

Г. І. Рудько, д-р геол.-мінерал. наук, д-р геогр. наук, д-р техн. наук, професор (Державна комісія України по запасах корисних копалин), office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

М. М. Курило, канд. геол. наук, доцент (ННІ “Інститут геології”, Київський національний університет ім. Т. Шевченка), marikurylo@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>,

В. В. Бала, заступник начальника відділу (Державна комісія України по запасах корисних копалин), bala@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6180-5126>,

Ю. С. Маковський, канд. геол.-мінерал. наук, доцент (геологічний факультет, Львівський національний університет ім. І. Франка), makowskijs@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3669-3991>

ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ МІЖ КІЛЬКІСНИМИ ТА ЯКІСНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ОЦІНКИ ВУГІЛЬНИХ РОДОВИЩ З НЕЗНАЧНИМИ ЗАПАСАМИ

Метою цього дослідження є статистичний і кореляційний аналіз головних показників якості й кількості запасів вугілля на прикладі об'єктів з незначними запасами. Систематизовано показники якості, кількості та гірничо-геологічних умов розробки, за якими у вітчизняній і міжнародній практиці встановлюють промислове значення вугільних родовищ. Проведено кореляційний аналіз таких показників для вугільних родовищ з незначними запасами для визначення головних характеристик, які можуть істотно впливати на рентабельність освоєння запасів.

Ключові слова: вугілля, кількість і якість запасів, незначні запаси, кореляційний аналіз, промислове значення.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Актуальність цих досліджень пов'язана з можливістю залучення до промислової розробки найякісніших запасів вугілля у випадках їхньої незначної кількості. За умови критичних значень кількості запасів, рентабельність їхньої експлуатації можлива за умови позитивних значень інших параметрів оцінки – якісних характеристик, які визначають напрям використання вугілля, і гірничо-геологічних умов, за якими обґрунтовують способи й системи розроблення.

Для встановлення промислового значення таких об'єктів проводиться кількісна, якісна й вартісна оцінка запасів за переліком критеріїв, які визначають рентабельність такого відпрацювання.

Актуальність вивчення вугільних родовищ з незначними запасами обґрунтовано нормативними документами, зокрема:

– Інструкцією із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля;

– Програмою розвитку мінерально-сировинної бази України до 2030 року [9];

– Енергетичною стратегією України на період до 2035 року “Безпека, енерго-ефективність, конкурентоспроможність” [3], де вугілля залишається ключовим джерелом отримання енергії.

У вітчизняній практиці доцільність освоєння незначних запасів вугілля визначають унаслідок проведення геолого-економічної оцінки (ГЕО), яка відбувається на базі розвіданих і попередньо оцінених запасів. Встановлення промислового значення проводиться на стадії попередньої геолого-економічної оцінки (ГЕО-2) за допомогою як прямих розрахунків, так і порівняльних оцінок, зіставлення з іншими розроблюваними об’єктами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методичні рекомендації та послідовність виконання ГЕО вугільних родовищ детально висвітлено у вітчизняних науково-методичних працях і нормативних документах [3–5, 8–10]. Параметри кількості, якості і гірничо-геологічних умов експлуатації, які визначають промислове значення запасів твердих корисних копалин, досить докладно описано в працях [5, 8, 10].

Вітчизняна практика ГЕО вугільних родовищ ґрунтується на Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр [4] та Інструкції із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля [2]. У цих документах наведено критерії розподілу запасів вугілля за промисловим значенням такі, як гірничотехнічні або технологічні чинники, результати техніко-економічних розрахунків та/або матеріали фінансової звітності, а також загальні методичні підходи до проведення ГЕО.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Більшість опублікованих праць містять методика та інструменти ГЕО запасів і ресурсів вугілля загалом або стосуються окремих одиничних родовищ [4, 11]. У зазначених методиках небагато уваги приділяється об’єктам з незначними запасами через їхню невелику частку в балансі всієї мінерально-сировинної бази. У працях, які стосуються

конкретних вугільних родовищ, зазвичай не проведено порівняльних оцінок і статистичного аналізу даних для великої вибірки об’єктів.

Дослідження, що виконали автори, стосуються родовищ вугілля з незначними запасами, які масштабно оцінювали й залучали до освоєння впродовж 2009–2013 років. Такі об’єкти зазвичай мають негативні параметри, щодо кількості запасів і малих термінів експлуатації. Натомість, для них характерні позитивні значення інших параметрів оцінювання. Для статистичного аналізу створено базу даних з понад 90 об’єктів з невеликими запасами, які розвідано або розробляють, що дало змогу обґрунтувати узагальнені висновки для всієї вибірки.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є виявлення головних показників якості та гірничо-геологічних параметрів експлуатації, які формують промислове значення вугільних родовищ з незначними запасами.

Виклад основного матеріалу. Об’єктом цього дослідження є вугільні родовища з незначними запасами. Належність до такого класу визначається відповідно до Постанови КМУ від 11 серпня 2000 р. № 1257 “Про затвердження критеріїв, за якими визначаються незначні запаси корисних копалин” [8]. Для родовищ кам’яного вугілля цим нормативом визначено граничне значення – запаси менше 5 млн т, для бурого вугілля – менше 0,5 млн т.

Для проведення статистичного аналізу було створено вибірку з групи вугільних родовищ з незначними запасами (табл. 1–2), для якої зібрано й систематизовано такі показники:

1. Складність геологічної будови та гірничо-геологічних умов розробки (за групами складності відповідно до праці [2]).
2. Мінімальна загальна потужність, м.
3. Максимальна загальна потужність, м.
4. Середня загальна потужність, м.
5. Витриманість пластів (за групами витриманості пластів відповідно до праці [2]).
6. Площа шахтоділянки.
7. Глибина залягання пластів, м.

Таблиця 1. Показники варіації якісних параметрів вугілля та гірничо-геологічних характеристик

Показники оцінки	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Стандартне квадратичне відхилення	Коеф. варіації, Kv
Середня загальна потужність, м	0,52	1,38	0,85	0,21	0,25
Вологість, %	0,70	5,30	1,99	1,12	0,56
Середня зольність з урахуванням засмічення, %	0,70	35,90	19,52	7,92	0,41
Уміст сірки, %	0,70	35,90	19,52	7,92	0,41
Вихід летких речовин середній, %	1,38	43,90	11,89	11,83	0,99
Глибина залягання пластів, м	30,00	1059,50	355,35	203,35	0,55
Площа шахтоділянки	0,04	6,38	1,31	1,40	0,23
Кути падіння порід від	3,00	45,00	17,67	12,89	0,57
Кути падіння порід до	7,00	65,00	38,62	15,83	1,07

8. Кути падіння порід (від і до).
 9. Вологість, %.
 10. Зольність сухих вугільних пачок, %.
 11. Середня зольність з урахуванням засмічення, %.
 12. Уміст сірки, %.

13. Вихід летких речовин середній, %.
 14. Кількість балансових запасів, тис. т.
 15. Експлуатаційні запаси, тис. т.
 16. Виробнича потужність, тис. т/рік.
 17. Термін будівництва, років.
 18. Термін експлуатації, років.

Таблиця 2. Показники варіації кількості запасів вугілля і техніко-економічних параметрів

Показники оцінки	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення	Стандартне квадратичне відхилення	Коефіцієнт варіації, Kv
Кількість балансових запасів, млн т	21,00	11889,00	1699,89	2394,24	1,41
Експлуатаційні запаси	13,03	9018,00	1442,17	1646,97	1,14
Виробнича потужність	6,00	600,00	98,63	113,04	1,15
Термін будівництва, років	0,40	8,00	2,02	1,09	0,54
Термін експлуатації, років	6,00	3740	16,62	6,33	0,38
Собівартість 1 т рядового вугілля	270,00	695,00	515,26	98,34	0,19
Оптова ціна 1 т рядового вугілля	290,00	710,00	541,20	98,86	0,18

19. Собівартість 1 т рядового вугілля, грн.
20. Оптова ціна 1 т рядового вугілля, грн.
21. Рентабельність за чистим прибутком, %.

Показники № 1–8 характеризують складність геологічної будови та гірничо-геологічних умов розробки, № 9–13 визначають якість, марки та напрям використання вугілля, показники № 14–21 стосуються кількості запасів і техніко-економічних параметрів їхнього розроблення.

Для більшості ділянок експлуатаційні запаси становлять від 20 до 11 889 тис. т, продуктивність міститься в межах 6–600 т/рік. Розроблення запасів відбувається камерною системою.

Зіставлення та розподіл об'єктів за групами складності будови, витриманості вугільних пластів і продуктивності наведено на рис. 1.

Статистичний аналіз дав змогу виявити найсталіші та найдинамічніші параметри якості та умов відпрацювання незначних запасів вугілля, що дає змогу кількісно оцінити геологічні ризики непідтвердження якості або кількості запасів.

З-поміж параметрів якості вугілля найбільші коливання характерні для виходу летких компонентів, що визначає цей параметр як найризикованіший. Найменші коефіцієнти варіації характерні для вологості вугілля. Серед параметрів гірничо-геологічних умов розробки максимальні значення коефіцієнтів варіації характерні для кутів падіння пластів. Відповідно з ними пов'язані максимальні ризики можливого непідтвердження запасів вугілля або нерентабельного їхнього відпрацювання. Найменші значення – витриманість пластів, що характеризує пара-

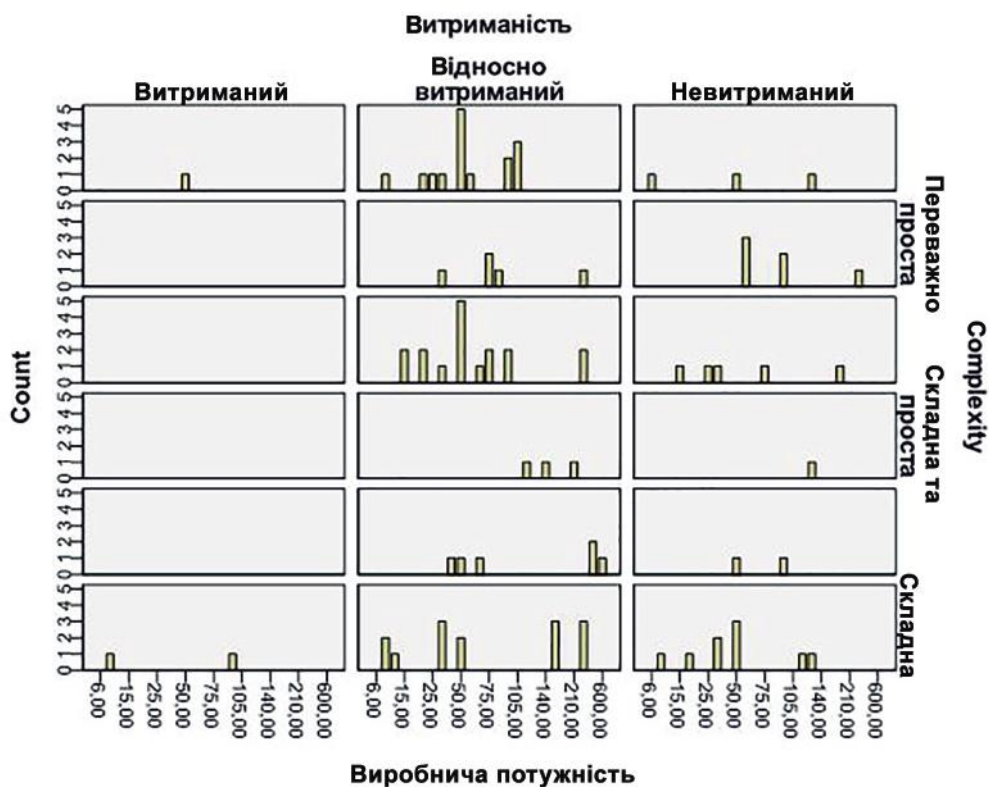


Рис. 1. Розподіл об'єктів за групами складності будови, витриманості вугільних пластів і продуктивності

метр як найбезпечніший (безризиковий) для промислового освоєння запасів.

Наступним кроком для цієї вибірки було виконання кореляційного аналізу між показниками якості й кількості запасів вугілля, параметрів гірничо-геологічних умов розробки й кількістю вугілля, а також усіх вищеперахованих показників з результуючими техніко-економічними показниками (продуктивністю видобутку, терміном експлуатації, собівартістю видобутку, вартістю вугілля та рентабельністю розробки запасів). Здебільшого під час проведення аналізу незалежними величинами були показники якості добутого вугілля або гірничо-геологічних умов розробки. Як залежні параметри використовували результати підрахунку запасів (кількість) і техніко-економічні показники.

Кореляційний аналіз параметрів якості й кількості вугілля та техніко-еконо-

мічних показників виявив такі залежності:

1) з-поміж показників якості вугілля найбільший вплив на величину запасів має вихід летких речовин;

2) уміст сірки й зольність вугілля негативно впливають на значення собівартості видобутку і переробки;

3) зафіксовано високий кореляційний зв'язок між величиною запасів і продуктивністю видобутку, що засвідчує переважний вплив цього чинника, не зважаючи на гірничо-геологічні умови;

4) величина запасів мало впливає на рентабельність розроблення запасів, що можна пояснити однорідністю даних вибірки щодо величини запасів, оскільки всі вони є невеликими.

Окремі розподіли параметрів якості й кількості вугільних запасів наведено на рис. 2–3.

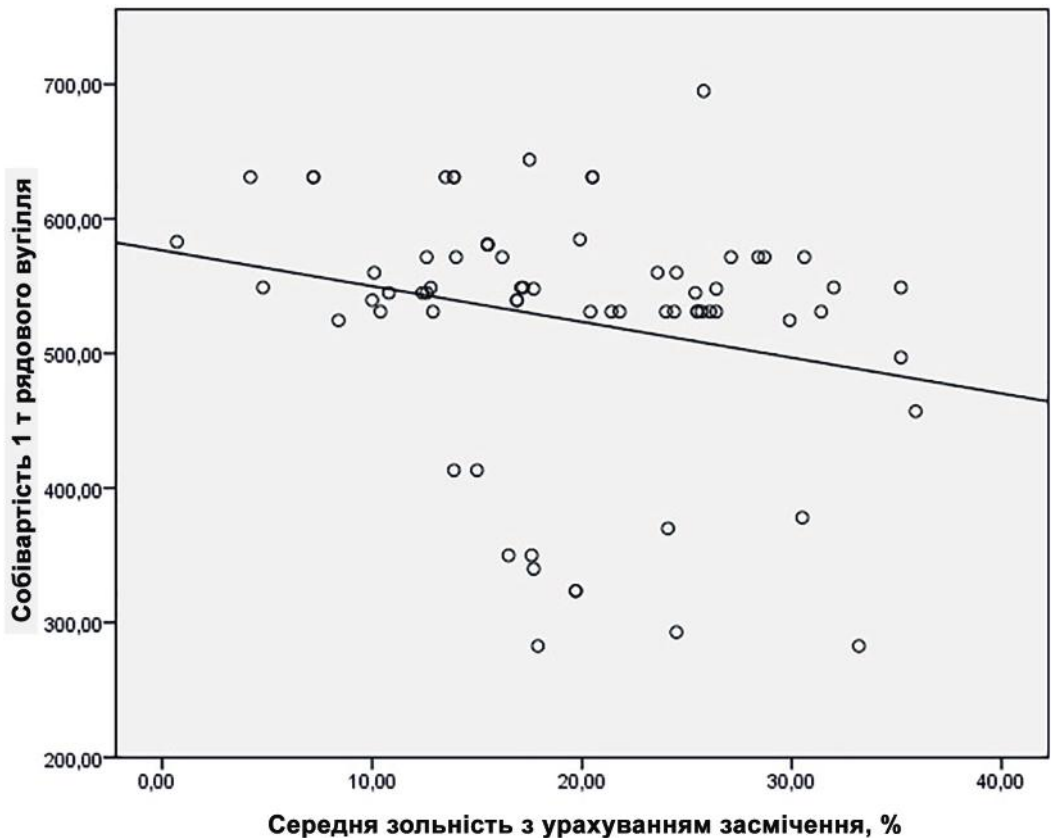


Рис. 2. Залежність між зольністю запасів і собівартістю видобутку

Кореляційний аналіз гірничо-геологічних параметрів освоєння та техніко-економічних показників виявив такі залежності:

1. Найбільше на складність геологічної будови і гірничих умов розроблення впливає потужність вугільних пластів. Пряма залежність складності будови й потужності вугільних пластів є неприродною характеристикою і пов'язана із застосуванням параметрів кондицій за потужністю для різних за величиною запасів: що більша потужність пластів, то складнішої будови родовища можна залучити до промислової розробки. Незначні запаси родовища з малими потужностями є нерентабельними. Також саме ускладнення умов експлуатації спричиняє скорочення термінів експлуатації родовища. Терміни будівництва для більшості об'єктів з незначними запасами не перевищують чотирьох років, але

в разі ускладнення гірничо-геологічних чинників спостерігається певне зростання термінів будівництва шахт і виходу на проектну продуктивність до 8 років.

2. Для цієї вибірки родовищ з незначними запасами істотна кількість балансових запасів зосереджена на більших глибинах або збільшується з глибиною залягання пластів. Пряма залежність величини запасів і глибини залягання вугільних пластів є так само пов'язана із застосуванням параметрів кондицій за глибиною для різних за величиною запасів: що більша кількість запасів, то більші глибини можуть бути рентабельними для відпрацювання.

3. Найчутливішими обсяги балансових запасів виявляються до кутів падіння вугільних пластів і глибини їхнього залягання, що визначає доцільність використання відповідних параметрів кондицій.

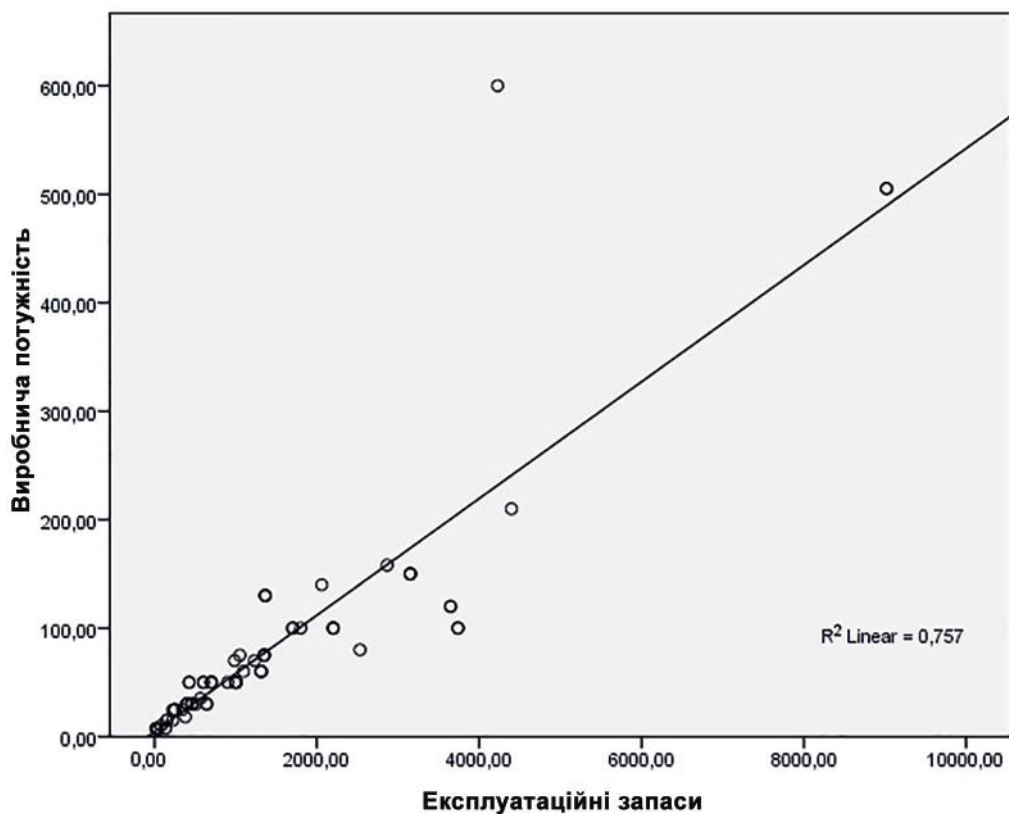


Рис. 3. Залежність між величиною запасів і продуктивністю видобутку

4. На рентабельність розроблення найбільше впливають кути падіння пластів і терміни відпрацювання запасів. Зафіксовано певний прямий зв'язок між глибиною розробки і рентабельністю, що може спричинити концентрацію найкращих запасів на більших глибинах.

Окремі розподіли гірничо-геологічних параметрів освоєння вугільних запасів і техніко-економічних показників наведено на рис. 4–6.

Висновки. Для більшості родовищ першим визначальним критерієм оцінки є величина запасів. Великі за масштабом родовища можна рентабельно розробляти навіть за негативного впливу інших чинників промислової цінності.

Прямо протилежні передумови характерні для родовищ вугілля з незначними запасами. Статистичний і кореляційний

аналіз дав змогу виявити найсприятливіші параметри якості та умови розробки невеликих і дрібних запасів вугілля, які можна рентабельно добувати. Для оцінених вітчизняних об'єктів найбільший вплив на промислове значення мають кути падіння вугільних пластів і глибини їхнього залягання, що визначає доцільність використання відповідних параметрів кондицій. Також на складність геологічної будови і гірничих умов розробки найбільше впливає потужність вугільних пластів.

Пряма залежність складності будови й потужності вугільних пластів пов'язана із застосуванням параметрів кондицій потужності для різних за величиною запасів: що більша потужність пластів, то складнішої будови родовища можна залучити до промислової розробки. Незначні запаси родовища з малими потужностями є не-

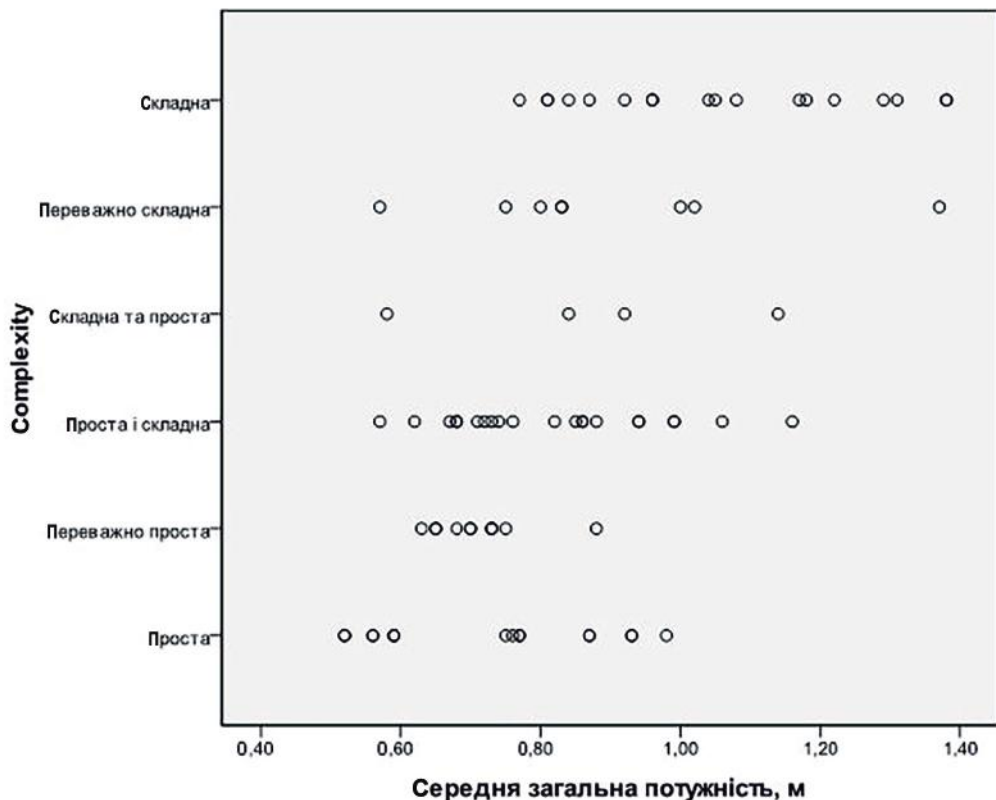


Рис. 4. Розподіл і залежність складності геологічної будови від потужності вугільних пластів

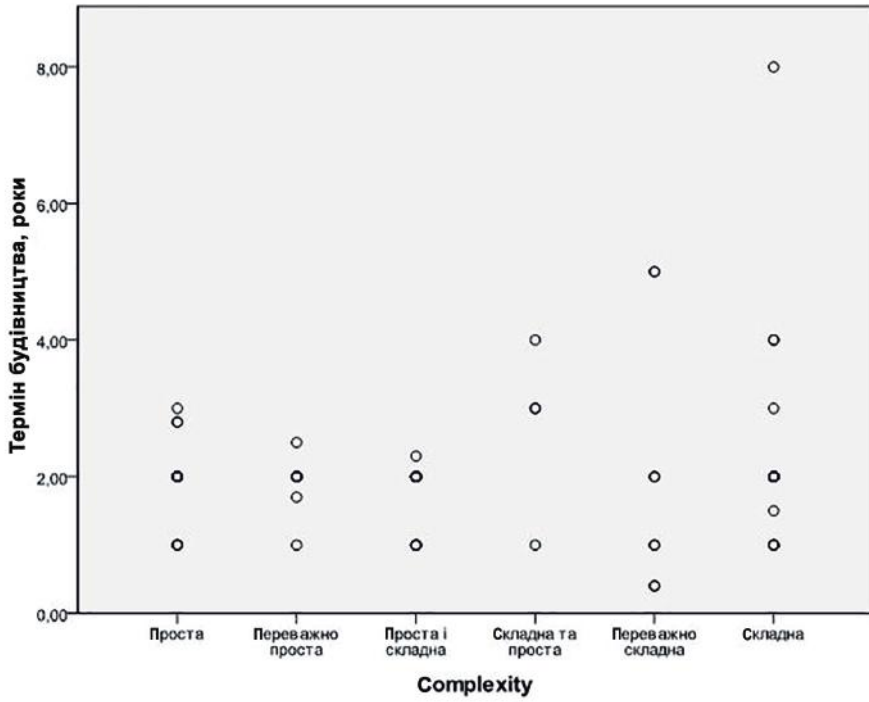


Рис. 5. Розподіл і залежність терміну будівництва добувнього підприємства від складності геологічної будови вугільних пластів

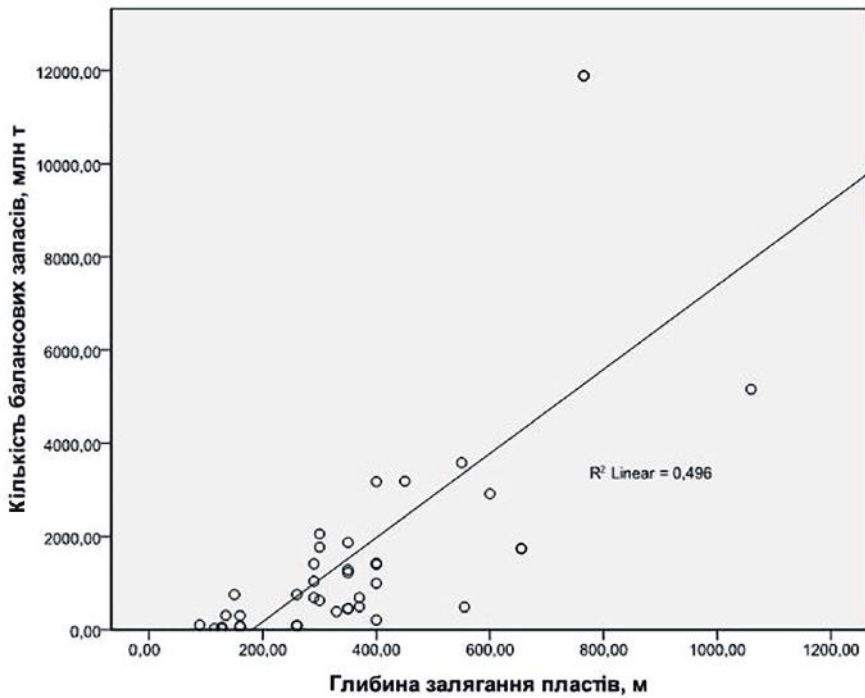


Рис. 6. Розподіл і залежність кількості запасів вугілля від глибини залягання пластів

рентабельними. Також саме ускладнення умов експлуатації спричиняє скорочення термінів експлуатації родовища.

Терміни будівництва для більшості об'єктів з незначними запасами не перевищують чотирьох років, але в разі ускладнення гірничо-геологічних чинників спостерігається певне зростання термінів будівництва шахт і виходу на проектну продуктивність до 8 років.

Серед параметрів якості вугілля найбільші коливання характерні для виходу легких компонентів, що й визначає цей параметр як найризикованіший. З-поміж параметрів гірничо-геологічних умов розробки максимальні значення коефіцієнтів варіації і відповідні ризики можливого не підтвердження запасів вугілля або нерентабельного їхнього відпрацювання характерні для кутів падіння пластів. Найменші значення – витриманості пластів, що характеризує параметр як найбезпечніший (безризиковий) для промислового освоєння запасів.

Промислового значення об'єкти з незначними запасами можуть набувати за сприятливості всіх інших умов освоєння – гірничотехнічних умов, які сприяють формуванню низької собівартості видобутку, якості корисної копалини, сприятливої кон'юнктури ринку мінеральної сировини, локалізації об'єкта стосовно споживачів та ін. При цьому головною передумовою залучення об'єктів з незначними запасами до експлуатації має бути їхній високий ступінь геологічного вивчення, а рішення про можливе промислове значення має прийматися після детальних техніко-економічних розрахунків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетична стратегія України до 2035 року: “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”, схвалена розпорядженням КМУ від 18 серпня 2017 р. № 605-р. – Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.

2. Інструкція із застосування Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр до родовищ вугілля. – К.: ДКЗ України, 2004. – 34 с.

3. *Каждан А. Б.* Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых/А. Б. Каждан, Л. П. Кобахидзе. – М.: Недра, 1985. – 205 с.

4. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин Державного фонду надр: затверджено постановою Кабінету Міністрів України № 432 від 05.05.97//Офіційний вісник України. – 1997. – № 19.

5. *Коржнев М. М.* Основи економічної геології: навчальний посібник/М. М. Коржнев, В. А. Михайлов, В. С. Міщенко та ін.; за ред. В. А. Михайлова. – К.: Логос, 2006. – 223 с.

6. Постанова КМУ від 11.08.2000 р. № 1257 “Про затвердження критеріїв, за якими визначаються незначні запаси корисних копалин”. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1257-2000-%D0%BF>.

7. Про затвердження Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 р.: Закон України від 21.04.2011 № 3268-VI//Офіційний вісник України. – 2011. – № 39. – С. 1581.

8. *Рудько Г. І.* Геолого-економічна оцінка родовищ корисних копалин: монографія/Г. І. Рудько, М. М. Курило, С. В. Радванов. – К.: АДЕФ-Україна, 2011. – 364 с.

9. Australasian Code for Reporting of Exploration Results//Mineral Resources and Ore Reserves. – 2012. – http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf.

10. *Wellmer E. W.* Economic evaluation in exploration. – Berlin, Heidelberg and New York (Springer-Verlag), 1989. – 150 p.

REFERENCES

1. Energy Strategy of Ukraine until 2035: “Security, Energy Efficiency, Competitiveness”, approved by the CMU from August 18, 2017 No 605-r. – Kyiv, 2017. – <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>. (In Ukrainian).

2. Instruction on the Application of the Classification of Mineral Reserves and Resources of the State Fund for Coal Minerals. – Kyiv: DKZ Ukraine, 2004. – 34 p. (In Ukrainian).

3. *Kazhdan A. B., Kobahidze L. P.* Geological and economic evaluation of mineral deposits. – Moskva: Nedra, 1985. – 205 p. (In Russian).

4. Classification of mineral resources reserves and resources of the State Fund of Subsoil: approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine № 432 of 05.05.1997// Ofitsiyniy visnyk Ukrainy. – 1997. – No 9. (In Ukrainian).

5. Korzhniev M. M., Mykhailov V. A., Mishchenko V. S. ta in. *Fundamentals of Economic Geology: Textbook*. – Kyiv: Lohos, 2006. – 223 p. (In Ukrainian).

6. CMU Resolution No 1257 of August 11, 2000 “On Approval of Criteria for Mining Mineral Reserves”. – Kyiv, 2000. – Available at: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1257-2000-%D0%BF>. (In Ukrainian).

7. On approval of the National Program of mineral resources of Ukraine till 2030: The Law of Ukraine of 21.04.2011 № 3268-VI//Ofitsiyniy visnyk Ukrainy. – 2011. – No 39. – P. 1581. (In Ukrainian).

8. Rudko G. I., Kurylo M. M., Radovanov S. V. *Geological and economic evaluation of mineral deposits*. – Kyiv: ADEF-Ukraina, 2011. – 364 p. (In Ukrainian).

9. Australasian Code for Reporting of Exploration Results//Mineral Resources and Ore Reserves. – 2012. – http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf (accessed 17 November 2018).

10. Wellmer E. W. *Economic evaluation in exploration*. – Berlin, Heidelberg and New York (Springer-Verlag), 1989. – 150 p.

Рукопис отримано 22.11.2018.

Г. И. Рудько, Государственная комиссия Украины по запасам полезных ископаемых, office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

М. М. Курило, УНИ “Институт геологии”, Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, marikurylo@meta.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>,

В. В. Бала, Государственная комиссия Украины по запасам полезных ископаемых, bala@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6180-5126>,

Ю. С. Маковский, геологический факультет, Львовский национальный университет им. И. Франко, makowskijs@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3669-3991>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ МЕЖДУ КОЛИЧЕСТВЕННЫМИ И КАЧЕСТВЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ОЦЕНКИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С НЕЗНАЧИТЕЛЬНЫМИ ЗАПАСАМИ

Целью данного исследования является статистический и корреляционный анализ основных показателей качества и количества запасов угля на примере объектов с незначительными запасами. Проведена систематизация показателей качества, количества и горно-геологических условий разработки, по которым в отечественной и международной практике устанавливается промышленное значение угольных месторождений. Проведен корреляционный анализ таких показателей для угольных месторождений с незначительными запасами с целью установления основных характеристик, которые могут существенно влиять на рентабельность освоения запасов.

Ключевые слова: уголь, количество и качество запасов, незначительные запасы, корреляционный анализ, промышленное значение.

G. I. Rudko, State Commission of Ukraine on Mineral Resources, office@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-7752-4310>,

M. M. Kurylo, Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, kurilo@mail.univ.kiev.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1411-2754>,

V. V. Bala, State Commission of Ukraine on Mineral Resources, bala@dkz.gov.ua, <https://orcid.org/0000-0001-6180-5126>,

Yu. S. Makovskyi, geological faculty, Ivan Franko National University of Lviv, makowskijs@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-3669-3991>

DETERMINE THE DEPENDENCE BETWEEN QUANTITATIVE AND QUALITATIVE PARAMETERS OF EVALUATION OF COAL DEPOSITS WITH LOW STOCKS

Main purpose of this study is statistical and correlation analysis of grade and quantity indicators for coal reserves on the example of objects with insignificant reserves.

It was determined and systematized exploitation indicators of quality, quantity and mining-geological conditions which are used in domestic and international practice for assessment of coal

deposits. Correlation analysis of such indicators for coal deposits with insignificant reserves has been carried out in order to reveal these ones that can significantly affect reserves profitability.

Statistical and correlation analysis identified most favorable parameters of quality and exploitation conditions of small and insignificant coal reserves that allow them to be extracted profitably.

For assessed domestic objects, angles of incidence of coal seams and depth of their occurrence have impact on industrial importance and reserves values. These factors define list of cut-off parameters for reserves calculation.

In the same time, the coal seams thickness affects the complexity of geological structure and mining conditions. The direct dependence of the complexity and structure and the coal seams thickness is associated with application such cut-off parameters: the greater thickness allows exploit deposit with more complex geological and mining structure. Insignificant reserves with less seams thickness will have not profitable extraction. Also complication of mining conditions causes a shortening of the exploitation period for deposits.

Construction period for most objects with insignificant reserves do not exceed four years but more complicated geological factors causes some growth in terms of construction and reaching full project capacity up to 8 years.

Among the quality coal parameters large fluctuations are characteristic for volatile components, which determines this parameter as the most risky. Among parameters of geological and mining conditions the maximum values of variation coefficients are characteristic for falling angles of coal seams. This can cause corresponding risks of non-confirmation of coal reserves or unprofitable exploitation.

Keywords: coal, reserves quantity and quality, insignificant reserves, correlation analysis, industrial significance.