

Витвицький Я. С.
*доктор економічних наук, професор,
професор кафедри економіки підприємства
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*
Лебега О. В.
*аспірант кафедри економіки підприємства
Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу*

Vytvitsky Ya. S.
*Doctor of Economic Sciences, Professor,
Professor of department of enterprise economy
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas*
Lebega O. V.
*Postgraduate student
Department of enterprise economy
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,*

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВИДОБУВАННЯ СЛАНЦЕВОГО ГАЗУ

MODELING THE ECONOMIC INDICATORS OF SHALE GAS PRODUCTION

Анотація. У статті приведено результати кореляційно-регресійного аналізу з метою подальшого використання отриманих кореляційних залежностей для оцінювання економічних показників видобування природного газу зі сланцевих порід. Статистичні дані, на основі яких отримані кореляційні залежності, зібрані шляхом аналізу інформації про досвід видобування сланцевого газу на основних родовищах США. Використано такі характеристики сланцевих формацій, як: вміст органічної речовини, ступінь її катагенезу, інтервали глибин залягання сланцевих порід, ефективна товщина, пористість, проникливість, уміст газу, дебіт газу. Встановлено кореляційно-регресійні залежності між цими параметрами і граничною межею витрат, за яких можливий рентабельний видобуток сланцевого газу.

Ключові слова: сланцевий газ, характеристики сланцевих формацій, кореляційно-регресійні залежності, ціна беззбитковості видобутку газу зі сланцевих формацій.

Вступ та постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку світової економіки для оцінки та прогнозування економічних процесів широко застосовують економіко-математичні методи. Велика кількість діючих факторів у нафтогазовидобувній сфері зумовлює необхідність застосування кореляційно-регресійного аналізу для кількісної оцінки взаємозалежностей між численними параметрами, що характеризують окремі геологічні властивості нафтогазоперспективних формацій та економічними характеристиками видобування з них вуглеводнів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам виявлення найбільш перспективних зон щодо рентабельного видобутку природного газу із сланцевих порід присвячено низку публікацій [1–13]. Однак у цих роботах здебільшого розглядалися проблеми встановлення критеріїв, які якісно і кількісно характеризують найбільш перспективні зони та вибору комплексу геолого-геофізичних методів, що дають можливість їх виявляти. Проте в жодній із цих робіт не було здійснено спроб застосування кореляційно-регресійного аналізу з метою подальшого використання отриманих кореляційних залежностей для прогнозування економічних характеристик родовищ природного газу у сланцевих формаціях.

Проведений нами аналіз досвіду видобування газу із сланцевих порід [14, с. 40–52] дав змогу встановити найважливіші характеристики сланцевих формацій, які й послужили основою для кореляційно-регресійного аналізу.

Метою даної роботи є побудова економіко-математичних моделей для оцінки граничної межі витрат під час видобування газу зі сланцевих порід залежно від різних факторів для прогнозування цієї важливої економічної характеристики на нових територіях, площах і локальних об'єктах.

Результати дослідження.

Аналіз досвіду США та інших країн щодо розвідки і видобування газу зі сланцевих порід, де нині здійснюється його промисловий видобуток, проведений нами у роботі [14, с. 40–52], дав змогу встановити найважливіші характеристики сланцевих формацій, а саме:

- вміст органічної речовини (керогену), %;
- термальна зрілість сланцевих порід (ступінь катагенезу R_o), %;
- пористість, %;
- ефективна товщина продуктивного горизонту, м;
- проникливість, нанодарсі;
- глибина залягання, м;
- вміст газу, м³/т;
- продуктивність (дебіт) свердловин.

Ці характеристики стали передумовою для побудови кореляційних залежностей, за допомогою яких можна отримати кількісну оцінку найбільш перспективних зон та визначити можливості рентабельного видобування сланцевого газу.

Також було проведено дослідження статистичних характеристик обраних параметрів [14, с. 63–74]. Установлено характер їх розподілу, межі змін, математичне очікування, стандартне відхилення.

На першому етапі дослідження здійснено аналіз парних кореляційних залежностей між характеристиками сланцевих формацій і ціною газу, що встановлена як собівартість плюс 10% норма прибутку [10, с. 53].

Відомо, що головним критерієм відмінності газоносних сланців від звичайних осадових порід є вміст органічної речовини (керогену) [3; 4; 7]. Як показують численні дослідження, вміст органічної речовини у перспективних зонах має перевищувати 1–3%. На рис. 1 зображено кореляційну залежність беззбитковості видобутку сланцевого газу від вмісту органічної речовини *Sorg*, яка носить нелінійний характер і добре описується степеневу функцією.

Не менш важливою характеристикою сланцевих формацій є степінь катагенезу (еволюції) органічної речовини, що визначається за відбивною здатністю вітриніту (R_o). Загалом із підвищенням рівня катагенетичних перетворень, тобто рівня термічної зрілості органічної речовини, зростає вміст вуглецю у керогені, відповідно зростає значення R_o . За значних глибин залягання і в умовах високого тиску це забезпечує значні початкові дебіти газу.

Залежність ціни беззбитковості від ступеня катагенезу керогену подано на рис. 2. Вона є значимою і носить нелінійний характер.

Локальні високопродуктивні зони сланцевих товщ характеризуються високою матричною пористістю. Пори у сланцевих породах містять значну кількість вільного сланцевого газу, який у початкові періоди видобування можна вилучати з високими дебітами, що сприяє покращенню економічних показників. Як видно з рис. 3, залежність між пористістю і ціною беззбитковості газу також має нелінійний характер.

Товщина сланців разом із великою площею їх розповсюдження і наявністю органічної речовини для адсорбції газу визначають запаси сланцевого газу, а також створюють більш сприятливі умови для буріння горизонтальної частини свердловин. Залежність ефективної товщини сланцевих формацій і ціни беззбитковості подано на рис. 4.

Проникність є характеристикою, що визначає фільтраційні властивості сланцевих порід. Велике значення має зумовлена сланцюватістю наявність системи природних тріщин, що визначають проникність і підвищують ефективність проведення гідророзривів. Проникність розподілена за логнормальним законом [15, с. 68], тому досліджувалася залежність між ціною беззбитковості і логарифмом проникності (рис. 5).

Суттєво впливає на вибір технічних, технологічних та організаційних рішень під час буріння свердловин є

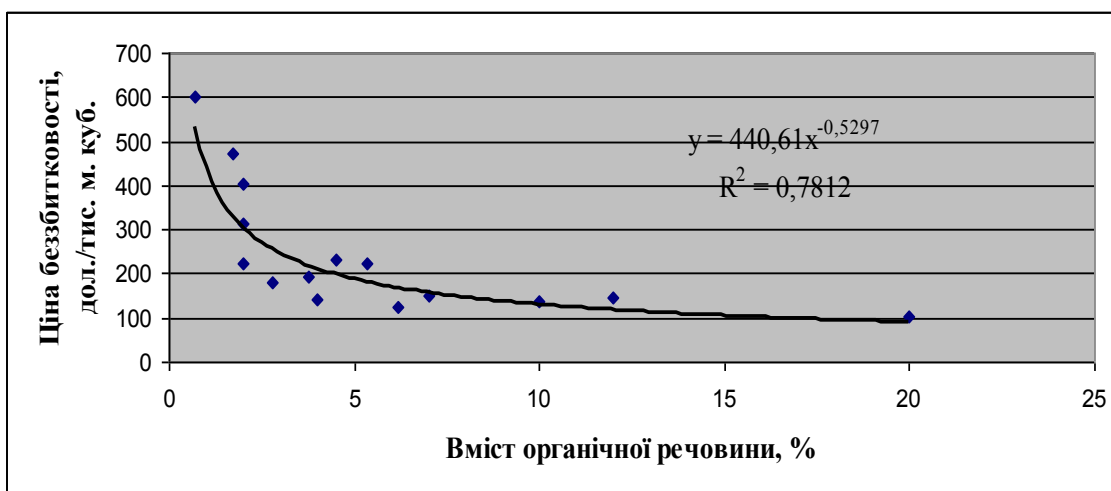


Рис. 1. Залежність беззбитковості видобутку сланцевого газу від вмісту органічної речовини, *Sorg*

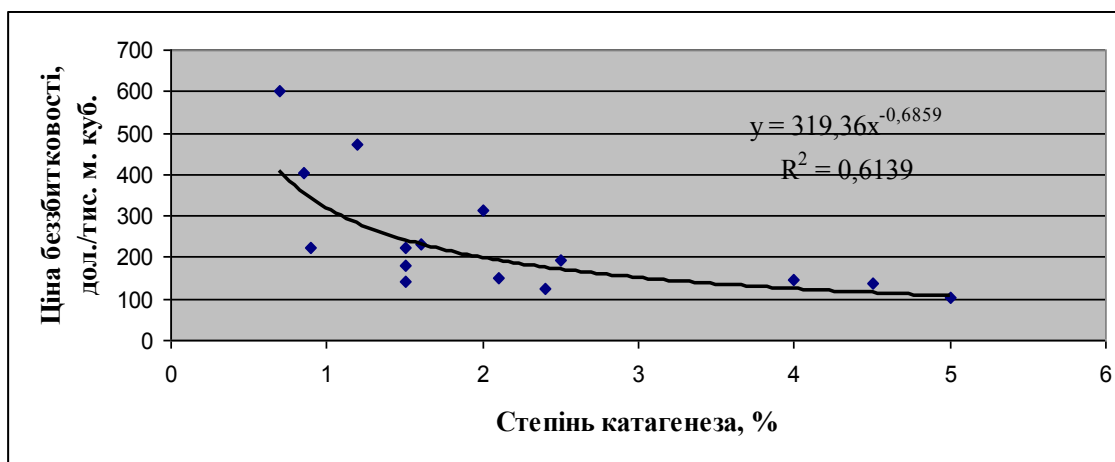


Рис. 2. Залежність беззбитковості видобутку сланцевого газу від ступеня катагенезу керогену, R_o

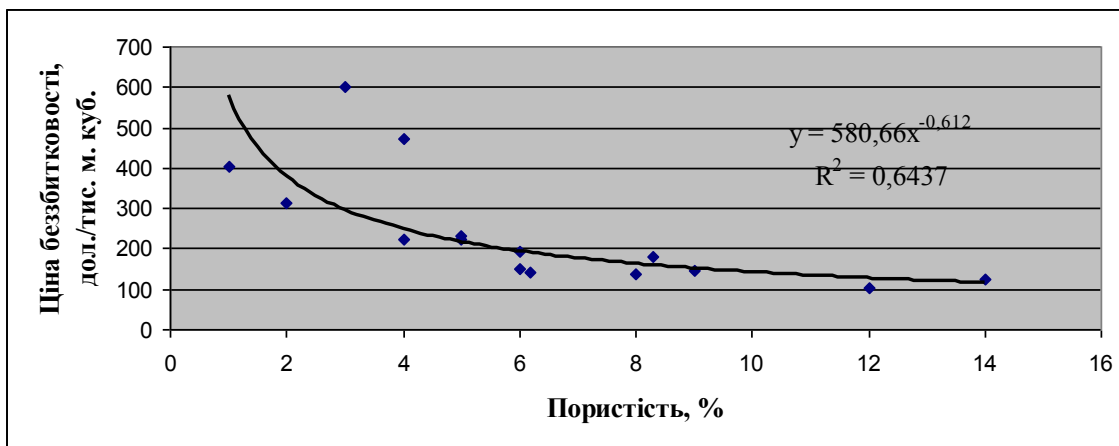


Рис. 3. Залежність безбитковості видобутку сланцевого газу від пористості сланцевих порід, $Kп$



Рис. 4. Залежність безбитковості видобутку сланцевого газу від ефективної товщини сланцевих порід, h_{ef}

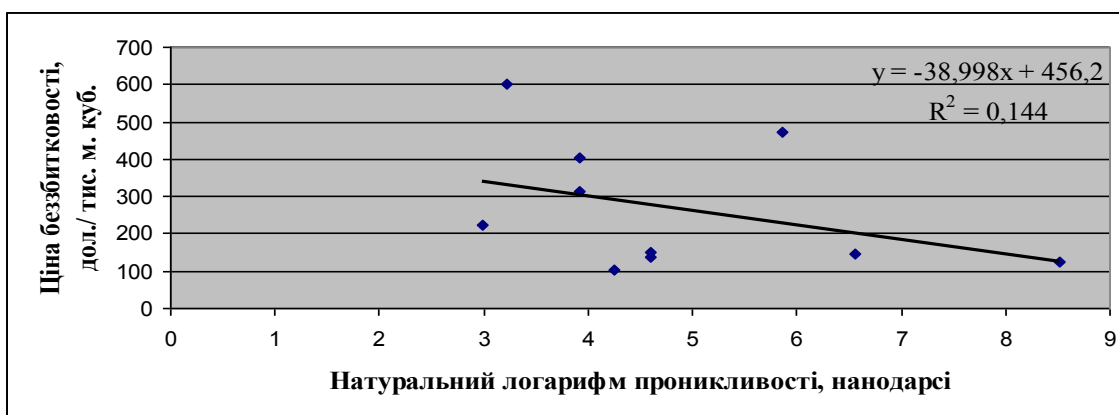


Рис. 5. Залежність безбитковості видобутку сланцевого газу від проникливості сланцевих порід, $lnKпр$

глибина залягання сланцевої товщі. Крім цього, вона є важливим фактором формування величини інвестиційних витрат і собівартості видобутку газу. Також зі зростанням глибини залягання сланцевих товщ зростають пластові тиски і температури, що сприяє поглибленню ступеня катагенезу органічної речовини та збільшенню продуктивності свердловин. Залежність

безбитковості видобутку сланцевого газу від глибини подано на рис. 6.

Промисловий видобуток газу є доцільним у зонах підвищеної газогенераційної здатності сланцевих товщ, які визначаються вмістом газу у сланцевій породі. Залежність безбитковості видобутку сланцевого газу від вмісту газу зображено на рис. 7.

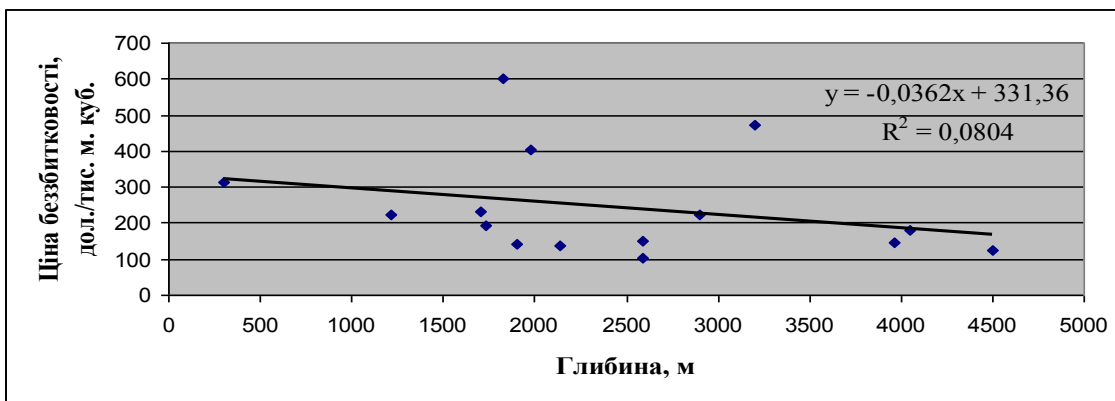


Рис. 6. Залежність беззбитковості видобутку сланцевого газу від глибини залягання сланцевих порід, *H*

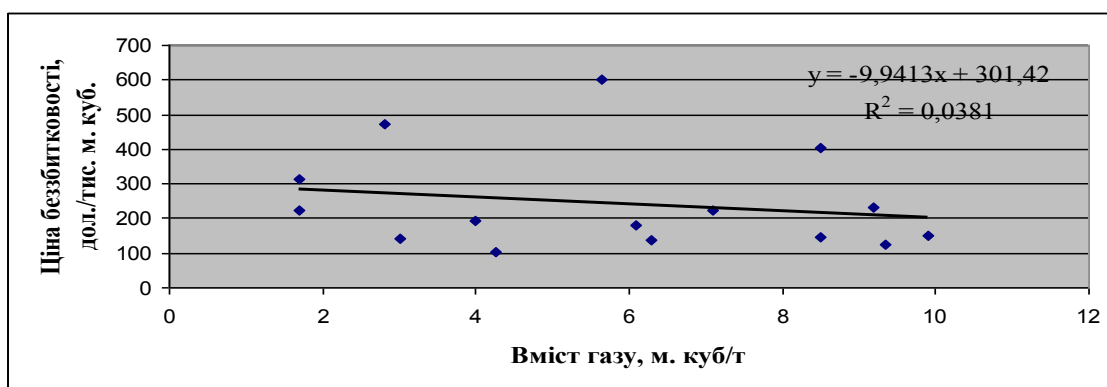


Рис. 7. Залежність беззбитковості видобутку сланцевого газу від вмісту газу, *B₂*

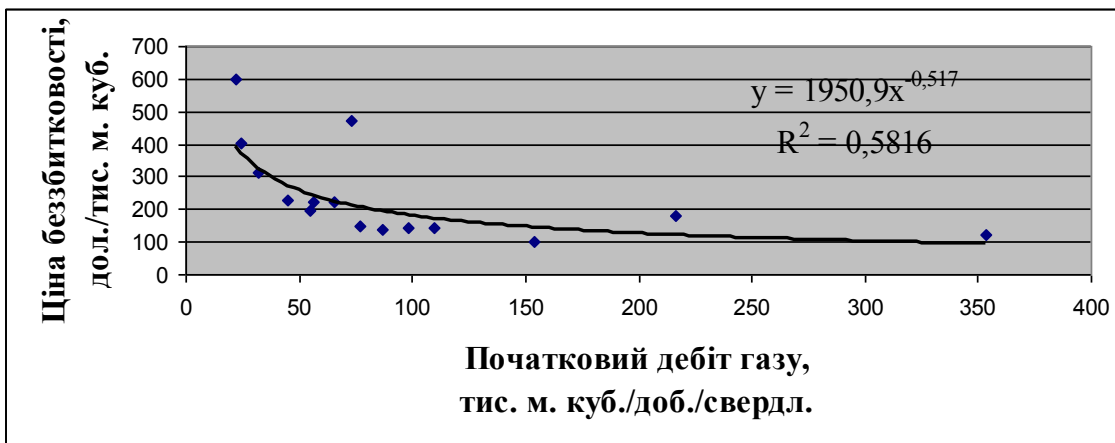


Рис. 8. Залежність беззбитковості видобутку сланцевого газу від дебіту свердловин

Нарешті, на останньому етапі дослідження на основі даних по основних родовищах США (Барнет, Фаєтвілл, Хейнсвілл, Марселлус, Вудфорд) [10, с. 53] встановлено кореляційну залежність ціни беззбитковості видобування сланцевого газу від початкового дебіту свердловин (рис. 8).

Як видно з наведених результатів КРА, отримані парні кореляційно-регресійні залежності підтверджують геолого-економічну сутність взаємозв'язків між досліджуваними параметрами і можуть використовуватися для економічної оцінки перспектив видобування сланцевого газу.

Відомо, що більш точно і достовірно встановити зв'язки між досліджуваними параметрами дає змогу застосування багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу [16]. Саме це завдання було наступним етапом дослідження, у результаті якого отримано залежність між ціною беззбитковості видобутку газу зі свердловин

дуже важливою є можливість застосування отриманих залежностей для економічної оцінки перспектив видобування сланцевого газу. Саме це завдання було наступним етапом дослідження, у результаті якого отримано залежність між ціною беззбитковості видобутку газу зі свердловин

у сланцевих породах і найважливішими геологічними характеристиками цих порід:

$$Цб = 392,44 - 2,63Cорг - 35,11Kn - 0,03неф - 6,97Вг + 0,05Н, (1)$$

$$R_m = 0,76; \text{Обсяг вибірки} - 15 \text{ спостереження; } Fr = 2,9 > Fr_{кр} = 2,47.$$

Необхідно зазначити, що отримані залежності мають велике практичне значення, оскільки дають змогу прогнозувати найважливіший геолого-економічний показник сланцевих порід – граничну межу витрат, за яких видобування сланцевого газу може бути рентабельним, що є основою для успішного управління процесами проведення геологорозвідувальних робіт та розроблення сланцевих родовищ.

Висновки. Проведений збір, аналіз та узагальнення доступної інформації про основні геолого-економічні характеристики родовищ, де нині ведеться комерційний видобуток природного газу зі сланцевих порід, дав змогу встановити кореляційно-регресійні залежності, що забезпечують можливість оцінювання такої важливої економічної характеристики сланцевих родовищ, як гранична межа витрат, за яких можливий беззбитковий видобуток газу. Використання отриманих регресійних залежностей може стати поштовхом для переоцінки перспективності видобування природного газу зі сланцевих відкладів у різних осадових басейнах у світі та Україні.

Список використаних джерел:

1. Дмитриевский А.Н. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья / А.Н. Дмитриевский, В.И. Высоцкий // Газовая промышленность. – 2010. – № 8. – С. 44–47.
2. Сорокин С.Н. Основные проблемы и перспективы добычи сланцевого газа / С.Н. Сорокин, А.А. Горячев. – М., 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.eriras.ru/files/Sorokin_Goryachev_OEPEE_slanec.pdf.
3. Цветков Л.Д. Сланцевые углеводороды (библиографический обзор) / Л.Д. Цветков, Н.Л. Цветкова [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ftp.nedra.ru/rus/activity/archive/publications/hydrocarbons.pdf>.
4. Лукин А.Е. Черносланцевые формации эвскинского типа – мегаловушки природного газа / А.Е. Лукин // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2013. – № 4. – С. 5–28.
5. Юрова М.П. Особенности разработки сланцевых углеводородов США (на примере формаций Бакен, Игл Форд, Барнетт, Хайнесвилл, Файетвилл, Марцеллус) / М.П. Юрова [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://geors.ru/media/pdf/07_Yurova.pdf.
6. Бойер Ч. Сланцевый газ – глобальный ресурс / Ч. Бойер, Б. Кларк, Р. Лъис, К.К. Миллер // Нефтегазовое обозрение. – 2011. – Т. 23. – № 3 – С. 36–51. – @ Copyright 2012 Schlumberger.
7. Поиск высокопродуктивных зон: качество коллектора и качество заканчивания скважин // Нефтегазовое обозрение, 2013–2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/russia13/win13/article.5.pdf.
8. Богоявленский В. Месторождение Марселлус – лидер сланцевой революции в США / В. Богоявленский, П. Баринов, И. Богоявленский, К. Якубсон [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://burneft.ru/archive/issues/2016-12/16>.
9. Собко А. Сланцевая революция в мире: как не запутаться в цифрах / А. Собко [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.odnako.org/blogs/slancevaya-revoluciya-v-mire-kak-ne-zaputatsya-v-cifrah/>.
10. Нетрадиционный газ как фактор регионализации газовых рынков А.М. Мастепанов, А.Д. Степанов, С.В. Горевалов, А.М. Белогорьев ; под общ. ред. д. э. н. А.М. Мастепанова и к. г. н., доц. А.И. Громова. – М. : Энергия, 2013. – 128 с.
11. Иванов Н.А. Сланцевая Америка: энергетическая политика США и освоение нетрадиционных нефтегазовых ресурсов / Н.А. Иванов. – М. : Магистр, 2014. – 304 с.
12. Аверьянова О.Ю. Вариативность оценок углеводородного потенциала нефтегазоносных систем / Ю.А. Аверьянова, Д. Морариу // Нефтегазовая геология. Теория и практика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.ngtp.ru/rub/6/32_2016.pdf.
13. Репник А.А. Автоматизированное выделение наиболее перспективных зон для разработки сланцевых объектов с помощью разработанного плагина в среде OCEAN FRAMEWORK (PETREL) / А.А. Репник // XXI Губкинские чтения (Москва, 4–25 марта 2016 г.). – С. 101–105.
14. Витвицкий Я.С. Світовий досвід видобування сланцевого газу / Я.С. Витвицкий, О.В. Лебега // Науковий вісник ІФН-ТУНГ. Серія «Економіка та управління в нафтовій і газовій промисловості». – 2016. – № 1(13). – С. 40–52.
15. Витвицкий Я.С. Врахування фактора часу при освоєнні родовищ природного газу у сланцевих породах / Я.С. Витвицкий, О.В. Лебега // Вісник ВІЕМ. – 2017. – № 18. – С. 63–74.

Аннотация. В статье приведены результаты корреляционно-регрессионного анализа, осуществленного с целью дальнейшего использования полученных зависимостей для оценивания экономических показателей добычи природного газа из сланцевых пород. Статистические данные, на основании которых получены корреляционные зависимости, собраны путем анализа информации об опыте добычи сланцевого газа на основных месторождениях США. Используются такие характеристики сланцевых формаций, как: содержание органического вещества, степень ее катагенеза, интервалы глубин залегания сланцевых пород, эффективная мощность, пористость, проницаемость, содержание газа, дебит газа. Получены корреляционно-регрессионные зависимости между этими параметрами и предельными затратами, при которых возможна рентабельная добыча сланцевого газа.

Ключевые слова: сланцевый газ, характеристики сланцевых формаций, корреляционно-регрессионные зависимости, цена безубыточности добычи газа из сланцевых формаций.

Summary. The article shows the results of correlation-regression in order to further use the obtained correlation dependences for the estimation of economic parameters of natural gas production from shale rocks. The statistical data on the basis of which correlation dependencies were obtained are collected by analyzing information on the experience of shale gas production in the main US deposits. The following characteristics of the shale formations are used: the content of organic matter, the degree of its catagenesis, the intervals of depth of occurrence of shale rock, effective thickness, porosity, insight, gas content, gas flow rate. There is established correlation-regression dependencies between these parameters and the marginal cost limit, at which it is possible for cost-effective extraction of shale gas.

Key words: shale gas, characteristics of shale formations, correlation-regression dependencies, price of break-even gas extraction from shale formations.