

© **В.М. Карпенко**

канд. техн. наук

В.М. Стасенко

канд. техн. наук

А.О. Михальчишин

Національна акціонерна

компанія «Нафтогаз України»

В.М. Бенько

канд. геол. наук

В.Л. Кушнарьов

ПАТ «УКРГАЗВИДОБУВАННЯ»

V.M. Karpenko

D(Ph)

V.M. Stasenko

D(Ph)

A.O. Mykhalchyshyn

National Joint-Stock Company

«Naftogaz of Ukraine»,

V.M. Benko

D(Ph)

V.L. Kushnariov

Ukrigasvydobuvannya

Public Company

Стан і перспективи використання
глибоких свердловин для
забезпечення споживачів
тепловою та електричною
енергією

Current condition and perspectives
of the usage of the deep wells
to supply consumers with thermal
and electrical energy

УДК 536.242

Розглянуто питання енергоефективного використання глибоких свердловин на нафту і газ, які пробурені, але не використовуються за своїм прямим призначенням. Наведені дослідження доводять промислову доцільність використання глибоких свердловин як природного теплового мікрохвильового генератора теплової енергії з екологічно чистою технологією постачання споживачам теплової енергії та перетворення її на електричну енергію на всій території України.

Ключові слова: глибока свердловина, геологічне середовище, тепла енергія, термоелектричні перетворювачі, споживачі, енергетична ефективність економіки.

Рассмотрены вопросы энергоэффективного использования глубоких скважин на нефть и газ, которые пробурены, но не используются по своему прямому назначению. Приведенные исследования доказывают промышленную целесообразность использования глубоких скважин как природного теплового микроволнового генератора тепловой энергии с экологически чистой технологией поставки потребителям тепловой энергии и преобразования ее в электрическую энергию на всей территории Украины.

Ключевые слова: глубокая скважина, геологическая среда, тепловая энергия, термоэлектрические преобразователи, потребители, энергетическая эффективность экономики.

The article examines issues of energy efficient use of deep oil and gas wells, which were drilled but are not used for their intended purpose. These studies prove the industrial feasibility of using deep wells as a natural thermal microwave generator of heat energy with green technology of supplying thermal energy to consumers and converting this energy into electrical energy throughout Ukraine.

Key words: deep well, geological environment, thermal energy, thermo-electric converters, consumers, energy efficiency of economy.

Більшість сучасних теплотворних енергогенеруючих технологій (СТЕТ) у світі, зокрема в Україні, дестабілізують екогеофізичну систему планети викидами у довкілля значної кількості тепла та шкідливих речовин, які затримують це тепло і створюють небезпеку для здоров'я та життя флори і фауни в одних регіонах і призводять до стихійних лих під час розподілу тепла на земній поверхні в інших. Крім екогеофізичних, СТЕТ створюють певні економічні та політичні проблеми під час розподілу

Most of the modern calorific energy generating technologies (MCEGT) in the world, particularly in Ukraine, are destabilizing ecogeophysical system of our planet through emissions of a great amount of the heat and harmful substances into the environment. Such substances lead to the greenhouse effect, endanger the health and the life of flora and fauna in some regions, causing natural disasters during the distribution of the heat on the earth's surface in other regions at the same time. MCEGT lead not only to the eco-

Основні параметри геотермального фактора /
Main parameters of the geothermal factor

Насоси/Pumps		Потужність/Power			Буровий розчин/Mud	
$Q_{\text{вх}}$ - продуктивність, л/с / $Q_{\text{вх}}$ - productivity, l/s	$P_{\text{н}}$ - тиск, атм / $P_{\text{н}}$ - pressure, atm	$N_1(Q)$ - гідравлічна, кВт / $N_1(Q)$ - hydraulic, kWt	$N_2(Q)$ - тепла б/р, кВт / $N_2(Q)$ - thermal of mud, kWt	$N_3(Q)^{1*}$ - тепла води, кВт / $N_3(Q)^1$ - thermal of water, kWt	C - теплоємність, Дж/кг·К / C - heat capacity, J/kg·K	T - температура на гирлі, °С / T - temperature at the wellhead, °С
10,1	38,2	38,7	968,1	1234,8	3285,3	29,0
14,1	94,4	132,9	1669,6	2129,5	3285,3	36,0
15,8	96,6	152,4	1986,9	2534,1	3285,3	38,3
19,7	137,1	270,2	2775,8	3540,3	3285,3	42,8
22,0	152,8	335,6	3418,6	4360,2	3285,3	47,3
25,0	153,8	384,5	4231,5	5397,0	3285,3	51,4

* Розрахований параметр / Calculated parameter

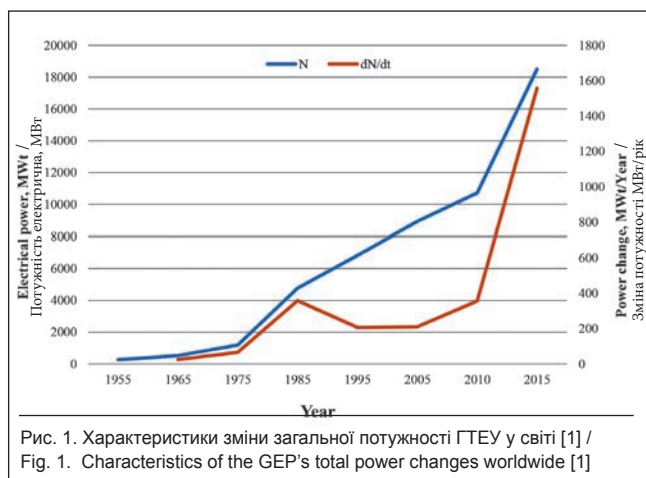


Рис. 1. Характеристики зміни загальної потужності ГТЕУ у світі [1] /
Fig. 1. Characteristics of the GEP's total power changes worldwide [1]

тепловорних енергетичних ресурсів (ТЕР) між країнами через їх нерівномірне розташування у земних надрах.

Вирішення проблеми знайдено у розвитку ідей енергоефективності, що придатні і прийнятні для кожної країни, оскільки базуються на рівномірному і достатньому для кожної країни розподілі ТЕР у вигляді геотермальних ресурсів (ГТР). Цей вид ресурсів є екологічно чистим і безпечним, не має викидів теплової енергії, має не обмежену часом кількість.

Поширення ідей енергетичної ефективності енергогенеруючої галузі для збереження сприятливих для розвитку життя умов екогеофізичної сфери і необмеженого розвитку суспільства шляхом заміни і стримування забруднюючих доквілля екобезпечних енергогенеруючих технологій та переходу на екологічно чисті і відновлювальні енергогенеруючі технології ставить ряд нових науково-технічних, економічних, юридичних завдань.

Одним із напрямів розвитку енергоефективності в сучасних екогеофізичних умовах – зменшення викидів тепла в екосфері стало використання повного тепла літосфери без викиду забруднюючих речовин на основі освоєння ГТР.

Сучасного рівня розвитку технологій освоєння ГТР досягли понад 70 країн світу, і кожна з них знаходить

Таблиця 1 / Table 1

geophysical problems, it also cause economical and political problems during distribution of the calorific energy resources (CER) between countries, because of unequal locations of ending stocks of these CER.

To solve this problem the ideas of energy efficiency should be developed, and these ideas would be accepted by each country, because of equal and sufficient for all of the countries distribution of CER as Geothermal resources (GR). This type of resources is

ecologically clean and safe, does not lead to emissions of the thermal energy, and is unlimited in time.

Widespreading the ideas of the energy efficiency of the power generating industry as means of the preservation of favorable for the life development conditions of eco-geophysical sphere and the unlimited evolution of the society through substitution and suppression of polluting and ecologically dangerous power generating technologies and the transition to the ecologically clean and self-renovating power generating technologies puts new technical-scientific, economical and legal objectives.

One of the ways to develop energy efficiency in modern eco-geophysical conditions (increase of the heat in the ecosphere) is the usage of lithosphere's heat, which does not lead to the heat and harmful substances emissions into the ecosphere, and this usage includes the exploration of Geothermal Resources.

Modern development level of the exploration technologies of Geothermal Resources is covering more than 70 countries worldwide and each of these countries tries to find it's own way to realize abovementioned technologies. As for the example, in 2014 Nepal realized the biggest geothermal station in the world, with the power of 120 MWt of electrical energy. Geothermal waters, lying approximately at 100 meters depth, are used as thermal source of this station. The station uses few dozens of wells.

In the German city Unterhaching, with it's population of 27 thousands of people, in 2013 the geothermal station with power of thermal energy of 38 MWt and electrical energy of 3,36 MWt was realized. This station was built on the basis of two wells that disclose the aquifer at the approximate depth of 3600 m. Station provides 70% of town's population needs in the thermal and the electrical energy.

On the fig. 1 below the dynamical characteristics of building the geothermal electrical plants (GEP) in the world are provided. Period from 1985 to 2010 is characterized as the period of the special equipment development and creation, and this equipment helps to convert the thermal energy into the electrical energy.

Previously, the geothermal waters, which like CER are situated locally, were considered to be the basis of GR.

Existing physical concept of calorific value of the dry geological environment (GE) is the concept of thermal conduc-



Таблиця 2 / Table 2

Задані та визначені параметри бурового розчину / Parameters of mud

Буровий розчин (б/р) / Mud					
Параметр / Parameter	Вода / Water	Нафта / Oil	Тверда фаза (BaSO ₄) / Oil	Сіль (NaCl) / Salt (NaCl)	б/р / Mud
Вміст, дол.од. / Content, fractions of units	0,7	0,01	0,21	0,03	1
Теплоємність, Дж/кг·К / Heat capacity, J/kg·K	4200	2100	1325,9	1530	3285,3
Густина, кг/м ³ / Density, kg/m ³	1000	998	4500	2300	1724
Барит / Barites					
Параметр / Parameter	Ва	О	S		
Густина, г/см ³ / Density, g/cm ³	3,50	1,14	2,07		
Мольний об'єм, см ³ /моль / Molar volume, cm ³ /mole	39,00	14,00	15,50		
Мольна теплоємність, Дж/моль·К / Molar heat capacity, J/mole·K	28,10	29,40	22,61		
Мольна маса, г/моль / Molar weight, g/mole	136,50	15,97	32,09		
Кількість молей, моль/кг / Mole's quantity, mole/kg	7,33	62,60	31,17		
Теплоємність, Дж/кг·К / Heat capacity, J/kg·K	205,86	1840,49	704,69		
Вага, кг / Weight, kg	0,59	0,14	0,27		

власні шляхи їх реалізації. Так, у 2014 р. у Непалі побудовано найбільшу у світі геотермальну станцію потужністю 120 МВт електричної енергії, яка використовує десятки свердловин для утилізації тепла геотермальних вод, що залягають на глибині близько 100 м.

У Німеччині, у м. Унтерхагінг із населенням у 27 тис. чол., у 2013 р. споруджено геотермальну станцію потужністю теплової енергії 38 МВт і електричної 3,36 МВт на основі двох глибоких свердловин, що розкрили водоносний горизонт на глибині близько 3600 м. Станція забезпечує 70 % власних потреб населення містечка в тепловій та електричній енергії.

На рис. 1 наведено динамічні характеристики спорудження геотермальних електричних установок (ГТЕУ) у світі. Період із 1985 по 2010 рр. був часом розроблення і створення спеціального обладнання для перетворення теплової енергії у електричну.

Раніше основою ГТР вважали геотермальні води, які, як і ТЕР, також мають локальне розташування.

Сучасне фізичне уявлення про теплотворність сухого геологічного середовища (ГС) базується на уявленні про процес теплопровідності в усталеному режимі, що моделюється рівнянням Фур'є. На основі цього рівняння розраховують щільність теплового потоку в ГС на рівні 50÷130 МВт/м². Так, у св. 120-Степова при температурному градієнті 0,025 °С/м і середній теплопровідності ГС на рівні 2,5 Вт/(м·°С) щільність теплового потоку дорівнює 0,0625 Вт/м², при загальній площі 3850 м² обсадних труб (ОТ) діаметром 245 мм до глибини 5040 м тепла потужність свердловини повинна становити всього 240 Вт. За час перебування розчину у

Таблиця 3 / Table 3

Параметри процесу обважнення б/р / Parameters of the mud weighting process

Дата / Date	Питома вага б/р, г/см ³ / Proportion of mud, g/cm ³	Середня температура б/р, °С / Average temperature of mud, °С
16.04.15	1,21÷1,25	40
17.04.15	1,31÷1,32	39
18.04.15	1,43÷1,46	37
19.04.15	1,55	41
20.04.15	1,63	39
21.04.15	1,64	39
22.04.15	1,69	38
23.04.15	1,71	36

тivity process in the stable regime, which is modeled by Fourier's heat equation. On the basis of this equation density of heat transfer in GE on the level 50÷130 mWt/m² is calculated. Thus, providing temperature gradient 0,025 °C/m and average thermal conductivity of GE on the level 2,5 Wt/(m·°C) the density of heat transfer is equal to 0,0625 Wt/m², which with the total area 3850 m² of casings (C) of the diameter 245 mm to depth of 5040m (w. Stepova №120 was put on flushing-out during 12 days), the thermal power of well should be only 240 Wt. While mud staying at annulue 6773 s with the pump performance of 25 l/s through the casing with the diameter 245 mm to mud the approximate thermal quantity of 1,6 MJ will be transferred, and this quantity may be distributed between mud, that comes out on surface from tube space and mud that comes out on bottom hole in the drilling pipes. While experimental data shows that at the well head, mud with density 1,71 g/cm³ and with thermal capacity 3293 J/(kg·°C) comes out with approximate temperature 51,4 °C and has internal power of 7,23 MJ, the mud, which comes out from the drilling pipes on the bottom hole with approximate temperature 95°C, and has internal power of 13,36 MJ. It means: 1) Mud in the quantity 42,75 kg/s with the input temperature lower than or about 51,4 °C to the well is heated additionally in drilling pipes from temperature 51,4 °C to 95°C with power, where 1570 s – is the time mud being in the drilling pipes with the diameter of 127 mm; 2) well does not release the approximate power of 6,13 MWt on the earth's surface, but 7,23 MWt is released and can be utilized, providing the existing construction of well; 3) Received energy parameters of geothermal factor (GF) allow to determine the average density of the heat transfer of dry GE on the level 2597 Wt/m² using the method[2]; 4) Physics of GTF consists of many processes, especially thermal conductivity, thermal interchange, heat transfer, thermal elasticity, hydrodynamics, the changes in the gravity potential, and that requires more experimental and scientific researches than those indicated in this article.

Another fact of physical features of the GF demonstrates that during conduction of the thermometry in the stationary condition of the mud, it has 14°C at well head and 125°C at the bottom hole. The absence of the convective thermal interchange in the well shows the thermo baric equilibrium of the mud's internal energy in the gravitational field at each depth of the well.

міжколонному просторі упродовж 6773 с при продуктивності насосів 25 л/с через обсадну колону діаметром 245 мм до бурового розчину (б/р) буде передано кількість тепла близько 1,6 МДж, яка повинна розподілитися між б/р, що виходить на поверхню з міжтрубного простору, і б/р, що виходить на вибір із бурильних труб (БТ). Експериментальні дані показують, що на гирлі б/р густиною 1,71 г/см³ із теплоємністю 3293 Дж/(кг·°C) виходить із температурою близько 51,4 °C і має внутрішню енергію 7,23 МДж, а б/р, що виходить з БТ на вибір при температурі близько 95 °C, має внутрішню енергію 13,36 МДж. Це означає: 1) б/р у кількості 42,75 кг/с при вхідній температурі менше або близько 51,4 °C у свердловину додатково нагрівається у бурильних трубах від температури 51,4 °C до 95 °C потужністю $N = \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{12,99 - 6,84}{1570} = 3904 \text{ Вт}$, де 1570 с – час перебування б/р у бурильних трубах діаметром 127 мм; 2) свердловина не випускає на земну поверхню теплову енергію потужністю близько 6,13 МВт, а 7,23 МВт випускає, яку можна повністю утилізувати за існуючої конструкції свердловини; 3) отримані енергетичні параметри геотермального фактора (ГТФ) дають можливість визначити середню щільність теплового потоку сухого ГС на рівні 2597 Вт/м² методом [2]; 4) фізика ГТФ складається з багатьох процесів, а саме: з теплопровідності, теплообміну, теплопереносу, термопружності, гідродинамічних, зміни гравітаційного потенціалу, що потребує більш ґрунтовних експериментальних і наукових досліджень, крім тих, що наведено у цій статті.

Інший факт щодо фізичних властивостей ГТФ свідчить про таке: проводячи термометрію у нерухомому стані б/р, можемо бачити, що останній має на гирлі +14 °C, а на вибір +125 °C. Відсутність конвекційного теплообміну у свердловині говорить про термобаричну рівновагу внутрішньої енергії б/р у гравітаційному полі на кожній глибині свердловини.

Із досвіду буріння та геофізичного дослідження свердловин на нафту і газ відомо про значну генерацію теплової енергії сухими гірськими породами в усталеному режимі процесів буріння і промивки, яка виходить із нагрітим б/р на земну поверхню, а також про особливу фізичну закономірність між тиском і температурою внутрішньої енергії б/р, що має усталений розподіл за глибиною свердловини і утворюється гравітаційним полем.

Завдання статті: по-перше, оцінити енергетичні параметри геотермального фактора під час буріння та промивання свердловин; по-друге, визначити стан та перспективи використання глибоких свердловин на нафту і газ, пробурених, але які не використовуються за своїм призначенням, для генерації теплової енергії; по-третє, визначити перспективи використання глибоких свердловин на території України.

Вирішення першого завдання базується на експериментальних дослідженнях температур б/р, що нагнітався і виходив на ряді свердловин, які перебували в режимі буріння або промивання.

Так, на св. 120-Степовий, що перебувала в режимі промивання 12 діб після кріплення 245 мм колоною до глибини 5040 м із використанням СГТД типу «Каштан», реєстрували змінні технологічні і визначали енергетичні параметри дії ГТФ на б/р; їх наведено у табл. 1–5 та показано на рис. 2.

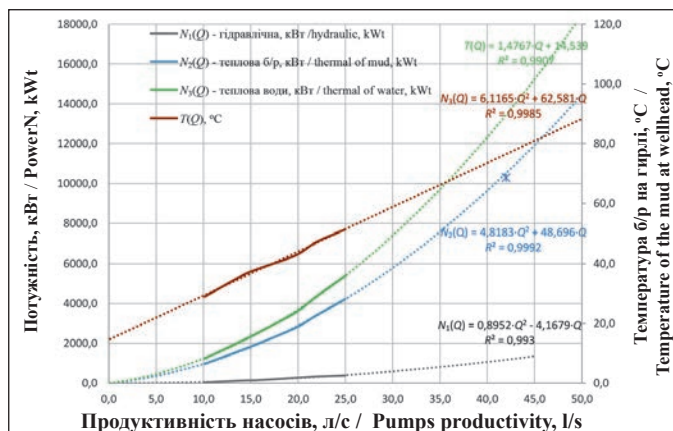


Рис. 3. Характеристики генерації теплової енергії у св. 120-Степовий (зірочкою позначено результат, якого було досягнуто за інших режимно-технологічних параметрів промивання свердловини) / Fig. 3. Characteristics of thermal energy generation in the well №120 Stepova (The result achieved during other regime-technological parameters of flushing-out of the well is starred)

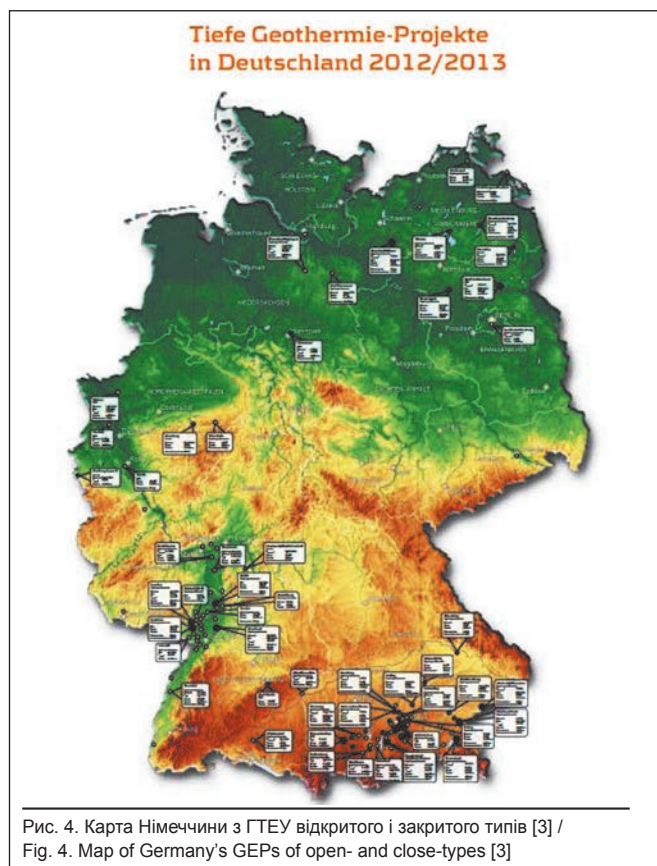


Рис. 4. Карта Німеччини з ГТЕУ відкритого і закритого типів [3] / Fig. 4. Map of Germany's GEPs of open- and close-types [3]

Experience of the drilling and geophysical exploration of the wells for oil and gas demonstrates significant generation of the thermal energy by dry rocks in the stable regime of drilling and flushing-out of the well, after what above-mentioned energy comes out on the earth's surface with heated mud. Also it shows special natural pattern between pressure and temperature of internal energy of the mud, that has established allocation in accordance with the depth of well and is determined by the gravitation field.

Таблиця 4 / Table 4

Температура б/р при максимальній продуктивності насосів протягом доби / Mud temperature at the pumps with maximal productivity during one day

Дата, час / Date, time	Температура б/р на виході, °C / Mud temperature at the outcome, °C	Розхід б/р на виході, л/с / Consumption of mud at the wellhead, l/s	Тиск у маніфольді, кгс/см ² / Ressure at the manifold, kgf/cm ²
29.04.21:00	41.00	26.00	152.00
22:00	42.80	25.60	147.00
23:00	44.10	25.80	147.00
30.04.24:00	45.50	25.50	142.00
Ремонтні роботи – 4,15 год / Repair works 4,15 hours			
5:00	43.50	25.00	142.00
6:00	45.40	25.00	142.00
7:00	47.20	25.00	142.00
8:00	47.60	25.20	143.00
9:00	48.70	25.40	143.00
10:00	49.20	25.50	142.00
11:00	49.70	25.50	142.00
12:00	50.00	25.50	141.50
13:00	50.30	25.50	140.50
14:00	49.50	25.50	142.50
15:00	50.00	25.40	140.00
16:00	50.00	25.40	141.00
17:00	50.50	25.40	140.00
18:00	50.80	24.80	133.00
19:00	51.20	25.00	134.50
20:00	51.40	24.70	130.00

Аналіз даних табл. 1 свідчить про те, що енергетичні параметри ГТФ для цієї свердловини мають промислове значення. У разі відсутності покладів вуглеводнів (ВВ) у розкритих горизонтах свердловиною її можна використати як геотермальну з генерацією теплової енергії потужністю до 13 МВт. Для досягнення такого показника необхідно вирішити ряд нових науково-технічних і технологічних завдань із розроблення методів освоєння геотермальної енергії з сухих гірських порід на основі глибоких свердловин збільшеного діаметра.

Результати дослідження ГТФ

Дослід 1. У період із 16.04.15 по 23.04.15 на св. 120-Степовій проводили роботи з обважнення бурового розчину з постійною промивкою свердловини на глибині 5053 м із середньою продуктивністю бурових насосів – 16 л/с. Результати робіт наведено в табл. 2 та 3.

Дослід 2. Із 25 по 27 квітня цього року виконували дослідження з щодобовим контролем температури бурового розчину на виході зі свердловини за різних продуктивностей насосів. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Дослід 3. У проміжок із 21:00 29 квітня по 20:00 30 квітня цього року на св. 120-Степовій проводили роботи з вимірювання температури вихідного бурового розчину під час промивки свердловини на глибині 5040 м. Питому вагу бурового розчину становила 1,72 г/см³. Промивку здійснювали за допомогою бурового насоса з продуктивністю 24,7÷26,0 л/с

Purpose of the Article: 1) To assess the energetic parameters of geothermal factor during drilling and flushing-out of the wells, 2) To determine the condition and perspectives of the usage of deep wells which were drilled for oil and gas, but completed their indicated purpose, as sources of thermal energy generation, 3) To determine perspectives of the deep wells usage at the territory of Ukraine.

The solution of the first purpose is based on the experimental explorations of the temperatures of the mud, which was pumped and then came out on a number of wells, being drilled or flushed-out of.

Thus, on w. Stepova №120 that was in flushing-out mode for 12 days after fixing the 245 mm column to a depth of 5040 meters using geo-technological research unit of the «Kashtan» type the changing technological parameters were registered and the energy parameters of GF influence on mud were determined. Those parameters are indicated in tables 1-5.

Analysis of the data indicated in table 1 demonstrates that the energy parameters of GF of this well have industrial value. In the absence of hydrocarbons (HC) in the exposed layers of the well, the last one can be used as geothermal well for the generation of geothermal power with the capacity of 13 MWt.

To achieve this capacity the several new techno-scientific and technological problems of the development of the geothermal energy exploration methods from dry rocks on the basis of the deep wells with enlarged diameter should be solved.

The geothermal factor research results

Experiment №1. During the period from 16.04.15 to 23.04.15 on the well №120 Stepova the weighting works of the mud during permanent flushing-out of the well on the depth 5053m with the average productivity of pumps 16 l/s were held. Results of these works are indicated in tables 3, 4.

Experiment №2. From 25.04.15 to 27.04.15 the researches with daily control of the mud temperature at the wellhead with the different productivity levels of pumps were held. The research results are indicated in table 1.

Experiment №3. In time period between 21:00 29.04.15 and 20:00 30.04.15 at the well №120 Stepova the determination works of the outcoming mud during flushing-out of the well at the depth 5040m were held. The proportion of mud is 1,72 g/cm³. Flushing-out of the well was made by drilling pump with the productivity level of 24, 7÷26,0 l/s and the pressure of 13,0÷15,2 MP. During the flushing-out process the gradual increase of the mud temperature at the outcome from 41,0°C to 51,4°C with stabilization at the point of 51,0-51,4°C during 3 hours was indicated. The researches results are indicated in table 5.

On fig. 2 the major characteristics of GF are indicated. This GF was active in the well's area during continuous flushing-out.

1. Indicated characteristics demonstrate, that change in the regime-technological parameters of flushing-out of well leads to change in the generation of thermal energy by rock. The stability of those characteristics allows modeling and forecasting the energy and the technical parameters of the circulation of the energy source (mud in this case). Thus, basing on the heat transfers of the GF, the geothermal

та тиском 13,0÷15,2 МПа, у ході промивки спостерігалось поступове збільшення температури бурового розчину на виході з 41,0 до 51,4 °С зі стабілізацією на позначці 51,0–51,4 °С протягом 3 годин. Результати досліджень наведено у табл. 4.

На рис. 3 наведено основні характеристики ГТФ, що діяв у просторі свердловини під час тривалого промивання.

1. Із наведених характеристик видно, що зміна режимно-технологічних параметрів промивання свердловини призводить до зміни генерації теплової енергії гірськими породами. Стійкість даних характеристик дає змогу моделювати і прогнозувати енергетичні і технічні параметри циркуляції енергоносія (тобто тут б/р). Так, виходячи з теплових потоків ГТФ розраховано геотермальну характеристику для іншого енергоносія – води, яка має менші гідродинамічні опори і більшу енергоємність. Цей енергоносії дає змогу прогнозувати енергетичні параметри ГТФ за різних продуктивностей насосів води до 50 л/с включно для такої конструкції свердловини і наявного геотермального градієнта.

2. Факт стабілізації температур 200 м³ б/р на земній поверхні при різних продуктивностях насосів говорить про існування режиму охолодження, який діє у свердловині і на повітрі. При більших продуктивностях насосів б/р не встигає охолонути у свердловині і нагрітий розчин виходить на поверхню. Оцінка максимальних значень температури б/р, що виходить з свердловини, обмежується гідродинамічним опором циркуляції б/р у трубах, тому дослідження ГТФ мають бути розширені з використанням глибинних безпроводних термометрів, що встановлюються на БТ над вибоєм свердловини. Такі дослідження дадуть вичерпне уявлення про енергетичні параметри сухих гірських порід, що перебувають під тиском 127,53 МПа і при температурі 130 °С.

Розв'язання другого завдання потребує ґрунтового аналізу існуючих обводнених продуктивних на вуглеводні горизонтів і стану свердловин, що завершили свою роботу, на родовищах вуглеводнів Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України». Перші дослідження цього завдання показали, що такі свердловини існують і їх можна використовувати для освоєння геотермальних ресурсів за різними технологіями.

На рис. 4 як приклад наведено карту Німеччини з геотермальними енергетичними установками, що працюють, будуються і проектується.

Геотермальні свердловини бурять поблизу і в межах населених пунктів, і навіть на територіях соціальних та промислових об'єктів для обігрівання й охолодження приміщень. Для охолодження приміщень свердловини бурять до глибини 90 м, де температура гірських порід стабільно не перевищує 14 °С.

На рис. 5 наведено приклад сейсмо-геологічного розрізу як об'єкта Котелевського ГКР для освоєння геотермальних ресурсів на основі обводненого горизонту С-5 методом циркуляції пластових вод за схемою: пласт-свердловини-теплообмінник із вилученням і подальшим перетворенням геотермальної енергії загальною потужністю понад 40 МВт на електричну з потужністю понад 8 МВт.

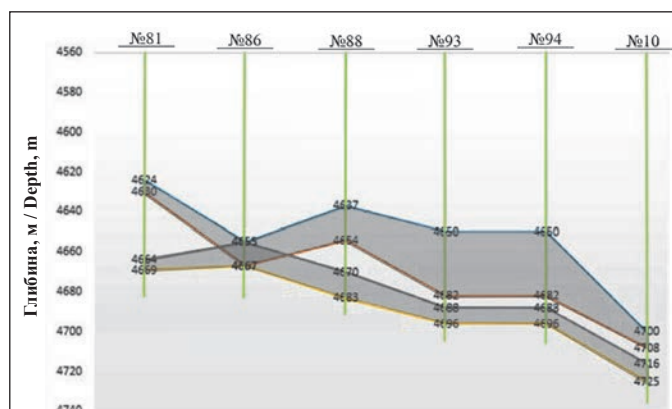


Рис. 5. Суміщений розріз св. 81, 86, 88, 93, 94, 102 Котелевського ГКР із обводненими колекторами горизонту С-5 / Fig. 5. Integrated section of the wells №81, 86, 88, 93, 94, and 102 of the Kotelevske gas-condensate field with watered reservoirs of the horizon С-5

characteristic for another energy source is calculated. This source is water, which has smaller hydrodynamic resistance and bigger energy capacity. This energy source allows forecasting the energy parameters of GF at the different productivity levels of the pumps up to the 50 l/s for this well construction type and existent geothermal gradient.

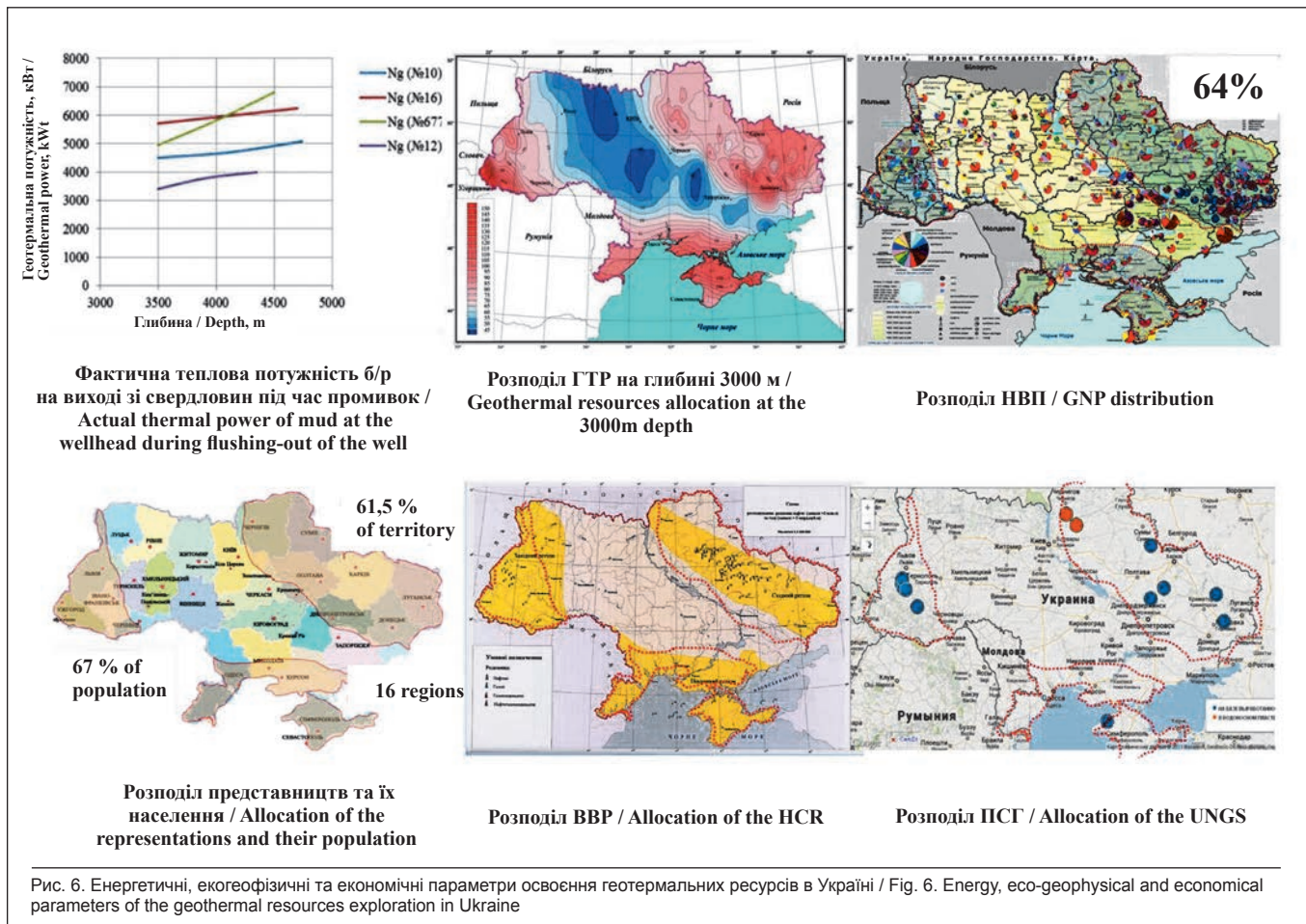
2. The fact of temperature stabilization 200 m³ of mud at earth's surface at the different productivity levels demonstrates the presence of the cooling regime, which is active in the well and in the air. Providing greater productivity levels of the pumps, it is not enough time for mud to cool down in the well and heated solvent comes out on the surface. The assessment of maximal temperature points of the mud that comes out from the well, is limited by hydrodynamic resistance of the mud circulation in pipes, thus the geothermal factor researches shall be expanded with the use of advanced deep wireless thermometers mounted on the drilling pipe on the well's bottom hole. Such researches will provide a comprehensive picture about the energy parameters of dry rocks that are under the pressure of 127, 53 MP and the temperature of 130 °С.

Solution of the second problem requires analysis of existing watered productive hydrocarbon horizons and condition of the wells that completed their intended purpose on the fields of hydrocarbons of the National Joint Stock Company «Naftogaz of Ukraine». The first analysis of such situations has shown that such wells are taking place and can be explored for the geothermal resources by using different technologies.

As for the example, the map of Germany's geothermal energy units under operating, building and projecting is indicated on the fig. 3.

Geothermal wells are being drilled within and around the settlements, and even in areas of social and industrial facilities for heating and cooling buildings. To cool the building, the wells to a depth of 90 m, where the temperature of rocks does not stable exceed 14°C are being drilled.

On the fig. 4 the example of an seismic-geological section as an object of the Kotelevske gas-condensate field for the exploration of geothermal resources on the basis of the watered horizon С-5 using the reservoir water circulation method by



Серед ГТР і ГР, яких в Україні налічується понад 320, аналогічних об'єктів можна виявити чимало.

Використання готових глибоких свердловин, що не використовуються за своїм призначенням для освоєння вуглеводнів, має територіальні труднощі через проблему постачання теплової енергії споживачам.

Тому такі свердловини треба здебільшого розглядати як геолого-технічну систему, що має не менше двох свердловин для генерації електричної енергії.

Подолати територіальні труднощі можна завдяки використанню спеціальних геотермальних свердловин, пробурених біля або в межах населених пунктів, які використовують як геотермальні води, так і сухі гірські породи. Саме такі свердловини бурять у Німеччині.

Щодо вирішення третього завдання з оцінки перспектив використання глибоких геотермальних свердловин у нашій країні, то на рис. 6 наведено перспективи використання геотермальних свердловин на території України.

Із наведеного на рис. 6 бачимо, що геотермально активні зони на глибині 3000 м займають 61,5 % території України, де щорічно виробляється національний валовий продукт (НВП) обсягом 64 % і мешкає 67 % від загальної кількості населення країни. Геотермально активні зони на цих глибинах мають підвищені температури – від 70 до 150 °С. Середня щільність теплового потоку з боку гірських порід у простір свердловини на

the scheme: the layer-the well-the heat exchanger, with the exclusion and subsequent conversion of the geothermal energy with a total power of capacity over 40 MW to electric energy with a power than 8 MW.

We can find a lot of similar objects among gas-condensate fields and gas fields, which are widespread with total quantity more than 320.

The usage of the ready-made deep wells that completed their intended purpose of the hydrocarbons exploration is territorially problematic as for the consumers supply with the thermal energy.

Thus such wells shall be recognized as geo-technological system that has at least two wells for generation of the electrical energy.

Territorial problem can be solved with the special geothermal wells that use both geothermal waters and dry rocks and are drilled within or around settlements. Such wells are being drilled in Germany.

There the third problem of the assessment of the usage perspectives of deep geothermal wells on the territory of Ukraine is being solved.

Thus, on fig. 5 the usage perspectives of deep geothermal wells on the territory of Ukraine are indicated.

Indicated on picture 5 data shows that locations which are geothermal active on depth of 3000m occupy 61, 5% of Ukraine's territory, on which gross national value (GNP) in

глибинах близько 4000 м визначена на рівні 2500 Вт/м² і залежить від термоградієнта, глибини, швидкості (продуктивності) циркуляції енергоносія, різниці температур між енергоносієм і гірським масивом, конструктивних параметрів свердловини. Якщо енергоносій нерухомий, то щільність теплового потоку в латеральному напрямку зменшується до нуля. Зі збільшенням різниці температур між енергоносієм і гірським масивом щільність теплового потоку зростає за законом Стефана–Больцмана.

Висновки

Одна глибока свердловина має промислову генерацію теплової енергії, собівартість якої у двічі менша від собівартості природного газу, що доведено в роботі [4].

Геотермальна енергія не викидається у повітря і не забруднює його шкідливими речовинами, оскільки під час циркуляції енергоносія у свердловині щільність теплового потоку з поверхні Землі у навколишній простір залишається незмінною, але змінюється місце розташування джерела геотермальної енергії, яке проявляється тільки під час руху енергоносія.

Геотермальні ресурси України здатні в повному обсязі забезпечити сучасну економіку країни та сприяти її розвитку у майбутньому.

Використання готових свердловин нафтогазової промисловості має промислове значення, але обмежується існуючими конструкціями експлуатаційних свердловин.

Надглибоке пошуково-розвідувальне буріння на нафту і газ потрібно проводити з урахуванням концепції подальшого використання «сухих» свердловин як геотермальних, а тому необхідно внести відповідні зміни у нормативно-правову і технологічну бази.

amount of 64% by population of 67% from total population of the country is reproduced. Geothermal active locations on such depths have increased temperature that varies from 70 °C to 150 °C. Average density of thermal transfer that comes from rocks to well's area at the approximate depth of 4000m is determined at the level 2500 Wt/m² and depends on thermal gradient, depth, speed (productivity level) of the energy source circulation, differences between the energy source and massif, construction parameters of the well. Providing stationary energy source, density of the thermal transfer in the lateral direction is reduced to zero. If temperatures between the energy source and massif increase, the density of the thermal transfer will increase according to the Stefan-Boltzmann law.

Summary

One deep well has industrial generation of the thermal energy, the cost of which is two times lower than cost of the natural gas, what is proven in the article [4].

Geothermal energy does not release into the air and does not pollute it with harmful substances, because when the energy source is circulating in the well, the density of the heat transfer from the earth's surface into environment does not change. The only variable element at that case is the location of the geothermal energy source, which appears only during the motion of the energy source.

Geothermal resources of Ukraine can satisfy its economy needs for today's condition and further development.

Usage of the ready-made wells of the oil and gas industry has industrial value, but is limited by existing construction of the exploitation wells.

Ultra deep exploratory drilling for oil and gas should be conducted with regard to the further concept of the usage of «dry» wells as geothermal through introduction of the changes in the regulatory and technological basis.

Список використаних джерел

1. **Efficiency** of geothermal power plants: a worldwide review Hyungsul Moon and Sadiq J. Zarrouk. Department of Engineering Science, University of Auckland, New Zealand. New Zealand Geothermal Workshop 2012 Proceedings 19–21 November 2012. Auckland, New Zealand.

2. **Патент** UA №92743, МПК H01L 35/02 (2006/01), E21B 47/00. Спосіб визначення щільності теплового потоку у свердловині / О.В. Карпенко, В.М. Стасенко, В.М. Карпенко. –

№ 201507456; заявл. 03.07.2014; опубл. 26.08.2015, Бюл. № 16.

3. **Tiefe** Geothermie-Projekte in Deutschland 2012/2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.fangmanngroup.com/uploads/media/GtV-BV_Poster_TG_2012-13_72dpi.pdf.

4. **Карпенко В.М.** Модель процесу освоєння паливно-енергетичних ресурсів свердловинами / В.М. Карпенко, В.М. Стасенко, В.П. Гришаненко // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 2. – С. 33–38.

