

УДК 622.276.6

doi <https://doi.org/10.31996/mru.2020.3.33-36>

Ю. І. ВОЙТЕНКО, д-р техн. наук, головний науковий співробітник (Український державний геологорозвідувальний інститут), voytenkou@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3077-2207>

Yu. VOITENKO, Dr. Sci. (Engin.), Chief Researcher (Ukrainian State Geological Research Institute), voytenkou@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3077-2207>

СИНЕРГЕТИЧНА ПРИРОДА ПОВЕДІНКИ НАФТОГАЗОВОГО ПЛАСТА ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОЗКРИТТЯ Й ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИПЛИВУ

SYNERGETIC NATURE OF OIL AND GAS RESERVOIR BEHAVIOR AND ITS INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF OPENING AND INCREASE WELL PRODUCTIVITY

У статті розглянуто поведінку відкритої термодинамічної системи “свердловина – пласт”. Порівнюється внутрішня енергія пласта з енергією зовнішньої вибухової дії зі свердловини. На конкретних прикладах показано, що поведінка такої системи підпорядкована законам синергетики й унаслідок слабкої дії на пласт зі свердловини спостерігаються великі нелінійні ефекти зростання продуктивності завдяки внутрішній енергії пласта. Ця енергія генерується внаслідок сумарної дії пластового й гірського тисків.

Ключові слова: синергетика, система “свердловина – пласт”, внутрішня енергія пласта, енергія зовнішнього впливу.

The article continues the author’s series of works on the application of synergetic theory to understand and describe the processes and phenomena that accompany the search and development of mineral resources. The research results show that the synergetic theory is universal and allows to understand and describe a wide range of phenomena and processes that occur in geological exploration and mining: dynamic phenomena in mines (outbursts of rocks and coal), spontaneous combustion of coal in coal mines, emergency outbursts of oil and gas from exploration wells, destruction of high-pressure pipelines, geodynamic phenomena in quaternary deposits, sedimentary rocks, and in the geological structures of the crystalline basement. One of the signs of processes and phenomena that have a synergistic nature is the nonlinear nature of the system’s response to weak perturbations. Minor disturbances slightly change the structure of geological material, in some cases change the mechanical and physical properties of formation fluids. This creates the conditions for disturbing the unstable equilibrium of the system at the bifurcation points and its transition to another equilibrium state with other thermodynamic parameters that characterize the new state of the system. Such transitions are characterized by kinetic and phase transitions. In particular, in the reservoir rock, in coal, micro- and macrocrack systems are formed and developed. The shape of dissipative structures is described using fractal theory. The duration of self-organization of dissipative structures and the transition of the system to a new equilibrium state depends on the type of dissipative structures, the properties of the environment in which they are formed, and the speed of physicochemical processes.

The article considers the behavior of the system “well – rock formation” as an open thermodynamic system. The internal energy of the formation is compared with the energy of external explosive action from the well. Specific examples show that the behavior of such a system is subject to the laws of synergetics and as a result of weak action on the formation from the well there are significant nonlinear effects of productivity growth due to the internal energy of the formation. This energy is generated by reservoir and rock pressures.

Keywords: synergetics, system “well – formation”, internal energy of the formation, energy of external influence.

Вступ. Синергетична природа поведінки живих і неживих термодинамічних систем на сьогодні вважається універсальною і їй підпорядковані всі явища й процеси, які супроводжують розробку корисних копалин та експлуатацію технічних об’єктів і споруд. Прикладами можуть слугувати катастрофічні руйнування магістральних трубопроводів, аварійні викиди нафти й газу, гірські удари та інші газодинамічні явища під час підземної розробки корисних копалин, раптові геодинамічні явища (зсуви, просідання, землетруси) та руйнування будівельних споруд і великих технічних конструкцій. Усі ці явища мають синергетичну природу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Докладний аналіз причин цих явищ, перелік яких далеко не повний, їхній зв’язок з розмірами структурних елементів у середовищі (блоки, зерна, мікро- і макротріщини), дисперсією міцності й характером руйнування матеріалів: крихкий, в’язко-крихкий або в’язкий, викладено у фундаментальних працях [8, 15] і частково публікаціях [2, 4, 5].

З позиції сучасної фізики твердого тіла та термодинаміки нафтогазовий пласт, розкритий свердловиною, є відкритою термодинамічною системою, що перебуває в незрівнова-

женому стані. Згідно із сучасним підходом до аналізу таких систем, їхня поведінка, сценарій розвитку фізичних і хімічних процесів у них визначається принципом мінімуму виробництва ентропії. Водночас перехід з одного термодинамічного стану в інший залежить від внутрішньої енергії пласта w і значень відповідних параметрів: q – величина геостатичного тиску, θ – об’ємної деформації породи-колектора, $T_{пл}$, $p_{пл}$ – пластової температури й тиску. Внутрішню енергію пласта обчислюємо за формулою

$$w \approx \lambda_0 + Q,$$

де λ_0 – питома енергія пружного чи непружного деформування породи-колектора під впливом літостатичних і тектонічних напружень, Q – енергія ізотермічного стиснення нагрітого газу. Перехід з одного термодинамічного стану в інший зі стрибкуватою зміною ентропії з формуванням дисипативних структур у породи-колекторі відбувається в точках нестійкої рівноваги системи – точках біфуркації [2, 8], або самоорганізованої критичності [15] внаслідок колективної синергетичної дії кількох чинників. Для системи “свердловина – пласт” такими чинниками є:

– зовнішня дія та підведення енергії в пласт зі свердловини, а в деяких технологіях – із денної поверхні, або виділення безпосередньо в пласті;

– гірський тиск і різновид напружено-деформованого стану породи-колектора, які визначають частку внутрішньої енергії пласта і стан породи навколо свердловини;

– пластовий тиск і температура, які визначають іншу частку внутрішньої енергії пласта;

– хімічна взаємодія пластових та інтенсифікаційних рідин з породою-колектором (для оцінки величини w в цим складником у подальшому нехтуємо).

Вказаний перехід системи “свердловина – пласт” за всіх різновидів впливу на пласт у разі горіння й вибуху, або іншої малоенергетичної дії, у новий стан супроводжується кінетичними фазовими переходами й масштабними ефектами, зокрема:

– спонтанним утворенням мікро- й макротріщин у породі-колекторі під впливом механічних напружень;

– поступовим розвитком зон мікротріщин і макротріщин під дією гірського тиску й пластового флюїду [2];

– руйнуванням або переходом у рідкий чи газоподібний агрегатний стан відкладів у породі-колекторі;

– викидом часток пластової породи, відкладів і пластового флюїду у свердловину під час освоєння або спорудження свердловини.

Відклади в поровому просторі утворюються у вигляді твердої фази внаслідок буріння, або капітального ремонту свердловин, глинистих часток, асфальтено-смолисто-парафінових відкладів (АСПВ) тощо.

Більшість авторів технологій інтенсифікації нафти й газу пов’язують ефективність дії на пласт у свердловині зі зміною структури породи-колектора, АСПВ і властивостей пластових флюїдів [3, 10, 12, 17]. Проте таке пояснення не вказує на причини великих ефектів, які спостережено в багатьох свердловинах, за слабких дій на пласт. Наприклад, у разі оброблення малогабаритними генераторами тиску й торпедами, електророзрядними, акустичними пристроями тощо [3, 10, 12, 17]. У разі застосування цих та інших методів інтенсифікації припливу, зокрема й повторної перфорації, на глибинах $\geq (3...3,5)$ км великі флюїдопровідні тріщини не утворюються. У крихких породах низької й середньої поруватості в разі вибуху й горіння утворюються мікротріщини на відстанях до $\sim 10\text{--}30$ радіусів свердловини (r_c) у разі вибуху або короткі макротріщини в разі швидкого горіння твердих ракетних палив і високоенергетичних матеріалів. Низькоенергетичні електроімпульсні, хвильові та вібраційні методи характеризуються ще меншим радіусом зони, у якій змінюється структура породи.

Пояснити великі нелінійні ефекти зміни продуктивності можна з позицій синергетичної теорії щодо поведінки відкритої термодинамічної системи “свердловина – пласт”. По-перше, більшість малопотужних фізичних і фізико-хімічних методів створюють навколо свердловини системи мікротріщин і формують нову структуру породи. По-друге, в процесі освоєння зі збільшенням депресії на пласт навколо свердловини створюється нерівномірний напружено-деформований стан, який сприяє розвитку мікро- і макротріщинуватості [2, 16]. По-третє, деякі різновиди насичувальних рідин, розчинів ПАР і певних газів, зокрема водню, сприяють виникненню й розвитку найменших тріщин на мезо- та макрорівні з наступним поступовим диспергуванням породи. По-четверте, спонтанне руйнування породи в привибійній зоні та створення гідродинамічного зв’язку свердловини з породою часто забезпечується додатковим впливом пластового флюїду. Цей чинник сприяє формуванню флюїдопровідних каналів, навіть після перфорації [6]. Вказаний перехід відбувається в точках біфуркації (нестійкої рівноваги) під впливом порівняно незначного збудження імпульсу й енергії.

Мета роботи – оцінка співвідношення закачаної в пласт енергії з внутрішньою енергією пласта й аналіз результатів дослідно-промислових робіт.

Методи та матеріали досліджень. Для досліджень використано теоретичні методи механіки деформованого твердого тіла й газової динаміки та аналіз результатів дослідно-промислових робіт з інтенсифікації припливу нафти й газу. Оцінимо внутрішню енергію пласта для моделі пружного деформування й порівняємо її з енергією свердловинної дії типових пристроїв: малогабаритних торпед або генераторів тиску [1]. Питому енергію пружного деформування породи-колектора можна оцінити за формулою

$$\lambda_0 = \frac{1}{2} \frac{p^2}{K}, \quad (1)$$

де p – величини літостатичного тиску на глибині залягання пласта H ; K – модуль об’ємного стиснення.

Формула (1) є точною для випадку лінійного (пружного) деформування порід і гідростатичного напружено-деформованого стану $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = -p$; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – головні компоненти тензора напружень.

У разі $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$ і ненапруженого деформування величина λ_0 визначається площею під кривою об’ємного деформування $p(\theta)$ і зазвичай перевищує величину $p^2/2K$.

Другий складник енергії пласта можна визначити як енергію ізотермічного стиснення газу до величини пластового тиску p_{II} [11]

$$Q = mRT_{na} \ln \frac{p_{PI}}{p_{PII}},$$

де m – маса газу; R – універсальна газова стала; T_{na} – пластова температура; p_{PI}, p_{PII} – початковий атмосферний і кінцевий (пластовий) тиск газу.

Оскільки $p_{PI} < p_{PII}$, то $\ln p_{PI}/p_{PII} < 0$ і значення отриманої енергії $Q < 0$, робота стиснення газу, як і робота стиснення породи-колектора, від’ємна. Тому в розрахунках цей знак опускаємо. Розрахунки проведено для таких вихідних параметрів:

$H = 3000$ м; $K = 3,5 \cdot 10^{10}$ Па; $\rho = 2500$ кг/м³; $T_{na} = 373^\circ\text{K}$; $p_{PI} = p_{PII} = 3 \cdot 10^7$ Па; $R = 519$ Дж/(кг·К); $m = 0,657$ кг (маса газу в 1 м³, поруватість у розрахунках – 0,2).

Результати досліджень та їхній аналіз. П и т о м а енергія напруженого стиснення породи пласта в умовах гідростатичного навантаження (мінімальна) $\lambda = 0,077$ МДж/м³. Питома енергія ізотермічно стиснутого газу в поровому просторі породи-колектора з початковим об’ємом 1 м³ становить $W = 0,725$ МДж/м³.

Водночас газ зменшується в об’ємі в 300 разів згідно із законом $V = 1/p$ [13], тобто радіус вільного газу в поровому просторі зменшується в $\sqrt{300} = 17,3$ разів і становить (0,1...0,2) м.

Ці оціночні розрахунки засвідчують, що енергію пласта в цих термобаричних умовах у радіусі 1–2 м можна оцінити величинами $\sim 6...8$ МДж/м. Це приблизно дорівнює питомій (на м довжини) енергії в разі вибухового оброблення пласта (6–20 МДж/м) малогабаритними торпедами або пороховими генераторами тиску (ПГД-Г-42Т) [1]. Це, власне кажучи, і підтверджує те, що внутрішня енергія пласта навіть у ближній зоні оброблення співвимірна або зазвичай перевищує енергію зовнішньої дії на пласт зі свердловини чи денної поверхні. Зазначимо, що зі збільшенням глибини залягання й величини пластового тиску внутрішня енергія пласта збільшується й перевищуватиме енергію інтенсифікаційної дії.

Отже, поведінка продуктивного пласта в процесах первинного розкриття, експлуатації та інтенсифікації припливів нафти й

газу має синергетичну природу та характеризується колективною взаємопідсилювальною дією зовнішнього впливу (спуск-підняття бурового інструмента або інтенсифікаційних операцій), гірського й пластового (порового) тиску, фізико-хімічною дією рідин на міцність і структуру породи-колектора. Унаслідок навколо свердловини утворюються дисипативні структури у вигляді скупчень (груп) мікро- і макротріщин, які забезпечують гідродинамічний зв'язок свердловини з пластом навіть у разі неповного очищення порового простору від різних відкладів.

Описана фізична природа поведінки нафтогазового пласта є загальною у разі слабких малоенергетичних методів інтенсифікації припливу, за винятком потужних високоенергетичних методів, які утворюють флюїдопровідні канали у вигляді глибоких тріщин: гідророзриву пласта та його імпульсних аналогів.

Для ілюстрації наведемо деякі результати робіт з інтенсифікації припливу нафти й газу, отримані з участю автора та авторів інших праць [17] (таблиця).

Синергетичний ефект підсилюється в разі комплексної фізико-хімічної дії на пласт, що підтверджують дані таблиці (сверд. № 24, Матвіївська та № 79 Котелевська). На користь цього свідчить також поступове в часі наростання продуктивності оброблених свердловин (рисунок). Аналогічні дані є в літературі за результатами застосування малогабаритного порохового генератора останнього покоління ПГД-Г-42Т у РФ і В'єтнамі [7].

Переважає більшість успішних розкриттів пластів на великих глибинах пов'язана із синергетичною природою поведінки системи "свердловина – пласт". Як уже неодноразово зазначено раніше [6], глибина перфорації на глибинах > 4000–6000 м не перевищує кількох см у разі малогабаритних перфораторів і зменшується у 2–3 рази, порівнюючи з результатами сертифікаційних випробувань по бетону, не перевищуючи ~400–500 мм навіть у разі новітніх зарядів глибокого проникнення типу DP3. Однак у десятках свердловин було отримано промислово-дебітні газу й конденсату, зокрема й у надглибокій свердловині № 17 Семиреньківського родовища (H=6750 м) [14, 18]. Основна причина – утворення нових і розкриття природних тріщин газом або нафтою в процесі закінчення буріння й освоєння свердловини. Починаючи з глибин ~3...3,5 км, в умовах глибокої, особливо повної депресії на пласт можливе мимовільне руйнування пісковика середньої й високої міцності навколо відкритого стовбура навіть без перфорації. Таке ж явище можливе навколо кінчика перфораційного отвору. Синергетична природа поведінки підземного пласта, розкритого

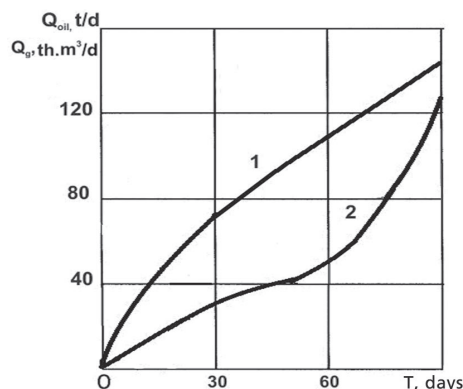


Рисунок. Динаміка продуктивності свердловини № 104 Анастасівська після оброблення; 1 – продуктивність по нафті; 2 – продуктивність по газу

свердловинами й підготовленого до вибуговування вибухами свердловинних зарядів, або гідророзривом, забезпечує інтенсифікацію масообмінних процесів у системах геотехнологічного видобутку корисних копалин.

Синергетична концепція в галузі геології нафти й газу є продуктивною також стосовно формування покладів природних вуглеводнів і періодичного підживлення старих покладів. Водночас фізичні й фізико-хімічні процеси в геологічному матеріалі можуть бути подібними до описаних вище, але проявляються вони в більших просторових масштабах і протікають в іншій часовій шкалі – у шкалі геологічного часу [9, 13].

На завершення потрібно підкреслити визначальну роль геологічних служб НГДУ "Охтирканафтогаз" (М. О. Щелінський), "Чернігівнафтогаз" (В. В. Гушул, П. І. Шпак) та інших НГДУ ВАТ "Укрнафта", ГПУ "Полтавагазвидобування" (А. Й. Куль) у виборі свердловин наприкінці 1990-х – початку 2000-х, завдяки якому вдалося спостерігати великі нелінійні ефекти збільшення їхньої продуктивності від дії зарядів малої потужності та інших малоенергетичних методів інтенсифікації припливу. Окрім того, успішне впровадження нових технологій забезпечено завдяки високому професіоналізму технічних керівників підрозділів ДГП "Укргеофізика" (М. М. Литвиненко, О. М. Пироженко, В. І. Тихоненко).

Висновок. Поведінка системи "свердловина – пласт" має синергетичну природу на стадії первинного розкриття й початковій стадії розробки родовища із середніми (15–25 МПа) та високими (30–50 МПа) пластовими тисками. Це засвідчує порівняння енергії зовнішньої дії та внутрішньої енергії пласта. У разі

Таблиця. Результати випробувань технологій підвищення дебіту свердловин з використанням малогабаритних торпед

Надрокористувач	№ свердловини	Родовище	Інтервал, м	Тип свердловини	Маса вибухівки в торпеді, кг	Дебіт до торпедування м³/добу//т/добу	Дебіт після торпедування, м³/добу//т/добу
ВАТ "Укрнафта"	42	Талалаївське 06.1997	3579–3596	газова	5,3	100/0	26000/7
"-"	104	Анастасівське 12.1999	4484–4491	нафтогазова	7,5–9,3	0,0/0,3	120000/75...130
ПАТ "Укргазвидобування"	109	Абазівське [8]	4611–4616	газова	6,0–6,4	1000	30000
"-"	24	Матвіївське* [8]	3445–3450	"-"	"-"	0,0/0,1	15000/15
"-"	79	Котелевське* [8]	4614–4618 4602–4606	"-"	"-"	0,1	17000/6,8
"-"	58	Яблунівське [8]	4942–4951	"-"	"-"	4500	50000
"-"	60	Скоробагатське [8]	3660–3667	"-"	"-"	0,0	20000

* Торпедування в хімічно активній рідині.

зовнішнього слабкого, порівнюючи з внутрішньою енергією пласта, фізичного або фізико-хімічного впливу на крихкі й квазікрихкі породи-колектори в околі свердловини відбуваються фазові переходи у відкладах, що заповнюють поровий простір. Утворюються дисипативні структури у вигляді дрібних тріщин на мікро- і мезорівні, які в подальшому під дією гірського тиску й тиску відповідних насичувальних рідини або газу формують флюїдопровідні канали для припливу пластових флюїдів до свердловини. У такий спосіб вони збільшують проникність порід і підвищують продуктивність свердловини.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Войтенко Ю. І.* Ефективність потужних методів інтенсифікації нафтогазовидобутку і перспективи їх використання для нетрадиційних ресурсів//Нафтогазова галузь України. – 2013. – № 5. – С. 42–45.
2. *Войтенко Ю. І.* Синергетика геологічних середовищ та її вплив на ефективність розробки та пошуку родовищ корисних копалин//Мінеральні ресурси України. – 2019. – № 3. – С. 15–21.
3. *Войтенко Ю. І.* Фізико-технічні основи свердловинних геотехнологій з керуванням тріщиноутворенням: дис. доктора техн. наук: 05.15.11: захищена 24.02.01: затв. 14.11.01/Войтенко Юрій Іванович. – К.: 2001. – 377 с.
4. *Войтенко Ю. І., Ковтун А. В.* О предвыбросовом состоянии пород и возможном механизме горных ударов и внезапных выбросов//Мінеральні ресурси України. – 2018. – № 2. – С. 32–35.
5. *Войтенко Ю. І., Ковтун О. В.* Про в'язке та крихке руйнування гірських порід при удари та вибуху//Вісник НТУУ "КПІ": Серія гірництво. – 2017. – № 34. – С. 9–17.
6. *Войтенко Ю. І., Прожогіна О. І., Лобанова І. В.* Ефективність сучасних перфораційних систем і зарядів при закінченні свердловин//Мінеральні ресурси України. – 2013. – № 2. – С. 38–41.
7. *Дудаев С. А., Павлов В. І.* Газодинамический метод влияния на прискважинную зону пластов с целью повышения их нефтеотдачи//Каротажник. – 2010. – № 1. – С. 15–45.
8. *Иванова В. С., Баланкин А. С., Бунин И. Ж., Оксогоев А. А.* Синергетика и фракталы в материальном ведении. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
9. *Коваль А. М., Чепіль П. М., Ковалко О. М.* та ін. Стосовно поповнення вуглеводневих покладів//Матеріали конференції VI Міжнародний геологічний форум "Актуальні проблеми та перспективи розвитку геології: наука і виробництво" (Геофорум–2019). – Київ: УкрДГРІ, 2019. – С. 105–109.
10. *Кравченко О. В., Велигоцький Д. А., Авраменко А. Н., Хабібуллін Р. А.* Совершенствование технологии комплексного воздействия на продуктивные пласты нефтяных и газовых скважин//Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 6/5 (72). – С. 4–9.
11. *Кулинг Х.* Справочник по физике. – М.: Мир, 1985. – 519 с.
12. *Кучернюк А. В., Печерський І. С., Бубнов І. В., Полатайко С. Б.* Технології ударно-хвильової та депресійно-репресійної хіміко-гідродинамічної дії на ПЗП//Нафтогазова галузь України. – 2015. – № 4. – С. 31–35.
13. *Лукин А. Е.* О происхождении нефти и газа (геосинергетическая концепция природных углеводородно-генерирующих систем)//Геологический журнал. – 1999. – № 1. – С. 30–42.
14. *Лукин А. Е., Шукин Н. В., Лукина О. И., Пригарина Т. М.* Нефтегазоносные коллекторы глубоководных нижнекаменноугольных комплексов центральной части Днепровско-Донецкой впадины//Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33. – № 1. – С. 3–27.
15. *Микуляк С. В.* Закономірності динаміки структурованих середовищ: теорія, модель, експеримент: автореферат дис. доктора фіз.-мат. наук: 04.00.22: захищена 09.07.19/Микуляк Сергій Васильович. – К., 2019. – 37 с.
16. *Михалюк А. В., Войтенко Ю. І.* Дилатансионный механизм генезиса трещиноватости породных массивов//Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2011. – № 4. – С. 50–66.
17. *Нагорний В. П., Денисюк І. І.* Технології інтенсифікації видобутку вуглеводнів/за редакцією В. П. Нагорного; НАН України, Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна. – Київ, 2013. – С. 268.
18. *Шуров І. В., Гафич І. П., Дорошенко О. С.* Ефективне використання ресурсного потенціалу діючих об'єктів – один із напрямів нарощування видобутку газу та зміцнення енергонезалежності України//Нафтогазова галузь України. – 2018. – № 2. – С. 5–11.

REFERENCES

1. *Voitenko Yu. I.* The effectiveness of strong methods of stimulation of oil and gas production and the prospects of their use for unconventional reservoirs//Naftohazova haluz Ukrainy. – 2013. – № 5. – P. 42–45. (In Ukrainian).
2. *Voitenko Yu. I.* Synergetics of geological mediums and its impact on the effectiveness of the exploitation and exploration for mineral deposits//Mineralni resursy Ukrainy. – 2019. – № 3. – P. 15–21. (In Ukrainian).
3. *Voitenko Yu. I.* Physical and technical bases of borehole geotechnologies with controlled fracturing: Dissertation for the degree Doctors of Engineering: 05.15.11, Kyiv, Ukraine, 2001. – 377 p. (In Ukrainian).
4. *Voitenko Yu. I., Kovtun O. V.* About the pre-outburst of the coal and sandstone and the possible mechanism of coal and gas outburst process//Mineralni resursy Ukrainy. – 2018. – № 2. – P. 32–35. (In Russian).
5. *Voitenko Yu. I., Kovtun O. V.* On fracturing of brittle and ductile rocks by impact and explosion//Visnyk NTUU KPI, Ser. hirnyctvo. – 2017. – № 34. – P. 9–17. (In Ukrainian).
6. *Voitenko Yu. I., Prozhohina O. I., Lobanova I. V.* The effectiveness of perforating systems and perforations charges during the completion of wells//Mineralni resursy Ukrainy. – 2013. – № 2. – P. 38–41. (In Ukrainian).
7. *Dudaev S. A., Pavlov V. I.* Gas-dynamic method of influencing the near-wellbore zone of formations in order to increase their oil recovery//Karotazhnik. – 2010. – № 1. – P. 15–45. (In Russian).
8. *Ivanova V. S., Balankin A. S., Bunin I. Zh., Oksogoev A. A.* Synergetics and fractals in material science. – Moskva: Nauka, 1994. – 383 p. (In Russian).
9. *Koval A. M., Chepil P. M., Kovalko O. M.* et al. Regarding the recovery of hydrocarbon deposits//Materialny konferentsii VI Mizhnarodnyi heolohichnyi forum "Aktualni problemy ta perspektivy rozvytku heolohii: nauka i vyrobnytstvo" (Heoforum–2019). – Kyiv: UkrDHRI, 2019. – P. 105–109. (In Ukrainian).
10. *Kravchenko O. V., Veligockij D. A., Avramenko A. N., Habibullin R. A.* Improving the technology of complex impact on productive formations of oil and gas wells//Vostochno-evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2014. – № 6/5(72). – P. 4–9. (In Russian).
11. *Kuhling H.* Physics handbook. – Moskva: Mir, 1985. – 519 p. (In Russian).
12. *Kucherniuk V., Pecherskyi I., Bubnov I., Polataiko S.* Technologies of shock-wave and depression-repression chemicalhydrodynamic impact on bottom-hole formation zone//Naftohazova haluz Ukrainy. – 2015. – № 4. – P. 31–35. (In Ukrainian).
13. *Lukin A. E.* On the origin of oil and gas (geosinergetic conception of nature hydrocarbon-generating systems)//Geologicheskij zhurnal. – 1999. – № 1. – P. 30–42. (In Russian).
14. *Lukin A. E., Shhukin N. V., Lukina O. I., Prigarina T. M.* Oil-and-gas collectors of deep-seated Low Carboniferous complexes of the central part of the Dnieper-Donets Depression//Geofizicheskij zhurnal. – 2011. – Vol. 33. – № 1. – P. 3–27. (In Russian).
15. *Mykuliak S. V.* Patterns of dynamics of structured environments: theory, model, experiment: abstract dis. doctor of physical and mathematical sciences Science. – Kyiv, 2019. – 37 p. (In Ukrainian).
16. *Mihaljuk A. V., Voitenko Yu. I.* Dilatational mechanism of the genesis of fissures in rocks//Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI. – 2011. – № 4. – P. 50–66. (In Russian).
17. *Nahornyi V. P., Denysiuk I. I.* Technologies for the intensification of hydrocarbon production/edited by V. P. Nahornyi; NAS of Ukraine, S. I. Subbotin Institute of Geophysics. – Kyiv, 2013. – P. 268. (In Ukrainian).
18. *Shchurov I. B., Hafych I. P., Doroshenko O. S.* Efficient use of resource potential of existing facilities as one of directions to increase natural gas production and strengthen//Naftohazova haluz Ukrainy. – 2018. – № 2. – P. 5–11. (In Ukrainian).

Рукопис отримано 15.07.2020.