було виявлено [1], що поділ керна на диски, як правило, має місце в зонах викидів пісковиків при проходці гірничих виробок. На сьогодні поділ керна на диски широко використовується в практиці прогнозу викидонебезпеки

пісковики при перетинанні їх гірничими виробками. На базі дослідних даних зроблено висновок, що за товщиною дисків можна судити про ступінь викидонебезпеки порід.

На основі аналізу зонального поділу керна на диски по довжині свердловин встановлено, що товщина їх при відносно постійних інших умовах тісно взаємозв'язана із вмістом пружних і непружних мінералів та структури пісковики [2]. Зі збільшенням вмісту пружних мінералів, їх середнього розміру і протяжності контактів між ними керна ділиться на більш тонкі диски. Між товщиною дисків, з одного боку, мінеральним складом і структурою пісковики, з другого, за даними опробування свердловин встановлено тісний кореляційний зв'язок. На основі цього зроблено такі висновки:

– поділ керна на диски є результатом складної взаємодії напруженого стану порід та їх фізико-механічних властивостей, визначених складом речовини і структурою;

– зональний поділ керна на диски по довжині свердловин є (при постійних напруженнях) результатом зміни мінерального складу і структури порід, а отже, їх фізико-механічних властивостей;

– поділ керна на диски є комплексним показником викидонебезпечності порід, який вказує на потенційну можливість проявлення викидів порід і газу при певних технологічних діях;

– факт того, що місця поділу керна на диски та місця викидів порід і газу не збігаються, свідчить про велику роль технологічних чинників у вказаних проявах.

З урахуванням встановленої залежності ступеня поділу керна на диски від пружних (непружних) складових пісковики та їх структури зроблено висновок [3], що питома потенціальна енергія міцних порід на певний момент часу більша, ніж для слабких порід. Тому, якщо енергія пружної деформації може бути перетворена без втрат у роботу, а потужність, витрачена на зміну форми, повністю розсіюється, відрив керна від масиву при його розвантаженні для міцних порід більш імовірний. При інших рівних умовах зі збільшенням напруженого стану величина питомої потенціальної енергії, яка переходить в роботу, збільшується, отже, імовірність зростання відривів в керні зростає.

Незважаючи на велику цінність шахтних експериментів у в'ясненні механізму і природи дискування керна, їх використання для прогнозу викидонебезпеки виявилось недостатнім. Це пов'язано з тим, що в шахтних умовах неможливо закріпити одні впливові чинники і варіювати в широких межах зміну інших. У зв'язку з цим були виконані у значних обсягах додаткові експериментальні та аналітичні дослідження.

Першими дослідниками у вивченні поділу керна на диски при бурінні зразків гірських порід у лабораторних умовах були американські вчені Л.Оберт і Д.Стефенсон [4]. Вони провели дослідження з метою розробки лабораторного

експерименту, в якому було б відтворено руйнування керна на диски при відомому напруженому стані та вивчення характеру дискування для різних типів гірських порід. З цією метою була створена установка для буріння з відбором у зразку керна, навантаженому по трьох осях. Відомі також лабораторні досліді англійського фізика П.В.Бриджмена з руйнування матеріалів в умовах об'ємного стиснення [5]. Автори роботи [6] вважають, що руйнування матеріалів у цих умовах аналогічні руйнуванню керна на диски при його відборі з глибоких горизонтів шахт. У роботі [7] описані дослідження, метою яких було виявлення зв'язку між напруженнями в породи і товщиною утворених при бурінні дисків. Встановлено, що між товщиною дисків і напруженнями існує досить чіткий зв'язок.

Однак пряме перенесення в практику глибокого буріння результатів отриманих досліджень неможливе. Це пов'язано з тим, що процес буріння свердловини має специфічні особливості порівняно з проведенням шахтних стовбурів. Серед них слід відзначити відсутність можливості доступу до вибою, наявність гідростатичного тиску в свердловині, а також регулювання фізико-механічних процесів взаємодії бурового розчину з гірськими породами і т. п. Змінюється і характер самої задачі: потрібна не оцінка напружень за відомою довжиною стовпчика породи, а збереження саме певної його довжини.

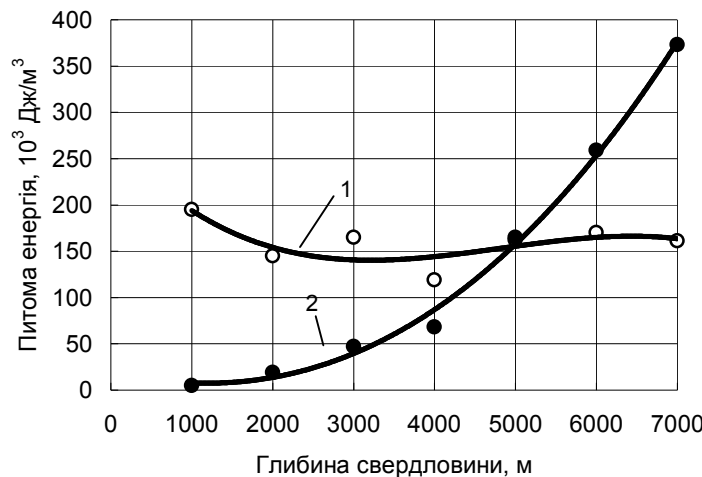
У результаті проведених досліджень [8, 9] встановлено, що при бурінні з відбором керна з певної глибини починається стійке зменшення довжини стовпчика вибуреної породи, яке поступово переходить у так зване явище дискування керна. Отримані результати дослідження явища дискування керна не дають можливості визначити глибину, на якій воно розпочинається, та спрогнозувати винос керна у конкретному інтервалі його відбору. Тому визначення критеріїв кількісної і якісної оцінки явища дискування керна має важливе значення при вирішенні проблем, пов'язаних з отриманням і збереженням керна матеріалу.

Ряд дослідників [5, 10] вбачають причину цього явища у пружному відновленні порід, яке викликане перерозподілом напружень в масиві при його розкритті гірською виробкою. Вперше у роботі [11] для умов глибокого буріння зроблена спроба визначити енергію розвантаження. Для її визначення запропоновано залежність

$$\Delta U = \frac{H^2 V g^2}{2E} (\rho_n^2 - \rho_p^2), \quad (1)$$

де:  $H$  – глибина свердловини;  
 $V$  – об'єм породи, який розглядається (в даному випадку циліндр висотою  $l$  і площею  $S$ );  
 $g$  – прискорення вільного падіння;  
 $\rho_n, \rho_p$  – густина відповідно породи і рідини.

На базі її автори вивели формулу для прогнозування товщини дисків керна залежно від глибини свердловини



1 – питома потенціальна енергія формозміни при лінійному напруженому стані керна;  
2 – питома потенціальна енергія формозміни при об'ємному напруженому стані керна

**Рисунок 1 – Залежність початку дискування керна від співвідношення питомих потенціальних енергій його формозміни при лінійному і об'ємному напружених станах**

$$l_k = \frac{2\Delta U E}{H^2(\rho_n^2 - \rho_p^2)g^2} \quad (2)$$

Однак запропонована формула не враховує ряд чинників, які впливають на процес дискування керна. Так, експериментально встановлено [10] вплив масштабного фактора і глибини проникнення рідини в поровий простір вибурюваного керна. Вияснено, що для запобігання дискування керна необхідно на звільненій стовпчик керна діяти обтискуючими силами, які перешкоджають його розвантаженню. Крім цього, зі збільшенням діаметра керна росте імовірність збереження центральної його частини в умовах об'ємного напруженого стану, що буде запобігати розвитку процесу дискування керна. Для врахування вказаних вище чинників визначення енергії розвантаження пропонується проводити за формулою [12]

$$\Delta U = \frac{0,39H^2 l_k d_k g^2}{E} (\rho_n^2 - \rho_p^2), \quad (3)$$

де  $d_k$  – діаметр керна.

Слід відзначити, що наведені вище формули дають можливість прогнозувати тільки товщину диска керна, але вони не здатні прогнозувати глибину, на якій розпочинається дискування. Для вирішення цієї задачі нами використано умову міцності за енергетичною теорією формозміни, яку називають четвертою теорією міцності або теорією Губера-Мізеса-Генкі. Встановлено, що кращі результати отримують, якщо в якості критерію міцності приймають не всю енергію деформації, а лише її частину, пов'язану зі зміною форми тіла. Він визначається за формулою [13]

$$u_\phi = \frac{1+\mu}{3E} g^2 H^2 (3\rho_n^2 - 6\rho_n\rho_p + 3\rho_p^2) \leq \leq \frac{1+\mu}{3E} \sigma^2, \quad (4)$$

де:  $\mu$  – коефіцієнт Пуассона;

$\sigma$  – допустиме значення нормального напруження, прийняте для лінійного розтягу або стиснення.

На основі даної формули проведено розрахунки для Кольської свердловини (СГ-3), які представлено графіком (рис. 1) залежності початку дискування керна від співвідношення питомих потенціальних енергій його формозміни при лінійному і об'ємному напружених станах. Із графічної залежності видно, що дискування керна на свердловині СГ-3 розпочалось на глибині близько 5000 м, що підтверджується промисловим матеріалом [8].

Для визначення товщини диска керна використано питому потенціальну енергію формозміни, яка накопичується в гірській породі ( $U_\phi$ ). Вона дорівнює потенціальній енергії формозміни, віднесеної до одиниці об'єму матеріалу,

$$u_\phi = U_\phi / V. \quad (5)$$

Оскільки  $V = 0,785d_k^2 l_k$ , то формула для визначення товщини диска керна запишеться у вигляді

$$l_k = \frac{U_\phi}{0,785d_k^2 u_\phi}. \quad (6)$$

Для глибини, на якій дискування керна прийняло помітний характер ( $l_k = d_k$ ), формула (5) набуде вигляду

$$U_\phi = 0,785d_k^3 u_\phi. \quad (7)$$

Підставляючи значення  $U_\phi$  і  $u_\phi$  у формулу (6), отримаємо

$$l_k = d_k \left( \frac{H_\phi}{H} \right)^2, \quad (8)$$

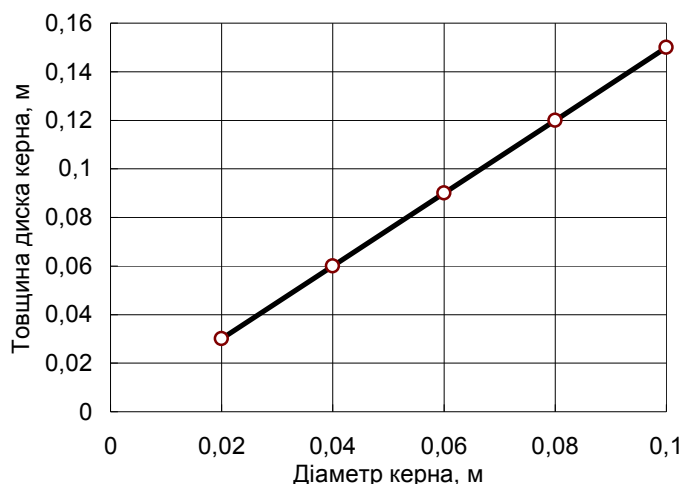


Рисунок 2 – Залежність товщини диска керна від його діаметра

де:  $H_0$  – глибина свердловини, на якій відмічено початок дискування керна;

$H$  – глибина свердловини, для якої визначається товщина диска керна.

На підставі наведеної формули зроблено розрахунки, результати яких подано у вигляді графіка (рис. 2). На ньому представлено залежність товщини диска керна від його діаметра. Отримана закономірність підтверджується експериментальними дослідженнями [5].

Прогнозування дискування керна в загальному пов'язане з вирішенням проблем його стійкості в процесі відбору і транспортування. Її можна розглядати як здатність матеріальної системи зберігати свій стан в умовах збудованих чинників технологічної дії. Кількісну оцінку стійкості ( $K_{cm}''$ ) з урахуванням енергії гірського масиву можна визначити з формули [14]

$$K_{cm}'' = \frac{[u_\phi]}{u_\phi} = \frac{\sigma^2}{g^2 H^2 (3\rho_n^2 - 6\rho_n\rho_p + 3\rho_p^2)}. \quad (9)$$

За даною формулою проведено розрахунки, результати яких подано у вигляді графіка (рис. 3). З отриманої графічної залежності видно, що величина коефіцієнта стійкості, за якої відбувається дискування керна, зменшується із зростанням глибини свердловини. Отримані результати підтверджуються в роботі [15].

Важливим чинником при вивченні явища дискування керна є швидкість деформування. Впливати на неї можна тільки за рахунок зміни напруженого стану масиву (швидкість проведення виробки, буріння і т.п.). Однак процес буріння глибоких свердловин характерний тим, що він проходить в гірському масиві, який володіє енергією, яка активно проявляється у вигляді деформації і руйнувань в зонах, де породи знаходяться в граничному стані. Отже, при наявності відповідної кількості енергії можна отримати комбіноване руйнування породи [16],

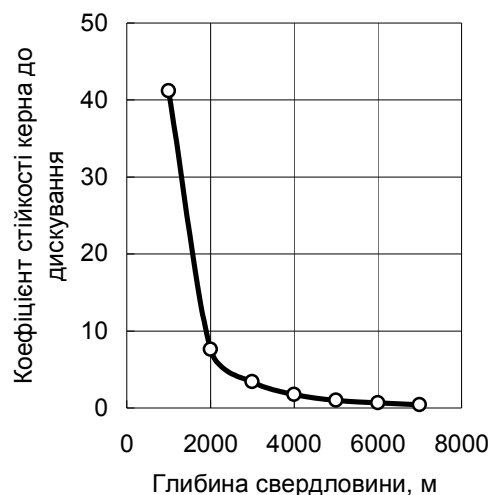


Рисунок 3 – Залежність коефіцієнта стійкості керна до дискування від глибини свердловини

в якому проходять два процеси – саморуйнування породи, яке викликане накопиченою енергією в гірському масиві, і механічне руйнування, яке направлене на подрібнення породи. Виникає питання, як впливає процес саморуйнування породи на механічну швидкість буріння. За фактичними даними зміни буримості породи з ростом глибини свердловини СГ-3 [8] побудовано графік (рис. 4) залежності механічної швидкості буріння від питомої потенціальної енергії зміни об'єму. Характер зміни механічної швидкості буріння підтверджується лабораторними експериментами в роботі [5].

Для встановлення ступеня залежності виносу керна від його дискування скористаємось формулою для визначення показника тріщинуватості гірських порід [17]

$$C_n = \frac{(100 - B_k)d_k \lambda}{0,2tg\beta}, \quad (10)$$

де:  $B_k$  – винос керна;

$\lambda$  – коефіцієнт, що враховує ступінь вторинного дроблення гірської породи;

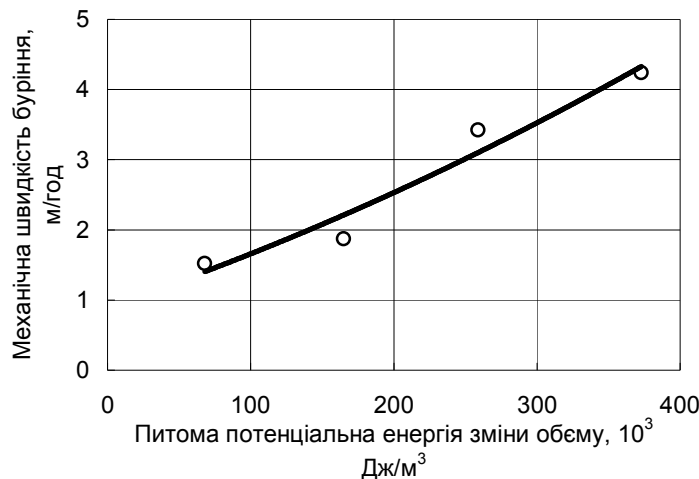


Рисунок 4 – Залежність механічної швидкості буріння від питомої потенціальної енергії зміни об’єму

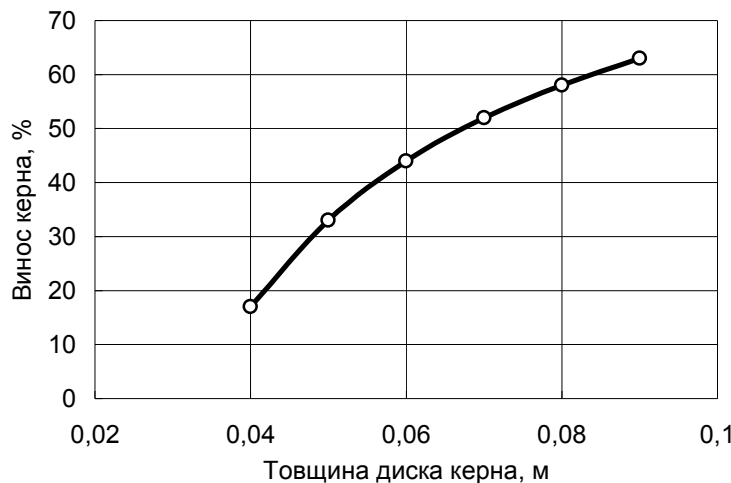


Рисунок 5 – Залежність виносу керна від ступеня його дискування

$\beta$  – кут зустрічі площини тріщини з віссю свердловини.

З врахуванням енергії гірського масиву даний показник запишеться у вигляді

$$C_n = \frac{0,785d_k^2 a \lambda u_\phi}{0,2tg\beta}, \quad (11)$$

де  $a$  – довжина ділянки керна по вертикалі, на якій проявляється вплив тріщини (проекція довжини тріщини на бічну поверхню керна).

Прирівнюючи формули (10) і (11) та розв’язуючи утворене рівняння відносно  $B_k$ , отримаємо

$$B_k = 100 - \frac{0,2}{d_k l_k}. \quad (12)$$

На основі фактичного матеріалу з відбору керна, отриманого на свердловині СГ-3, побудовано графік (рис. 5) залежності виносу керна від його дискування.

Отримані результати досліджень дають підстави по-новому підійти до оцінювання явища дискування керна при його відборі на великих глибинах. Їх практичне значення поля-

гає в тому, що при відомих значеннях компонент питомої потенціальної енергії формозміни (при лінійному і об’ємному напружених станах породи) можна визначити початок дискування керна, товщину диска керна і коефіцієнт його стійкості на конкретній глибині. Отримані дані дають можливість спрогнозувати винос керна та оцінити ефективність вибраної технологічної схеми його відбору.

#### Література

1. Николин В.И., Беркович И.М., Халимовский М.А. Прогнозирование выбросоопасности песчаников // Уголь Украины. – 1966. – №5. – С.47-48.
2. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / Забигайло В.Е., Широков А.З., Белый И.С. и др. – К.: Наукова думка, 1974. – 270 с.
3. Зорин А.Н., Забигайло В.Е., Моссур Е.А. Прогноз выбросоопасности песчаников по делению кернов на диски // Техника безопасности. Охрана труда и горноспасательное дело. – 1971. – №7. – С. 17-18.

4. Сеид-Рза М.К., Исмаилов, Ш.И., Орман Л.М. Устойчивость стенок скважин. – М: Недра, 1981. – 175 с.
5. Забигаило В.Е., Белый И.С. Геологические факторы разрушения керна при бурении напряженных горных пород Донбасса. – К.: Наукова думка, 1981. – 180 с.
6. Кусов Н.Ф., Кудряшов В.А. Исследование разделения кернов на диски под действием горного давления в выбросоопасных породах / В кн.: Проблемы горного дела. – М.: Недра, 1974. – С. 78-82.
7. Петухов И.М. Горные удары в угольных шахтах. – М.: Недра, 1972. – 221 с.
8. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. – М.: Недра, 1984. – 490 с.
9. Дороднов И.П. Измерения напряженно-го состояния керна при его отборе // Технология и техника бурения и эксплуатации глубоких скважин: Труды СевКавНИПИнефть. – 1974. – Вып. 19. – С.9-20.
10. Проницаемость горных пород и эффективность поддержания устойчивости ствола глубоких и сверхглубоких скважин давлением бурового раствора / Ставрюгин А.Н., Тарасов В.Г., Ширкес О.А., Махнецов И.А., Савицкий С.Т. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1992. – №5. – С.7-17.
11. Ворожбитов М.И., Орлов Н.А. О закономерностях возникновения явления дискования керна с ростом глубины скважины // Нефтегазовая геология, геофизика и бурение. – 1985. – №5. – С.36-38.
12. Барановський Е.М., Возний В.Р. Методи і критерії оцінки явища дискування керна // Розвідка і розробка нафтових і газових свердловин. – Івано-Франківськ, 2001. – Вип. 38(2). – С.18-24.
13. Барановський Е.М. Оцінка енергетичного стану гірського масиву при бурінні глибоких свердловин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ, 2005. – Вип. 1(14). – С.34-39.
14. Барановський Е.М., Мойсишин В.М. Енергетичні теорії міцності та їх використання в механіці гірських порід // Науковий вісник. – Івано-Франківськ, 2005. – Вип. 2(11). – С.26-32.
15. Механика горных пород применительно к проблемам разведки и добычи нефти: Пер. с англ. и франц. / Под ред. В.Мори и Д.Фурментро. – М.: Мир, 1994. – 416 с.
16. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Изд. 3-е. – М.: Недра, 1978. – 390 с.
17. Барановський Е.М. Критерії оцінювання тріщинуватості та напруженого стану гірських порід // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 1. – С.21-23.

УДК 550.832 : 552.5

## ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ОПТИМАЛЬНОСТІ ФІЗИКО-ГЕОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ГІРСЬКОЇ ПОРОДИ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

<sup>1</sup> О.М.Карпенко, <sup>2</sup> С.Ф.Кучер, <sup>1</sup> О.І.Елланський

<sup>1</sup> ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42098  
e-mail: alexbrig@inbox.ru

<sup>2</sup> Карпатське управління геофізичних робіт

*Рассмотрены возможности использования технологии создания искусственных нейронных сетей с целью поиска оптимальной физико-геологической модели горной породы. Приведены результаты исследования и анализ эффективности нейронных сетей в качестве экспертной модели горной породы. Обосновано утверждение, что связи между интервальным временем продольной волны и емкостными характеристиками песчано-алевритовых горных пород являются существенно нелинейными.*

*The possibilities of use the technology of creation of artificial neural networks are considered with the purpose of quest the optimum physical-geological model of rock. Results of research and the analysis of efficiency of neural networks as expert model of rock are resulted. The statement is proved, that connections between interval time of a longitudinal wave reservoir properties of sand-siltstone rocks are essentially nonlinear.*

Проблема створення достовірної петрофізичної моделі з метою ефективного використання її на практиці під час проведення кількісної інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин достатньо часто обговорюється на сторінках професійних геолого-геофізичних видань. Для визначення окремих ємнісно-

фільтраційних характеристик гірських порід за даними методів ГДС на сьогодні використовуються величезна кількість фізико-геологічних моделей гірських порід, більшість з яких має обмежене застосування в певних геологічних умовах. Ілюстративним прикладом локального застосування численних моделей електропрові-