

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГЕОТЕРМІЧНИХ ПЛАСТОВИХ ПОКЛАДІВ

Ю.П. Морозов, д-р техн. наук, **А.А. Барило**, науковий співробітник

Інститут відновлюваної енергетики НАН України,
02094, вул. Гната Хоткевича 20А, м. Київ, Україна.

Проведено аналіз геотермальних ресурсів на території України, які утворюють чотири великі артезіанські басейни, де можливо здійснити видобування геотермальних вод для їх використання в енергетиці, сільському господарстві, промисловості і житлово-комунальному господарстві. На основі аналізу фактичних даних існуючого фонду свердловин встановлено, що водоносні горизонти розташовані на глибинах від 400 до 7000 м. Пластові температури продуктивних термоводоносних горизонтів на території України змінюються у діапазоні від 50 до 90 °С. Для більшості пластових водоносних горизонтів України, які містять термальні води, з певним ступенем вірогідності можна прийняти таку фільтраційну схему: продуктивний проникний пласт є нескінченним за простяганням, однорідний, анізотропний з усередненими фільтраційними і теплофізичними параметрами, напірний і ізольований зверху і знизу водонепроникними пластами. Для розрахунків теплового потенціалу в межах геотермального родовища, що експлуатується в режимі відсутності зворотного закачування відпрацьованого природного теплоносія, достатньо вирішити тільки гідродинамічну задачу фільтрації теплоносія, оскільки притоки теплоти або холоду в пласті відсутні.

Найбільш екологічно безпечним способом видобування геотермальних ресурсів є геотермальні циркуляційні системи (ГЦС), що забезпечують закачування відпрацьованого геотермального теплоносія в проникний підземний колектор термальної води. Тепловий потенціал гідрогеотермальних родовищ розраховується об'ємним способом, який складається з теплоти, яка міститься в пластовій геотермальній воді, у твердому скелеті продуктивного горизонту, а також теплоти, яка поступає з оточуючого проникний пласт гірського масиву. Величина теплопритоку з гірського масиву становить найбільші труднощі під час врахування теплового потенціалу геотермального родовища. На підставі відомого аналітичного розв'язку задачі теплообміну при русі рідини в підземних проникних шарах отримано рівняння, яке визначає час роботи ГЦС в постійному температурному режимі. На підставі цього рівняння показано, що вплив гірського масиву на час роботи ГЦС до моменту зниження температури на виході з ГЦС становить для типових параметрів ГЦС не менше 5 %. На підставі цих розрахунків доведено, що впливом теплопритоків від гірського масиву при розрахунках теплового потенціалу водовмісних пластів можна нехтувати. Бібл. 8.

Ключові слова: геотермальні ресурси, геотермальні родовища, спосіб видобутку, тепловий потенціал, гірський масив, проникний пласт, теплоприток від гірського масиву, математична модель, теплообмін.

SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF DETERMINATION OF THERMAL POTENTIAL OF GEOTHERMAL LAYER DEPOSITS

Yu. Morozov, doctor of technical sciences, **A. Barylo**, researcher

Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine,
02094, 20A Hnata Khotkevycha St., Kyiv, Ukraine.

The analysis of geothermal resources on the territory of Ukraine, which are contained in four large artesian basins, where it is possible to extract geothermal waters for their use in energy, agriculture, industry and housing and communal services. Based on the analysis of the actual data of the existing well fund, it is established that aquifers are located at depths from 400 m to 7000 m. The most common formation temperatures in Ukraine are from 50 to 90 °C. For most of the Ukrainian reservoir aquifers, which contain thermal waters, with a certain degree of probability, the following filtration scheme can be adopted: the productive horizon is infinite along the strike, homogeneous, anisotropic with averaged filtration and thermophysical parameters, pressure head and isolated from above and below by waterproof layers. To calculate the thermal potential within the geothermal field, operated in the absence of re-injection of the spent natural heat carrier, it is sufficient to solve only the hydrodynamic problem of the heat carrier filtration, since there are no inflows of heat or cold in the reservoir.

The most environmentally safe way to extract geothermal resources is geothermal circulation systems (GCS), which ensure the injection of spent geothermal coolant into the permeable underground thermal water collector. The thermal potential of hydrogeothermal deposits is calculated in a volumetric way, which consists of the heat contained in the reservoir geothermal water,

in the solid skeleton of the productive horizon, as well as the heat coming from the surrounding permeable layer of the mountain massif. The magnitude of heat inflow from the mountain massif is the greatest difficulty in taking into account the thermal potential of the geothermal field. Based on the known analytical solution of the problem of heat transfer during the movement of liquid in the underground permeable layers, an equation is obtained that determines the operating time of the GCS at a constant temperature. Based on this equation, it is shown that the influence of the rock mass on the time of operation of the GCS until the temperature at the outlet of the GCS is for typical parameters of the GCS is not less than 5%. Based on these calculations, it is proved that the influence of heat inflows from the rock mass in the calculations of the thermal potential of water-bearing strata can be neglected. Ref. 8.

Keywords: geothermal resources, geothermal deposits, method of extraction, thermal potential, mountain massif, permeable layer, heat inflow from mountain massif, mathematical model, heat exchange.



Ю.П. Морозов
Yu. Morozov

Відомості про автора: зав. відділом геотермальної енергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник

Освіта: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Наукова сфера: відновлювана енергетика, геотермальна енергетика, використання тепла довкілля

Публікації: більше 160

ORCID: 0000-0003-1632-9735

Контакти: тел./факс: +38(044)206-28-09

e-mail: geotherm@ukr.net

Author information: Head of the Department of Geothermal Energy of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, doctor of technical sciences, senior researcher

Education: National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Research area: renewable energy, geothermal energy, use of warm environment

Publications: more than 160

ORCID: 0000-0003-1632-9735

Contacts: phone/fax: +38(044)206-28-09

e-mail: geotherm@ukr.net



А.А. Барило
A. Barylo

Відомості про автора: науковий співробітник відділу геотермальної енергетики, Інститут відновлюваної енергетики НАН України

Освіта: Київський національний університет імені Тараса Шевченка за спеціальністю гідрогеологія та інженерна геологія (1990 р)

Наукова сфера: геотермальні джерела енергії

Публікації: більше 25, в тому числі 2 державних стандарти

ORCID: 0000-0001-7981-6464

Контакти: тел./факс: +38 (044) 206-28-09

e-mail: geotherm@ukr.net

Author information: Researcher at the geothermal energy department, Renewable Energy Institute of the NAS of Ukraine.

Education: Taras Shevchenko National University of Kyiv, hydrogeologist and engineering geologist (1990)

Research area: geothermal energy

Publications: more than 25 including 2 state standards

ORCID: 0000-0001-7981-6464

Контакти: phone/fax: +38(044)206-28-09

e-mail: geotherm@ukr.net

Геотермальні ресурси – це частина тепловмісту геотермальних джерел енергії, яку можна добути з надр Землі і використати при сучасному рівні розвитку техніки і технології.

На території України геотермальні ресурси розповсюджені в межах великих артезіанських басейнів платформного типу та артезіанських басейнів міжгірських западин і передгірних прогинів.

В областях водного живлення шари порід цих басейнів виходять на поверхню, звідки поступово, в напрямку середини басейну, занурюються до глибин 5 км і більше. В межах

Дніпровсько-Донецької западини глибина занурення водоносних горизонтів перевищує 12 км.

Представлені ці породи чергуванням осадових водопроникних та водонепроникних порід. Фільтруючись уздовж водопроникних шарів порід від областей живлення, поверхневі води поступово обігріваються за рахунок кондуктивного теплового потоку, що надходить з глибинних надр Землі, формуючи запаси термальних вод артезіанських басейнів. Найбільші показники глибинного теплового

потоків спостерігаються у Карпатському регіоні та Криму (від 60 до 130 мВт/м²) [1].

В Україні існують чотири великих артезіанських басейни, де можливо організувати видобування термальних вод в промислових масштабах. Це Закарпатський, Передкарпатський, Дніпровсько-Донецький та Причорноморський артезіанські басейни.

На основі аналізу фактичних даних існуючого фонду свердловин встановлено, що глибини залягання водоносних горизонтів змінюються від 430 м (Велика Бакта № 22-Т, Закарпатська область) до 7005 м (Шевченкове-1, Івано-Франківська область). Найбільш розповсюджені пластові температури, які зафіксовані у геотермальних свердловинах, змінюються від 50 до 90 °С. За величиною мінералізації термальні води можливо поділити на дві групи: перша – мінералізація не перевищує 50 г/л і друга – величини мінералізації коливаються від 100 до 200 г/л [2].

Система видобування геотермальних ресурсів – це комплекс природних пластів або штучних проникних зон та технічних і технологічних засобів, які забезпечують видобування геотермального теплоносія з надр на земну поверхню, його трансформацію і скидання або зворотне закачування охолодженого геотермального теплоносія [3]. За допомогою технологічних і технічних засобів забезпечується раціональний видобуток геотермальних ресурсів при оптимальній теплопродуктивності і заданих гідрогеологічних параметрах, а також термін експлуатації з дотриманням умов охорони навколишнього середовища і надр.

Підземна система видобутку геотермальної теплоти містить один або кілька проникних підземних шарів та прилеглого до них гірського масиву в межах гідродинамічного і теплового впливу нагнітальних і видобувних свердловин.

Способи видобутку геотермальних ресурсів з використанням термальних вод поділяються на фонтанний, з примусовим відкачуванням і зі зворотним закачуванням. Найбільш поширеними і екологічно безпечними є геотермальні

циркуляційні системи. ГЦС – це системи видобутку глибинної теплоти Землі з проникних підземних шарів шляхом примусового руху геотермального теплоносія по замкнутому контуру, який складається з однієї або декількох підйомних свердловин, проміжного теплообмінника і однієї або декількох нагнітальних свердловин, що забезпечують закачування відпрацьованого геотермального теплоносія в той самий проникний підземний колектор термальної води.

Для визначення теплового потенціалу геотермального родовища насамперед необхідно спростити реальні гідрогеологічні та геотермічні умови і подати їх у вигляді формалізованої схеми родовища. При цьому для більшості водоносних горизонтів України, які містять термальні води, з певним ступенем вірогідності можна прийняти такі припущення: продуктивний проникний пласт є нескінченним за простяганням, однорідним і анізотропним з усередненими фільтраційними і теплофізичними параметрами, напірним і ізолюваним зверху і знизу водонепроникними пластами.

Для умов експлуатації геотермального родовища без зворотного закачування відпрацьованого теплоносія в продуктивний горизонт природна система термальна вода–скелет водовмісної породи–навколишній масив перебувають у тепловій рівновазі, додаткових припливів тепла й холоду не відбувається. Це підтверджується досвідом експлуатації геотермальних свердловин в Криму і Закарпатті: в початковий період видобутку тривалістю від 0,5 до декількох діб спостерігається різке підвищення гирлової температури теплоносія, яке здійснюється за рахунок прогріву стовбура свердловини. Далі коливання температури не перевищують декількох градусів [4].

Таким чином, для оцінки теплового потенціалу геотермального родовища без зворотного закачування досить вирішити тільки гідродинамічну задачу, яка має вигляд [5]:

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = \frac{1}{a} \frac{\partial H}{\partial \tau}; \quad (1)$$

В залежності від особливостей родовища для розрахунку фільтрації підземних термальних вод в напірному ізольованому в розрізі і необмеженому в просторі пласті можуть бути використані наступні граничні умови:

$$\begin{aligned} 1\text{-го роду: } H_T &= f(\tau); H_T = \text{const}; \\ 2\text{-го роду: } q_T &= f(\tau); q_T = \text{const}; \\ 3\text{-го роду: } q_T &= f(H_{T1} - H_{T2}). \end{aligned} \quad (2)$$

Тепловий потенціал гідрогеотермального родовища розраховувався об'ємним способом, тобто визначалась кількість теплоти, яка міститься в обсязі геотермального родовища. При цьому тепловий потенціал складається з кількості теплоти, яка міститься у пластовій воді, з теплоти що міститься у скелеті продуктивного горизонту, а також теплоти, яка надходить з гірського масиву, що оточує продуктивний пласт. Остання складова в розрахунках не враховувалась. Відзначимо, що прийняте допущення занижує фактичний потенціал родовища і дає додатковий запас надійності та достовірності розрахунків.

Тепловий потенціал гідротермального родовища з використанням геоциркуляційних систем (ГЦС) визначався за формулою [6]:

$$\begin{aligned} Q &= k_\tau \cdot h \cdot S \cdot T_M - T_\theta \cdot \tau + \\ &+ S \cdot h \cdot C_n \cdot (1 - m) \cdot T_n - T_\theta + S \cdot h \cdot C_\theta \cdot m \cdot (T_n - T_\theta), \end{aligned} \quad (3)$$

де Q – тепловий потенціал родовища, Дж; k_τ – коефіцієнт нестационарного теплообміну; S – площа родовища, м²; T_M – температура гірського масиву, що оточує продуктивний пласт, °С; T_n – температура продуктивного пласта, °С; T_θ – температура природного теплоносія, °С; τ – термін експлуатації, год; h – сумарна товщина продуктивного пласта, м; m – пористість продуктивного пласта; C_n – об'ємна теплоємність продуктивного пласта; C_θ – об'ємна теплоємність природного теплоносія;

Вплив теплопритоків від покривальних і підстилних непроникних гірських порід можна оцінити на підставі розв'язку задачі теплообміну при русі теплоносія в підземному пласті, яка відома як схема Ловерье [7].

Особливістю формулювання цієї задачі полягає в тому, що в ній не враховується термічний опір проникного пористого пласта в процесі руху в ньому геотермального теплоносія, тобто вплив гірського масиву на теплообмін в пласті максимальний із можливих.

Формулювання задачі за схемою Ловерье така:

$$\frac{\partial T_M}{\partial \tau} = a_M \frac{\partial^2 T_M}{\partial z^2}; \quad (4)$$

$$C_{nl} \frac{\partial T_{nl}}{\partial \tau} = m C_\theta \omega \frac{\partial T_n}{\partial x} - \frac{2\lambda_M}{h} \frac{\partial T_M}{\partial z}; \quad z = h; \quad (5)$$

$$C_{nl} = C_\theta (1 - m) + C_\theta \cdot m; \quad (6)$$

Розв'язок цієї задачі такий:

$$\Theta = \text{erf} \frac{K_\omega \chi}{2\sqrt{F_0 - K_\omega \cdot K_c \cdot \chi}}. \quad (7)$$

$$\text{Де: } \Theta = \frac{T - T_{\theta n}}{T_n - T_{\theta n}}; \quad F_0 = \frac{a_M \cdot \tau}{h^2}; \quad (8)$$

$$K_\omega = \frac{\lambda_M}{h \omega C_M}; \quad \chi = \frac{\chi}{h}; \quad K_c = \frac{C_n}{C_M}; \quad (9)$$

де T_M – температура гірського масиву; T_{nl} – температура підземного проникного пласта; a_M – коефіцієнт температуропровідності масиву; C_n – теплоємність підземного проникного пласта; C_θ – теплоємність термальної води; m – пористість пласта; λ_M – коефіцієнт теплопровідності гірського масиву; h – половина товщини проникного пласта; χ – відстань між контуром нагнітання і видобування; ω – швидкість руху термальної води.

Враховуючи розв'язок задачі (7), безрозмірні вирази (8) та (9), а також ті обставини, що при постійному температурному режимі ГЦС $\Theta = 0,999 \Rightarrow \Phi = 4$ де Φ – інтеграл вірогідності Лапласа erf після алгебраїчних перетворень і враховуючи:

$$\omega = \frac{2G}{h \cdot b},$$

де b – ширина зони фільтрації, маємо:

$$\tau = \frac{\lambda_M \cdot C_M \cdot \chi^2 \cdot h^2 \cdot b^2}{256 \cdot G^2 \cdot C_\theta} + \frac{C_n}{m C_\theta} \frac{\chi h b m}{2G}, \quad (10)$$

де τ – час роботи ГЦС в постійному температурному режимі до початку зниження температури геотермального теплоносія.

Рівняння (10) складається з двох додатків, перший додаток характеризує тепловий вплив гірського масиву на теплообмін в проникному пласті, другий додаток – це відношення кількості теплоти в проникному пласті до кількості теплоти від відпрацьованого природного теплоносія, що закачується в пласт, помножений на час походження термальності води між контуром нагнітання та видобування.

Порівняння кількісних показників кожного з додатків рівняння (10) може характеризувати показники впливу гірського масиву на процес теплового впливу в загальному тепловому процесі вилучення теплоти за допомогою ГСЦ.

Як приклад розглянемо типову ГСЦ з такими показниками:

Відстань між контуром нагнітання і добування $\chi = 500$ м, $h = 30$ м, $v = 300$ м:

$$\lambda_m = 2 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м} \cdot \text{K}^0} = 7,2 \frac{\text{кДж}}{\text{год} \cdot \text{м} \cdot \text{K}^0};$$

$$C_m = 2500 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{K}^0}; \quad C_n = 2500 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{K}^0};$$

$$C_a = 4190 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{K}^0}; \quad G = 100 \frac{\text{м}^3}{\text{год}};$$

$$m = 0,1 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

Розрахунки за рівнянням (10) показують, що складова теплоприпливу від гірського масиву дорівнює менше 0,5 % від складової теплоти проникного підземного пласта. Тобто час дії ГЦС в постійному температурному режимі при врахуванні двох складових рівняння і з урахуванням тільки другої складової відрізняються менше ніж 5 %.

Таким чином, вважаємо доведеним фактом, що теплоприпливом від оточуючого проникний пласт гірського масиву можна нехтувати.

Відстань між нагнітальною і добувною свердловинами ГЦС, або між зоною нагнітання та видобування в разі використання галерей визначається за конкретних гідрогеологічних умов, заданої теплової потужності та часу роботи ГЦС у визначеному тепловому режимі. Методику

розрахунку відстані між свердловинами ГЦС викладено в [3].

У наведеному вище прикладі відстань між зоною нагнітання та видобування прийнято на підставі досвіду досліджень ГЦС в Криму та рекомендаціями інших джерел [3, 8].

Залежність (10) можна було використати для визначення часу роботи ГЦС у режимі зниженої температури, яка задається безрозмірною температурою θ , але сама математична модель значно спрощує теплові процеси при теплообміні проникного пласта з гірським масивом. Головне спрощення – це неврахування процесу теплопровідності в проникному пласті. Тому доцільно використовувати цю залежність тільки для оцінки часу роботи ГЦС до моменту зниженої температури геотермального теплоносія на виході з ГЦС.

Висновки:

1. Тепловий потенціал геотермальних родовищ пластового типу має складну структуру і може бути розрахований за укрупненими гідрогеологічними і геотермічними показниками.

2. Для більшості термоводонесних горизонтів пластового типу з певним ступенем вірогідності можна прийняти такі припущення: продуктивний проникний пласт є нескінченним за простяганням, однорідним і анізотропним з усередненими фільтраційними і теплофізичними параметрами, напірним і ізольованим зверху і знизу водонепроникними пластами.

3. За екологічними вимогами практично єдиним способом видобування гідрогеотермальних ресурсів є створення геотермальних циркуляційних систем (ГЦС).

4. На підставі відомого аналітичного розв'язку задачі теплообміну при русі геотермального теплоносія в підземних проникних пластах показано, що припливом теплоти від оточуючого пласта гірського масиву з достатньою щодо підземних розрахунків точністю можна нехтувати.

1. *Жарнікова Р.С.* Оцінка прогнозних ресурсів термальних вод Закарпатської області за 1998–2007 рр. Звіт Закарпатської геологорозвідувальної експедиції, фонди Геоінформ України. 2007. 192 с.
2. *Радько Н.И.* Підземні води Закарпатського внутрішнього прогину. Київ. Наукова думка. 1975. 185 с.
3. *Морозов Ю.П.* Добыча геотермальных ресурсов и аккумулярование теплоты в подземных горизонтах. монографія. Київ. Наукова думка. 2017. 197 с. ISBN 978-966-00-1553-1
4. *Жарнікова Р.С.* Результаты детальной разведки термальных вод Береговского месторождения для плавательного бассейна учебно-спортивной базы «Закарпатье» с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на 1.04.1989. Звіт Закарпатської геологорозвідувальної експедиції, фонди Геоінформ України. 1989. 95 с.
5. *Боचेвер Ф.М.* Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. Москва. Недра. 1968. 323 с.
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України. За заг. ред. С.О. Кудрі. Київ. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. 2020. 82 с. ISBN 978-966-999-034-1
7. *Lauwerier H.A.* The transport of heat in an oil layer caused by the injection of hot fluid. Applied Scientific Research. 1955. Sec. A. Vol. 5. № 2. Pp. 145–150.
8. Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2018. US Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2018. [Електронний ресурс]. URL: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf
2. *Radko N.Y.* Pidzemni vody Zakarpatskoho vnutrishnoho prohynu. [Groundwater of the Transcarpathian internal depression]. Kyiv. Naukova dumka. 1975. 185 p. [in Ukrainian].
3. *Morozov Yu.P.* Dobycha geotermalnykh resursov i akumulirovanie teploty v podzemnykh gorizontah: monografiya. [Production of geothermal resources and accumulation of heat in underground horizons: monograph]. Kiyiv. Naukova dumka. 2017. 197 p. ISBN 978-966-00-1553-1[in Russian].
4. *Zharnikova R.S.* Rezultaty detalnoj razvedki termalnykh vod Beregovskogo mestorozhdeniya dlya plavatel'nogo bassejna uchebno-sportivnoj bazy «Zakarpate» s podschetom jekspluatsionnykh zapasov po sostoyaniyu na 1.04.1989. [Results of detailed exploration of thermal waters of the Beregovsky field for the swimming pool of the educational and sports base "Zakarpate" with the calculation of operational reserves up to April 1, 1989.]. Zvit Zakarpatskoyi geologorozvidualnoyi ekspeditsiyi, fondy Geoinform Ukrayini. 1989. 95 p. [in Russian].
5. *Bochever F.M.* Teoriya i prakticheskie metody gidrogeologicheskikh raschetov jekspluatsionnykh zapasov podzemnykh vod. [Theory and practical methods of hydrogeological calculations of operational reserves of groundwater]. Moskva. Nedra. 1968. 323 p. [in Russian].
6. Atlas enerhetychnoho potentsialu vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi Ukrayiny. za zah. red.. [Atlas of energy potential of renewable energy sources of Ukraine. For general. ed. S. Kudri]. Kyiv. Instytut vidnovlyuvanoyi enerhetyky NAN Ukrayiny. 2020. 82 p. ISBN 978-966-999-034-1[in Ukrainian].
7. *Lauwerier H.A.* The transport of heat in an oil layer caused by the injection of hot fluid. Applied Scientific Research. 1955. Sec. A. Vol. 5. No. 2. Pp. 145–150. [in English].
8. Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2018. US Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 2018. [Electronic resource]. URL: https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf [in English].

REFERENCES

1. *Zharnikova R.S.* Otsinka prohoznykh resursiv termalnykh vod Zakarpatskoi oblasti za 1998-2007 rr.[Estimation of forecast resources of thermal waters of Carpathian region for 1998–2007]. Zvit Zakarpatskoi heolohorozvidualnoi ekspedytsii, fondy Heoinform Ukrainy. 2007. 192 p. [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 03.03.21
Остаточна версія 16.03.21