

KONCEPCJE OCENY I EKSPLOATACJA GEOTERMALNYCH ZASOBÓW ROSJI

THE CONCEPTS OF AN ESTIMATION AND DEVELOPMENT OF GEOTHERMAL RESOURCES OF RUSSIA

SŁOWA KLUCZOWE: zasoby geotermalne, eksploatacja, koncepcja, strategia

KEY WORDS: geothermal resources, development, concept, strategy.

STRESZCZENIE

W artykule zostały omówione proponowane strategie eksploatacji termalnej energii skał. Rozważane są podstawowe stadia tej strategii: rynkowa popularyzacja idei wykorzystania ciepła wnętrza Ziemi, szacowanie zasobów, podział kraju na okręgi geotermiczne i sporządzenie map złóż geotermalnych, rozwój technologii i określenie technicznych i ekonomicznych parametrów wydobywania i wykorzystania energii termalnej skał; rozwój naukowych podstaw planowania i wdrażania przedsięwzięć geotermalnych.

* * *

ABSTRACT

In the report the proposed strategy principles of a rocks thermal energy development are stated. Basic stages of this strategy are considered: market promotion of new mineral wealth - heat of the earth bowels; an estimation, division into districts and manufacturing of geothermal resources maps; development of technology and definition of technical and economic parameters of mining and utilization of a rocks thermal energy; development of scientific bases of a projection and operation of the geothermal enterprises.

* * *

PREZENTACJA ZAGADNIENIA

Zasoby wnętrza Ziemi są podstawą dla życia i rozwoju człowieka. Ich tradycyjna lista rzadko jest uzupełniana o nowe bogactwa. Takie odkrycia mają historyczne znaczenie dla rozwoju społeczeństw: przejście z epoki brązu do epoki żelaza spowodowało rozwój społeczny dzięki narzędziom; zapoczątkowanie wydobywania węgla było głównym bodźcem do stworzenia cywilizacji przemysłowej; wydobywanie zasobów ropy i gazu pociągnęło za sobą rewolucję w transporcie, energetyce itp.

Historia wykorzystania złóż geotermicznych liczy wiele tysięcy lat, jednak przemysłową eksploatację tego bogactwa rozpoczęto dopiero w XX stuleciu, a kontrolowane technologie wydobywania złóż geotermalnych rozwinęły się dopiero w 2 połowie XX stulecia. To być może najmłodsze bogactwo naturalne wnętrza Ziemi i jak przepowiadają światowi eksperci, jeden z bardziej perspektywicznych w III tysiącleciu.

Rozwój strategii wykorzystania termalnej energii wnętrza Ziemi w dzisiejszych czasach, a więc rozwój koncepcji zarówno prostych zasad szacowania, jak i eksploatacji złóż geotermalnych, jest ważnym i raczej słusznym zadaniem.

Można wyróżnić następujące podstawowe fazy tej strategii:

- 1) Rynkowa popularyzacja nowego bogactwa naturalnego – ciepła wnętrza Ziemi.
- 2) Szacowanie zasobów, podział kraju na okręgi geoter-

STATEMENT OF THE PROBLEM

The resources available to a person are the basis upon which that person is able to live. Their traditional list is replenished very seldom, and such events are historical landmarks in the development of a society: the transition from bronze to iron age – maintenance of the person by instruments of labour; the beginning of coal mining – main stimulus the creation of an industrial civilization; development of petroleum and gas resources – revolution in transport, power, etc.

The history of the utilization of thermal resources stretches over many thousands of years, however industrial development of this resource was begun only in the 20th century, and controlled technologies of development of geothermal deposits appeared only in the second half of the 20th century. It is perhaps the newest mineral among the raw resources of the Earth and, as is predicted by the leading experts of the world, one of the most useful in three thousand years.

The development strategy for the thermal energy of the interior is now being formed; the development of the basic principles of both the estimation and the operation of geothermal resources is an important task. The following basic stages of this strategy can be noted:

- 1) Market popularization of the new resource – heat of the interior;
- 2) Estimation, division into districts, and manufacturing of geological, technological, power and economic

miczne i wykonywanie geologicznych, technologicznych, energetycznych i ekonomicznych map złóż geotermalnych

- 3) Rozwój technologii i określenie technicznych i ekonomicznych parametrów wydobywania i wykorzystania termalnej energii wnętrza Ziemi
- 4) Rozwój naukowych podstaw planowania i działalności przedsiębiorstw górnictwa geotermalnego
- 5) Przemysłowe wdrażanie i rozwój przewidywania zasobów termalnych wnętrza Ziemi

Światowa nauka, szczególnie w ciągu ostatnich 20 – 25 lat, aktywnie rozwija się w tych kierunkach. W niektórych fazach działania w zakresie geotermii zostały osiągnięte sukcesy, w innych – ze smutkiem odnotowuje się zasadnicze zaległości.

Ten artykuł przedstawia poglądy autora - zarówno podstawowe idee, jak i zasady działalności w tej nowej dziedzinie nauk górniczych i produkcji.

RYNKOWA POPULARYZACJA NOWEGO BOGACTWA NATURALNEGO

Rynkowa popularyzacja nowego bogactwa naturalnego – ciepła z wnętrza Ziemi zawiera:

- a) opis zagadnienia, korzyści, a także wad wykorzystywania zasobów geotermalnych
- b) aktywna popularyzacja pod względem ekonomicznym i ekologicznym tego niekonwencjonalnego źródła energii
- c) zapoznanie przywódców państw oraz ludności z nowym, niezawodnym, tanim i bezpiecznym źródłem energii, niezwykle potrzebnym do życia.

Interes wielkiego państwa jakim jest Rosja, jego rozwój i dobrobyt zależy w szerokim zakresie od zaspokojenia własnego zapotrzebowania na energię oraz eksportu energii za granicę.

Złoża energetyczne są w tym okresie podstawowym handlowym źródłem zaopatrzenia budżetu państwa, jakkolwiek, kryzys energetyczny niszczący przemysł, rolnictwo i ekonomię państw byłego ZSRR, nie ominął także Rosji. Złoża ropy, przy stałej kontroli ilości jej eksportu, są ograniczone; złoża gazu ziemnego są także poważnie ograniczone. Rezerwy węgla istotnie zmalały wraz z rozpadem ZSRR, rezerwy pozostałe w Rosji wymagają znaczących inwestycji i charakteryzują się spadkiem jakości węgla. Z tego powodu część górników musi zostać zwolniona, a niektóre kopalnie muszą zostać zamknięte.

Dostawa energii Europejskiej części kraju istotnie pogorszyła się z powodu nagłego wzrostu kosztów transportu paliw. Dodatkowo wzrosły również koszty ochrony środowiska.

Poszukiwania tradycyjnych paliw, spalanych w ciepłowniach, nie prowadzi się już od 10 lat. Wykorzystanie niekonwencjonalnych źródeł energii, a przede wszystkim termalnych zasobów wnętrza Ziemi, jest jednym z głównych propozycji rozstrzygnięcia tego problemu.

Pojęcie "złoża geotermalne" przez długi czas było dyskutowane. Zaproponowana definicja [1-5]: ilość ciepła zawartego w litosferze aż do głębokości technicznie

maps of geothermal resources;

- 3) Development of technology and definition of technical and economic parameters of mining and utilization of the thermal energy of the interior;
- 4) Development of scientific bases of a projection and operation of the geothermal mining enterprise;
- 5) Industrial introduction and development forecasting of thermal resources of the interior.

World science and practice, especially in the last 20–25 years, have actively worked in these directions. On some stages obvious successes have been achieved, on others serious problems have occurred. This report is devoted to a statement of the authors' views of both basic ideas and rules of activity in this new area of mining science and manufacture.

MARKET POPULARIZATION OF THE NEW RESOURCE

The market popularization of the new resource – the heat of the interior – includes:

- a) Description of a problem, advantages and lack of geothermal resources;
- b) Active promotion of the economic and ecological appeal of this non-traditional source of energy;
- c) The attraction of a new, local, reliable, cheap and safe resource, extremely necessary for maintenance of their ability to live, to administrative leaders and the general population.

The preservation of Russia in the status of a great state and, further, its development and prosperity, largely depend on opportunities to ensure that it can meet its own energy needs, and also export. Power resources are at present the basic trade resource of state budget replenishment, however, a power crisis is destroying the industry, agriculture and economy of the countries of the former USSR, and has not bypassed Russia. The resources of petroleum, with conservation of volumes which is still exported, are limited; the resources of natural gas are also quite limited. The reserves of coal have decreased with the disintegration of the USSR, and reserves remaining in Russia require significant investments, and are characterized by a lower quality of coal. For these reasons some collieries, and in some cases also coal fields, are subject to closure. The power supply of the European part of the country has worsened because of an abrupt rise in costs for the transport of fuel. The additional expenses for the ecological protection of the environment are also increasing.

The search for an alternative organic fuel to burn in heating plants has been underway for more than 10 years. Utilization of non-traditional sources of energy, and – primarily – thermal resources of the interior, is one of the general directions in the solution of this problem.

The concept "geothermal resources" has been debated for many years. Many authors have offered their definitions [1–5]; the following has for the last 25 years not caused significant contradictions and, apparently, can be considered recognized: the quantity of heat contained in the lithosphere or its sites, technically achievable by

możliwej do osiągnięcia za pomocą wierceń, przez ostatnie 25 lat nie powodowała poważniejszych sprzeciwów i może zostać uznana za wiarygodną.

Przy porównaniu do tradycyjnych źródeł energii, uważa się następujące pozytywne cechy złóż geotermalnych:

1. *Niewyczerpalność*. Według szacunków WEC-80 światowe zasoby złóż geotermalnych wynoszą 137 trylionów ton paliwa umownego, to jest 10 razy więcej niż wszystkie zasoby paliw kopalnych (13 trylionów ton paliwa umownego). Na terytorium Rosji 4 do 6 razy przekraczają zasoby ropy i gazu na dostępnych głębokościach (aż do 6 km) i wg Petersburskiego Państwowego Instytutu Górniczego [1-3,5,18] wynoszą 57 trylionów ton paliwa umownego, w tym zasoby energii potrzebne do samego ogrzewania wynoszą 31 trylionów ton paliwa umownego (metody szacunków różnią się między sobą).
2. *Szerokie rozpowszechnienie*. Geotermalne zasoby zasobów ciepła rozciągają się na prawie całym terytorium Rosji, tak że wg prognoz, dostępne zasoby mogą zaspokoić potrzeby dostaw gorącej wody na 95% terytorium, ciepła – na 69%, a ekonomicznie korzystnie – odpowiednio na 88 i 55% [5,18]
3. *Mała odległość od odbiorcy*. Wydobywanie ciepła z wnętrza Ziemi z reguły jest możliwe na terytorium jego użycia. To radykalnie ogranicza straty ciepła w transporcie i koszty transportu [5,6,9,19], a także istotnie podnosi niezawodność przedsięwzięć górniczo - energetycznych.
4. *Kompleksowe dostawy energii do lokalnych odbiorców*. Realizacja geotermalnych przedsięwzięć może, w razie konieczności, kompletnie zabezpieczyć zapotrzebowanie odbiorcy na ciepło i energię elektryczną [8,10]. To pozwala rozwiązać główny problem – dostawy ciepła w szczególnie trudno dostępnych lub odległych rejonach.
5. *Zagospodarowanie lokalne*. Ciepło uzyskiwane z lokalnych zasobów wnętrza Ziemi zapewnia korzyści, elastyczność i mobilność planowania konstrukcji geotermalnych przedsięwzięć.
6. *Automatyzacja, bezpieczeństwo i nieobecność czynnika ludzkiego w górnictwie*. Górniczo – energetyczne projekty przedstawiają geotechnologiczny kompleks wiertniczy ze zdalnym sterowaniem wydobywania, przemiany ciepła i dostarczaniem produkcji termalnej.
7. *Ekonomiczna konkurencyjność*. Eksploatacja i wykorzystanie ciepła wnętrza Ziemi wg danych liczbowych zagranicznych i krajowych projektów, inicjatyw i prognoz [5,6,14,16,17,19], w sprzyjających geologiczno-geotermalnych warunkach, jest korzystne ekonomicznie i nie wymaga państwowych dotacji.
8. *Czystość ekologiczna*. Technologia cyrkulacyjna umożliwia zamknięty obieg geotermalnego nośnika ciepła i nie powoduje emisji ani składowania żadnych zanieczyszczeń środowiska [11].

Jednakże wykorzystywanie zasobów geotermalnych ma także pewne wady:

1. *Niska potencjalna temperatura*. Temperatura nośnika ciepła na wyjściu z otworu eksploatacyjnego zależy

means of drilling for a foreseeable period.

By comparison with traditional sources of energy, the following advantages of geothermal resources are obvious.

1. *Inexhaustibility*. The world prognosis on geothermal resources from an estimation by WEC-80 is 137 trillion tons of comparable fuel (tns of comp. fuel), that is, 10 times more than the total fuel resources (13 trillion tns of comp. fuel). In Russian territory, geothermal resources exceed oil and gas resources by 4 to 6 times at accessible depths (up to 6 km) and, according to St. Petersburg State Mining Institute [1–3, 5, 18], there are 57 trillion tns of comp. fuel for heat supply needs, including 31 trillion tns of comp. fuel for heating (the methods of estimation have some differences).
2. *Wide prevalence*. The geothermal resources for a heat supply extend over almost the whole territory of Russia, so the prognosis is that technically accessible resources can provide the needs of hot water supply over 95% of the territory, heating over 69%, and can be economically viable for 88 and 55% respectively [5, 18].
3. *Proximity to the consumer*. The mining of heat of the interior is, as a rule, possible on the territory of its utilization. This greatly reduces expenses incurred in the transport of fuel, the water drain of heat [5, 6, 9, 19], and essentially raises the reliability of mining–power enterprises.
4. *Complex power supply to local consumers*. The production of the geothermal enterprise can, if necessary, provide the consumer's entire heat and electric power [8, 10]. It allows a major problem to be solved – power supply – especially if remote areas or those difficult of access are developed.
5. *Regional property*. The heat of an interior involves local resources, it provides interest, flexibility and mobility of both planning and construction of the geothermal enterprises.
6. *Automation, safety and absence of people mining*. The mining–power enterprise represents a bored geotechnological complex with remote computer control of mining, thermotransformation and delivery of thermal production.
7. *Economic competitiveness*. From the data on foreign and domestic enterprises, projects, bases and forecasts [5, 6, 14, 16, 17, 19], the mining and utilization of heat of an interior in favourable geological–geothermal conditions is economically advantageous and does not require state grants.
8. *Ecological purity*. Circulation technology provides a closed turnover cycle for the geothermal heat carrier and does not admit any dumps or emissions into the environment [11].

However, the specification of geothermal resources also includes a number of disadvantages, as follows.

1. *Low-temperature potential*. The temperature of the heat carrier at an output from water raising depends on the geothermal conditions of the area and the cost of extraction of heat. An increase in temperature is possible due to supplementary heating in the fuel boiler

od warunków geotermalnych obszaru oraz od kosztów wydobycia ciepła. Podwyższenie temperatury jest możliwe przez stosownie dodatkowego ogrzewania w paliwowych kotłowniach lub przez wymianę ciepła, itp., lecz wymaga dodatkowych istotnych inwestycji i nakładów finansowych [5,6,8,9]

2. *Nie nadaje się do transportu.* Uzyskane ciepło powinno być zużyte lub zostać zamienione na energię elektryczną w pobliżu udostępnionego złoża, ponieważ koszty znacznie wzrastają, gdy główne linie ciepłownicze są projektowane na duże odległości od odbiorcy.
3. *Trudności magazynowania.* Do akumulacji uzyskanego ciepła jak i gorącej wody konieczna jest budowa konstrukcji o dużej pojemności, jednak techniczna i ekonomiczna poprawność takich konstrukcji jest raczej wątpliwa. Podziemne skały nagrzewają się w fazie rozwoju.
4. *Rozproszenie struktur.* Odległości pomiędzy parami i seriami otworów systemu cyrkulacji geotermalnej (GCS) z naturalnymi kolektorami wahają się od 0,5 aż do 1,5 km [5,6,9], tak więc wiertnie i linie ciepłownicze przemysłowych geotermalnych przedsiębiorstw mogą być rozproszone na dziesiątkach km².
5. *Ograniczenia doświadczenia przemysłowego.* We Francji istnieje duża ilość przemysłowych systemów cyrkulacji geotermalnej (GCS) z naturalnymi kolektorami, wysoki wskaźnik ich konstrukcji istnieje też w Niemczech. W takich państwach jak USA, Włochy, Ukraina obserwuje tendencje do przechodzenia do ciepłowni geotermalnych. W Rosji to doświadczenie jest ograniczone do konstrukcji i działania tylko eksperymentalnych i instalacji (Czeczenia, Dagestan, prowincja Jarosławia). System cyrkulacji geotermalnej (GCS) ze sztucznymi kolektorami został tylko częściowo eksperymentalnie sprawdzony w USA, Anglii, Niemczech, Francji, Japonii i Rosji [5,6,8,15,17].

Sensowne rozpowszechnianie korzyści z wydobycia i utylizacji termalnych złóż wnętrza Ziemi jest prowadzona przez ostatnie 20 – 25 lat. Pewne sukcesy zostały osiągnięte: stało się możliwe urzeczywistnienie planów dotyczących wykorzystania ciepłej energii wnętrza Ziemi i zamiana projektów na realne przemysłowe konstrukcje; stworzenie map i atlasów zasobów geotermalnych; udowodnienie możliwości przemysłowego zastosowania technologii cyrkulacyjnej i jej dominującej roli; skonstruowanie wzorcowych przemysłowych obiektów. Za granicą zaczyna się kłaść coraz większy nacisk na uświadamianie ludności oraz przywódcom państw tego typu tematyki. Ta socjo- ekonomiczna część problemu staje się kluczową sprawą dla wzrostu ilości wydobycia i utylizacji ciepła wnętrza Ziemi na terenie Rosji.

OBLICZENIA ZASOBÓW I TWORZENIE MAP GEOTERMICZNYCH.

Ten etap zawiera:

- 1) Gromadzenie i przetwarzanie danych geologicznych, geotermicznych, geofizycznych, hydrogeologicznych itd..

house, thermotransformation, etc., but requires additional essential investment and operational expenses [5, 6, 8, 9].

2. *Non-transportable.* The extracted heat should be used or transformed into electric power near to a developed deposit, since the cost of constructing main heating lines increases abruptly with remoteness of the consumer.
3. *Difficulty of storage.* For accumulation of the extracted heat as hot water, huge-capacity construction is necessary, and the technical and economic viability of such construction is rather dubious. The underground rock heat accumulator is at the development stage.
4. *Dispersal of structures.* The distances between pairs and lines of wells of geothermal circulating systems (GCS) with natural collectors are from 0.5 to 1.5 km [5, 6, 9], thus rigs and heating lines of the industrial geothermal enterprises can be dispersed over tens of km².
5. *Limitation of industrial experience.* In contrast to the rather plentiful industrial GCS with natural collectors in France, high rates of construction in Germany, and transition to heat plants in the USA, Italy, the Ukraine and other countries, in Russia this experience is limited to the construction and operation of only experimental and trial installations (Thethnja, Dagestan, Yaroslavl province). A GCS with artificial collectors has undergone only partial experimental trials in the USA, England, Germany, France, Japan and Russia [5, 6, 8, 15, 17].

Reasonable growth of viability of mining and utilization of thermal resources of the interior has occurred for the past 20–25 years. Some successes have been achieved: it was possible to translate representations on heat of the interior from ideas to actual industrial construction; to create maps and atlases of geothermal resources; to prove an opportunity for industrial application and the dominant role of circulation technology; and to construct demonstration industrial objects. Abroad, increased attention is given to the voice of the population and leaders of administrations. This socioeconomic factor of the problem of geothermal resources development becomes key in escalating rates of both volume mining and utilization of heat of the interior in Russia.

ESTIMATION AND CREATION OF MAPS OF GEOTHERMAL RESOURCES

This stage includes the following:

- 1) the collection and processing of geological, geothermal, heating, physical, etc. data on measurements in wells, geophysical, hydrogeological etc. research;
- 2) geological-geothermal division into districts of the interior of the country and – in more detail – perspective on the condition of regions, in view of the reliability of the initial information and estimation of the degree of risk;
- 3) geological–economic and technological–power estimation of geothermal resources of the country and prospective regions, with the choice of prime territories,

- 2) Podział obszarów na rejony geologiczno - geotermiczne.
- 3) Geologiczno-ekonomiczne i technologiczno - energetyczne szacowanie złóż geotermalnych kraju i perspektywicznych regionów ze wskazaniem głównych obszarów, terenów, miast i wsi.

Szacowanie naturalnych zasobów jest raczej zaawansowanym kierunkiem w rozważaniach naukowych i w praktyce. Znaczna ilość metod i procesów realizacji tych prac wciąż rozwija się. Geotermalne zasoby wymagają w możliwym do przewidzenia zakresie, obowiązkowej realizacji ekonomicznej wyceny. Pierwsze kroki w tym kierunku zostały poczynione w Petersburskim Państwowym Instytucie Górniczym- byłym Leningradzkim Instytucie Górniczym. Pod koniec lat 70-tych były rozwijane podstawowe koncepcje i tworzone techniki geologiczno-ekonomicznej wyceny petrogeotermalnych zasobów ZSRR [1-3]. Duży postęp w technice oceny geotermalnych zasobów został osiągnięty jako rezultat łączonych poszukiwań Petersburskiego Państwowego Instytutu Górniczego i firmy "Nedra" [15,16,19-21]

W rozwoju poprzednich prezentacji i klasyfikacji [1-3], poziom przemysłowego rozwoju technologii wydobywania ciepła z wnętrza Ziemi jest przyjmowany jako główna zasada.

Zasoby geotermalne należące do poszczególnych kategorii są podzielone na 2 grupy:

- a) *Petrogeotermalna*- zasoby słabo przepuszczalnych skał, w których dla wydobywanego ciepła są tworzone sztucznie przepuszczalne strefy (istnieją tylko eksperymentalne instalacje w USA, Anglii, Japonii, Rosji, Niemczech). Ich generalny potencjał jest określony jako ciepło zawarte w strefie litosfery na ograniczonej głębokości wiercenia (10 km) z chłodzeniem skał aż do temperatury otoczenia.
- b) *Hydrogeotermalna*- zasoby naturalnych kolektorów (horyzonty termo-wodonośne), artezyjskie lub działające na zasadzie systemów cyrkulacyjnych wydobywczo-energetycznych. Są one określane jako ciepło zawarte w przepuszczalnych warstwach na głębokości występowania skał osadowych (aż do 10 km).

Prognozowane zasoby słabo przepuszczalnych skał są podzielone na 2 grupy:

- 1) *Złoża technicznie dostępne* – są oceniane jako zawartość ciepła w skałach aż do głębokości przemysłowego wiercenia (6 km), charakteryzowane ze względu na współczynnik eksploatacyjny oraz na temperaturę zużytego nośnika ciepła, to znaczy, są charakteryzowane nie tylko ilościowo, ale też jakościowo.
- 2) *Zasoby ekonomicznie opłacalne* – są wykorzystywane w konkurencji rynkowej do ciepła produkowanego na bazie paliw organicznych.

Prognozowane zasoby naturalnych kolektorów są szacowane jako zawartość ciepła w warstwach, wzięwszy pod uwagę przepływ ciepła przez skały złoża, warstwy nadległe i skały podłoża, ograniczone przez temperaturę środowiska i czynniki temperaturowe charakteryzujące wydobywanie. W tych złożach są wyznaczone zasoby perspektywiczne (przemysłowo dostępne i ekonomicznie korzystne), które są oceniane jako złoża konkuren-

areas, cities and settlements.

Estimation of natural resources is rather advanced in theory and in practice. A significant number of methods and procedures for estimation have been developed. The importance of geothermal resources, in connection with the specifics and, importantly, their alternative, for the foreseeable future, requires obligatory realization of an economic estimation. The first steps in this direction were made in St. Petersburg State Mining Institute (SPbSMI) – formerly Leningrad Mining Institute. After 70 years the basic concepts were developed and the first technique for geological-economic estimation of petro-geothermal resources in the USSR was created [1–3]. Firm progress in a technique for the estimation of geothermal resources was achieved as a result of the joint research of SPbSMI and the firm "Nedra" [15, 16, 19–21]. In the development of former representations and classifications [1–3], the level of industrial development of mining technology of the heat of the interior was accepted as a main principle.

The general geothermal resources allocated in a potential category are divided into two groups as follows.

- a) *Petrogeothermal* – resources of weak permeable rocks, in which artificial permeable zones are created for mining heat (there are only experimental installations in the USA, England, Japan, Russia and Germany). Their general potential is determined as the heat content of the lithospheric thickness, limiting the depth of drilling (10 km), with cooling of rocks up to the temperature of the surrounding environment.
- b) *Hydrogeothermal* – resources of natural collectors (thermo-water-bearing horizons), which are operated by fountain or circulating mining-power systems. They are determined as the heat content of permeable layers in a thickness of sedimentary rocks (up to 10 km), in view of the conductive additive from rim rocks, with cooling of these layers up to the temperature of the surrounding environment.

In each of these groups predicted geothermal resources are allocated, which are limited to technical opportunities, both technological readiness of mining and utilization of heat of the interior. The *predicted* resources of weak permeable rocks are divided into two groups:

- 1) *Technically accessible resources* – are estimated as a heated rock's content of a thickness of beds up to the depth of industrial drilling (6 km), taking into account the extraction factor and restrictions given by temperatures of the donor and recipient heat carrier, i.e. they are characterized not only quantitatively, but also qualitatively.
- 2) *Economically viable resources* – are estimated in market competition to manufacture heat from a boiler house using organic fuel.

The *predicted* resources of natural collectors are estimated as the heat content of layers taking account of a conductive heat inflow from overlying and bed rocks and limited by temperature of environment, and the factor of temperature extraction. In these resources *prospective* resources are allocated (they are industrially accessible and economically expedient), which are estimated as competitive with the achieved technological level of

cyjne z powodu osiągniętego technologicznego poziomu wydobycia termalnej energii wnętrza Ziemi.

Podstawowe koncepcje szacowania i podziału na rejony geotermiczne zasobów termalnych wnętrza Ziemi dają możliwość sformułowania następujących wniosków:

- 1) Geologiczno – geotermalne materiały dotyczące zasobów powinny zawierać reprezentatywne dane o otworach na danym terenie, dane geofizyczne i hydrogeologiczne
- 2) Dla szacowania zasobów i podziału rejony geotermalne powinni być ustaleni konkretni odbiorcy.
- 3) Wskaźniki techniczne i ekonomiczne projektów geotermalnych na terenie wierconych i testowanych głębokich otworów, powinny być optymalizowane na podstawie modelowania ekonomiczno-matematycznego.
- 4) Jako podstawowe kryteria szacowania zasobów i wyznaczania rejonów geotermicznych oraz tworzenia map złóż geotermalnych powinny być użyte następujące parametry: zysk ekonomiczny, aktualny koszt, maksymalna wewnętrzna stopa zysku, lokata kapitału, gęstość na jednostkę powierzchni, itp.
- 5) Geotermalne zasoby mogą być opisywane w kategoriach zasobów tylko w przypadku istnienia odbiorcy, dla którego wydobycie jest ekonomicznie korzystne.

Potencjalne złoża Rosji charakteryzują się surową, nieprzetworzoną ilością geotermalnej energii. Ich całkowity potencjał jest równy 1702 trylionów ton paliwa umownego (tab.1). Tak więc technicznie dostępne zasoby geotermalne, pokrywające zapotrzebowanie na dostawy gorącej wody i ogrzewanie wynoszą 569 i 30,5 trylionów ton paliwa umownego, a ekonomicznie korzystne- odpowiednio 44,64 i 16,44 trylionów ton paliwa umownego [1-3,8,10,18]

Regiony centralnej Rosji charakteryzują się raczej wysokim zaludnieniem i koncentracją przemysłu, nie posiadają istotnych własnych zasobów energetycznych. Tak

development of the thermal energy of the interior.

The basic concepts of estimation and division into districts of thermal resources of the interior can be formulated as follows.

- 1) The geological–geothermal information should contain representative materials on wells in the given territory, geophysical, hydrogeological, etc. research.
- 2) For an estimation and the division into districts of geothermal resources, the typical consumers should be sensible.
- 3) The technical and economic work parameters of geothermal enterprises at sites of drilled and tested deep wells should be optimized on the basis of economic–mathematical modelling.
- 4) As the basic criteria of an estimation, division into districts and the creation of a map of geothermal resources should use the following parameters: economic expediency, current cost, maximum internal rate of profit, investment, profitability, density per unit area, etc.
- 5) Geothermal resources can be transferred into the category of resources only with the presence of a consumer, for whom economically it is favourable to extract, transform, transport and use the thermal energy of the interior.

The potential resources of Russia characterize the raw base of geothermal power. Their general thermal potential is equivalent to 1702 trillion tons of comp. fuel (Table 1). Thus, technically accessible geothermal resources ensuring the needs of hot water supply and heating are respectively 569 and 30.5 trillions tons of comp. fuel, of which 44.64 and 16.44 trillion tons of comp. fuel respectively are economically viable [1–3, 8, 10, 18].

The regions of central Russia are characterized by a rather high density of population and concentration of industry, and do not have their own traditional power resources. Thus it is predicted that about 55 million tons of comp. fuel would be consumed per year for a heat supply for the needs of eight areas located in the territory

Tabela 1. Geotermalne zasoby terytorium Rosji
Table 1. Geothermal resources of territory of Russia

Regions	Potential, trln. tns an of comp. fuel.	Prognosis resources of a heat supply, trln. tns an of comp. fuel.			
		Technically accessible,		Economically expedient	
		70/20 °C	90/40 °C	70/20 °C	90/40 °C
Northern	132	3.7	1.1	3.4	0.95
North-west	18	0.9	0.2	0.6	0.1
Central	35	1.5	-	0.99	-
Central-chernozem	19	5.7	1.3	4.8	0.07
Volga-Wyatka	12	0.54	-	0.37	-
Byvolga	59	2.7	1.49	2.1	1.37
North - Caucasian	45	1.86	1.35	1.6	0.97
Ural	64	1.2	0.36	0.6	0.18
West - siberian	258	9.8	7.4	8.2	3.8
East - siberian	364	7.9	5.4	5.1	1.86
Far East	696	21.1	11.9	16.8	6.15
Kaliningrad province	...	...	...	0.1	0.09
Total on Russia	1702	56.9	30.5	44.64	16.44

The note: 70/20 °C - temperature mode of hot water supply,
90/40 °C - temperature mode of heating.

więc na potrzeby dostaw ciepła w ośmiu obszarach ulokowanych na terytorium geologicznej formacji "syneklizy Moskiewskiej" jest przewidziane wykorzystanie ok. 55 mln ton paliwa umownego na 1 rok. W obrębie wspomnianego złoża występują 2 podstawowe horyzonty geotermalne: górny- środkowy dewon z głębokością pokładów od 800 aż do 1700m i dolny – środkowy kambr o głębokości 900-2300m.

Podstawowe charakterystyczne horyzonty geotermalne:

	Środkowy Dewon	Środkowy Kambr
Temperatura kolektora, [°C]	20 - 60	30 - 70
Efektywna grubość, [m]	70 - 250	20 - 65
Przepuszczalność, [darcy]	1.5 - 3.0	0.01 - 3.0

Na podstawie sformułowanych koncepcji i rozwiniętych technik [10,15,16] stworzono mapy, dokonano podziału na rejony geotermiczne i oceny energii geotermalnej naturalnych kolektorów syneklizy Moskiewskiej dla 2 kategorii zasobów oraz wykonano prognozy. (tab.2). Stworzono ponad 20 geotechnologicznych i geologiczno - ekonomicznych map złóż termalnych wnętrza Ziemi w centrum Rosji.

ROZWÓJ TECHNOLOGII I DEFINICJA TECHNICZNYCH ORAZ EKONOMICZNYCH PARAMETRÓW WYDOBYCIA I UTYLIZACJI TERMALNEJ ENERGII WNĘTRZA ZIEMI.

Ten etap zawiera:

- 1) Analizę i wybór technologii eksploatacji złóż geotermalnych.
- 2) Ekonomiczno matematyczne modelowanie geotermalnych projektów i optymalizacja parametrów według kryteriów nowoczesnego rynku, parametrów zarówno wydobywania i utylizacji ciepła wnętrza Ziemi w różnych naturalnych, energetycznych i ekonomicznych warunkach.
- 3) Wieloczynnikowe badania i określenie zmian technologicznych i ekonomicznych parametrów i wskaźników projektów geotermalnych w zależności od warunków naturalnych.

Geotermalna technologia wydobywania termalnej energii wnętrza Ziemi jest zbiorem sposobów, środków i procesów wydobywania, przetwarzania i dostaw nośnika ciepła z danymi właściwościami i poziomem ekonomicznej możliwości jego utylizacji. Właściwości geotermalnego nośnika ciepła to: jego temperatura, stopień mineralizacji, aktywność korozyjna, gazonośność, zanieczyszczenie szkodliwymi substancjami, itp. Geotermalne technologie pod względem sposobu wydobywania są podzielone na 2 podstawowe klasy: wodotryskowa i cyrkulacyjna.

Wodotryskowa technologia – dominuje, ze względu na rozwój osadów przekładanych naturalnymi, przepuszczalnymi warstwami kolektora, zawierającymi płyn z ciśnieniem przekraczającym z reguły ciśnienie hydrostatyczne. Płyn wypływający z otworu eksploatacyjnego na powierzchnię z powodu zwiększonego ciśnienia

of the geological formation known as the Moscow syncline. The syncline is bounded by two basic thermo-water-bearing horizons: on the top – Middle Devonian with a thickness of 800–1700 m; and at the bottom – Middle Cambrian with a thickness of 900–2300 m.

The basic characteristics of the horizons are as follows:

	Middle Devonian	Middle Cambrian
Temperature of collector [°C]	20–60	30–70
Effective thickness [m]	70–250	20–65
Permeability [darcy]	1.5–3.0	0.01–3.0

On the basis of the formulated concepts and developed technique [10, 15, 16], a creation map, division into districts, and estimation of geothermal energy of natural collectors of the Moscow syncline are executed for two categories of resources: predicted and prospective (Table 2). More than 20 geological–technological and geological–economic maps of thermal resources of the interior of central Russia have been produced.

TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT AND DEFINITION OF TECHNICAL AND ECONOMIC PARAMETERS OF MINING AND UTILIZATION OF THE THERMAL ENERGY OF THE INTERIOR

This stage includes the following.

- 1) Analysis and choice of technology for geothermal deposit development.
- 2) Economic–mathematical modelling of the geothermal enterprises (GE) and parameter optimization of both mining and utilization of heat of the interior in various natural, power and economic conditions according to modern market criteria.
- 3) Multifactor regressive analysis and definition of changing laws of constructive, technological and economic parameters and indices of GE depending on natural conditions.

The geothermal technology for mining of thermal energy of the interior is a set of ways, means and processes of extraction, processing and delivery of the heat carrier with the given qualities and level of economic efficiency of its utilization. Qualities of the geothermal heat carrier are as follows: its temperature, degree of mineralization, corrosion activity, gas content, pollution by harmful impurities, etc. In mining, the geothermal technology is divided into two basic classes: fountain and circulating.

Fountain technology dominates today in the development of geothermal deposits within natural permeable collectors, containing fluids under pressure that is usually above hydrostatic. The fluid removed in operational wells on the surface due to excessive pressure in a collector or a pump, moves to the consumer and after thermal utilization is dumped in natural or artificial reservoirs and flowing waters. This technology has serious deficiencies, especially of an ecological and resources nature. Therefore it has no prospects for

Tabela 2. Perspektywiczne zasoby geotermalne dewonu środkowego (Dev) i kambru środkowego (Kem) wodonośnych horyzontów syneklizy Moskiewskiej
Table 2. Perspective geothermal resources Middle Devonian (Dev) and Middle Cambrian (Kem) of water-bearing horizons of a Moscow syncline

Area	The area of province, thous. km ²	Territory having resources in % from total territory		Perspective resources, mlrd. tns of comp. fuel			Average specific density, thousand tns of comp. fuel on km ²
		Dev	Kem	Dev	Kem	Total	
Vladimir	29,0	49	11,0	1,42	0,11	1,53	135
Vologda	145,7	42,6	35,3	8,24	2,51	10,75	210
Ivanovo	23,9	100,0	49,4	4,06	0,75	4,81	255
Kostroma	60,1	90,2	42,4	11,46	2,16	13,62	300
Nizhniy Novgorod	74,8	37,0	-	4,20	-	4,20	150
Novgorod	55,3	-	7,5	-	0,11	0,11	25
Tver	84,1	3,4	60,6	0,19	1,99	2,18	110
Yaroslavl	36,4	100,0	100,0	3,59	3,38	6,97	300
Total	509,3			33,16	11,01	44,17	

w kolektorze lub pompowania, przekazywany jest do odbiorcy i po termalnym wykorzystaniu jest zrzucany do naturalnych lub sztucznych zbiorników i cieków. Ta technologia wykazuje istotne braki, szczególnie o ekologicznym i złożowym charakterze. Ta technologia nie ma szerszych perspektyw w eksploatacji energetycznej.

Technologia cyrkulacyjna - geotermalne systemy cyrkulacyjne 3 typów: z naturalnymi przepuszczalnymi kolektorami, ze sztucznie stworzonymi kolektorami w słabo przepuszczalnych skałach oraz z cyrkulacją w otworach.

Geotermalny system cyrkulacyjny (GCS) na bazie naturalnych kolektorów. Cały technologiczny kompleks geotermalnych projektów wydobywczo-energetycznych lub system dostaw ciepła geotermalnego może składać się z kilku podsystemów (fig. 1): moduły geotermalnych systemów cyrkulacyjnych w skład, których wchodzi zamknięte podziemne i powierzchniowe obwody na bazie 2 (3) otworów; dodatkowy kocioł podgrzewający (paliwowy lub elektryczny); termotransformatory (pompy termalne), główne grzewcze sieci przesyłowe

Cyrkulacyjna technologia eksploatacji zasobów geotermalnych z naturalnych osadowych kolektorów jest z powodzeniem stosowana we Francji, przemysłowo praktykowana w Niemczech, na Ukrainie (Krym), w Danii, Szwecji, USA, Polsce, Rosji (Czeczenia, Dagestan) itd. [5,9,14,17,21]

Cyrkulacyjna technologia wydobycia ciepła wnętrza Ziemi przy tworzeniu sztucznych kolektorów jest ciągle w fazie badań. Główny udział w indywidualnych dostawach ciepła do małych mieszkań i komunalnych obiektów gospodarskich jest reprezentowany przez technologię stosującą cyrkulację nośnika ciepła wewnątrz obudowy rurowej w otworach geotermalnych. Projekt geotermalny jest wydobywczo-energetycznym systemem ściśle połączonym z odbiorcą. Część parametrów tego wydobywczego kompleksu może być dostarczona bezpośrednio, a inne są ustalane wg różnych zależności funkcjonalnych. Bezpośrednie obliczenia w połączeniu z dużą ilością wzajemnie oddziałujących naturalnych, technicznych, energetycznych, ekonomicznych i socjalnych czynników z reguły prowadzi w rezultacie do nieoptymalnych i w konsekwencji nieefektywnych rezultatów.

Stworzona przez autora [4,7,12] pierwsza na świe-

extensive power.

Circulation technology includes geothermal circulation systems of three types: natural permeable collectors, artificially created collectors in weak permeable rocks, and circulation in wells.

Geothermal circulation system (GCS) on the basis of natural collectors. All technological complexes of the geothermal mining-power enterprise or system (station) of a geothermal heat supply (SGHS) can consist of several subsystems (Fig. 1). Modules of the GCS include: closed underground and superficial contours on the basis of two (three) wells; an additional heating-up boiler (fuel or electrical); thermotransformers (thermal pumps); and main heating lines and thermal pipeline networks of the consumer.

Circulation technology is successfully used in the development of geothermal deposits with natural collectors in France and is industrially practised in Germany, the Ukraine (Crimea), Denmark, Sweden, USA, Poland, Russia (Thethenja, Dagestan), etc. [5, 9, 14, 17–21].

The circulation technology of mining of interior heat and the creation of artificial collectors has not yet got past the stage of demonstration by experienced.

Circulation of the heat carrier within the casing pipes of geothermal wells is of interest for individual heat supply of small housing and communal-household facilities.

The geothermal enterprise is a mining-power system closely interconnected to the consumer. Some of the parameters of this mining complex can be given directivity, and others are determined based on functional dependencies. The direct accounts, in connection with a plethora of interacting natural, technical, power, economic and social factors, usually result in non-optimal and consequently inefficient variants.

Created first by Boguslavsky [4, 7, 12] in the world scientific practice, models imitating geothermal enterprises represent the mathematical description of technological processes, and the economy of construction and operation of GE on the basis of transformation of known and new (devised by the author and by his colleagues) methods of calculation, and also on the basis of approximation design, actual and experimental data.

cie naukowa praktyka projektowania przedsięwzięć geotermalnych charakteryzuje się matematycznym określaniem procesów technologicznych, ekonomiki konstrukcji i wdrażania przedsięwzięć geotermalnych na bazie transformacji znanych oraz wynalezionych przez autora i jego kolegów nowych metod kalkulacji, a także na bazie faktycznych i eksperymentalnych danych. Modele funkcjonują na na bazie operacji na zmiennych i zewnętrznych czynnikach, do których nawiązuje hierarchiczna struktura tego modelu z funkcją w głównej części. Tak więc na szczycie modelu umiejscowione są niezależne bloki, których funkcja opisuje pewien okres kalkulacji technologicznych lub ekonomicznych procesów (np. blok hydrodynamiczny, wymiany ciepła, inwestycji, biznesplan, itp.) Jako nadrzędny może być wybrany czynnik ekonomiczny, konstruktywny, technologiczny lub energetyczny parametr.

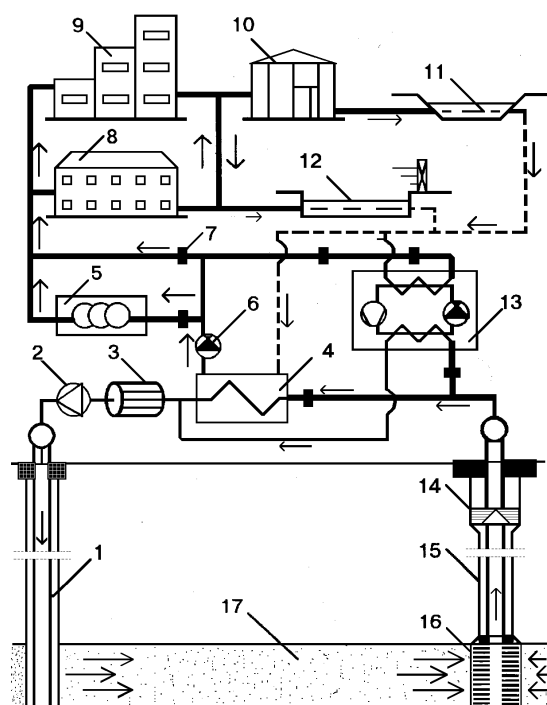
Zapisaane jako algorytm i wykonane z pomocą programów komputerowych modele pozwalają wykonać serie eksperymentów, podczas których modele imitują funkcjonowanie projektów geotermalnych stosownie do zewnętrznych, aktywnych warunków i ograniczeń. Zwykle na konstrukcyjne i technologiczne parametry systemu dostarczania ciepła geotermalnego wpływ wywiera około 150 czynników. Dlatego więc odpowiednia ocena korzyści projektowania i konstrukcji systemu dostarczania ciepła geotermalnego, a także szacowanie zasobów geotermalnych jest możliwe tylko w oparciu o optymalne ustalenie parametrów. Przedmiotem zainteresowania jest

The models function by the principle of searching for the response to change of controlling variable and external conditions, to which there corresponds a hierarchical (tree-like) structure with the criterion function at the top. Thus independent blocks are allocated, at the head of which there is a function describing a certain stage of calculation of technological process or economics (for example, block of hydrodynamics, heat exchange, investments, business-plan, etc.). Any economic, constructive, technological or exergy parameter can be chosen as a general variable.

Written down as an algorithm and realized with the help programs on a personal computer, the models allow us to carry out, by automatic sorting of variants, controlled series of experiments, during which the model functions similarly to a GE according to external working conditions and restrictions.

In general, about 150 factors influence the construction and technological parameters of an SGHS. Therefore adequate estimation of the viability of a projection and construction of an SGHS, and also development of geothermal resources, is possible only with an optimum level of definition of parameters of such stations.

The interest represents an opportunity to realize the rather integrated forecasts in view of their reliability and degree of influence of the geological-geothermal factors on technological and economic parameters. With this purpose, step-by-step multifactor regressive analysis,



Ryc. 1. Podstawowy plan systemu geotermalnych dostaw ciepła przez eksploatację termo-wodonośnych, przepuszczalnych horyzontów: 1-otwór zrzutowy; 2- pompa ; 3- system oczyszczania wody i gazu i przygotowywania wody; 4- wymienniki ciepła; 5 -kotłownia grzewcza; 6 - pompa sieciowa ; 7 - ;główny grzejnik 8 - pomieszczenia mieszkalne; 9 - obiekty przemysłowe; 10 - chłodnio-cieplarniany kombinat; 11 - basen rybny; 12 - balneologiczny i sportowy kompleks; 13 - pompy ciepłone; 14 - pompy otworowe; 15 - eksploatacyjny otwór; 16 - system filtrów otworowych.

Fig. 1. The basic plan of station (system) of a geothermal heat supply by development of thermo-water-bearing, permeable horizon: 1 - injection borehole; 2 - ground pump; 3 - system of a water-gas-purification and water-preparation; 4 - heats exchanline; 5 - warm up boiler-house; 6 - network pump; 7 - main heatings main; 8 - housing unit; 9 - industrial objects; 10 - hotbed - hothouse combine; 11 - fish holding; 12 - balneological and sport complex; 13 - thermal pumps; 14 - borehole pumps; 15 - mining (waterlifting) borehole; 16 - system of a borehole filters.

możliwość realizacji raczej zintegrowanych prognoz dotyczących stopnia wpływu czynników geologiczno-geotermalnych na parametry technologiczne i ekonomiczne. W tym celu, krok po kroku, zostały wykonane wieloczynnikowe regresyjne analizy. W szczególności podjęto problem inwestycji w konstruowanie systemów dostarczających ciepło geotermalne:

$$K_{\text{crt}} = -0,38 \cdot T_{\text{nn}} - 0,91 \cdot D - 0,026 \cdot m + 0,0147 \cdot H, \text{ mln. \$};$$

Zużycie energii elektrycznej dla własnych potrzeb:

$$E_{\text{crt}} = -8,03 \cdot T_{\text{nn}} + 7,02 \cdot D + 0,231 \cdot m + 0,282 \cdot H [\text{kWh/GJ}]$$

gdzie:

T_{nn} - temperatura warstwy, [$^{\circ}\text{C}$];

D - przepuszczalność skał kolektora, [Darcy];

m - grubość kolektora, [m];

H - głębokość warstw, [m].

W nowoczesnych warunkach rynku kapitałowego problem wprowadzenia nowych technologii powinien być rozwiązany stosownie do międzynarodowych zasad zyskowności analizowanych projektów. To z góry określa konsekwentne włączanie w projektowane plany biznes-planów, które charakteryzują finansową kondycję projektów geotermalnych i określa podstawy propozycji podczas negocjacji z potencjalnymi inwestorami i partnerami.

W branych pod uwagę rynkowych modelach inżynierino-ekonomicznych czynione są przejścia z wcześniej branych pod uwagę kryteriów (koszt, efekt ekonomiczny, itp.) do wariantów inwestycyjnych stosowanych wg innych standartów znanych w świecie ekonomii (aktualne koszty, wewnętrzna stopa zysku, średnia stopa zysku, itp.). Analizy kosztów inwestycji w statystyce (fig.2) pozwoliły określić pozytywne lub negatywne rekomendacje bez zależności od kredytowych uwarunkowań inwestycji, a także finansowej działalności w ramach projektów geotermalnych podczas całego okresu ich działania. Używając rynkowych sformułowań: czyste konto (NPV) i wewnętrzna stopa zysku (IRR), wyrażana jako stopa zysku bankowego, pozwala ocenić finansową kon-

which has enabled us to write down a number of the equations of multiple regression, was executed. In particular, capital investments on construction of SGHS can be written as follows:

$$K_{\text{crt}} = -0.38 \cdot T_{\text{nn}} - 0.91 \cdot D - 0.026 \cdot m + 0.0147 \cdot H [\text{mln. \$}];$$

the specific consumption of electric power for personal needs:

$$E_{\text{crt}} = -8.03 \cdot T_{\text{nn}} + 7.02 \cdot D + 0.231 \cdot m + 0.282 \cdot H [\text{kWh/GJ}]$$

where:

T_{nn} - temperature of a layer [$^{\circ}\text{C}$];

D - permeability of rocks of a collector [darcy];

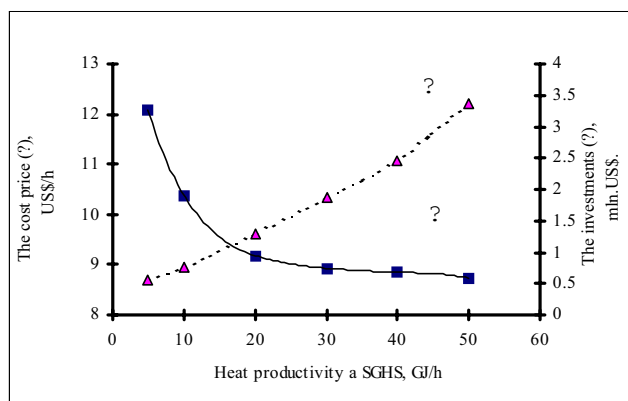
m - thickness of a collector [m];

H - depth of a bedding layer [m].

In modern conditions of the domestic capital market, the problem of introduction of new technologies should be solved according to the international requirements of profitability analysis of the projects offered for investment. This predetermines inclusion in the structure and content of designed plans, and consequently also of the EMM – business – plan, which characterizes the financial conditions of GE for the whole period of operation and forms the basis of offers during negotiations with possible investors and partners.

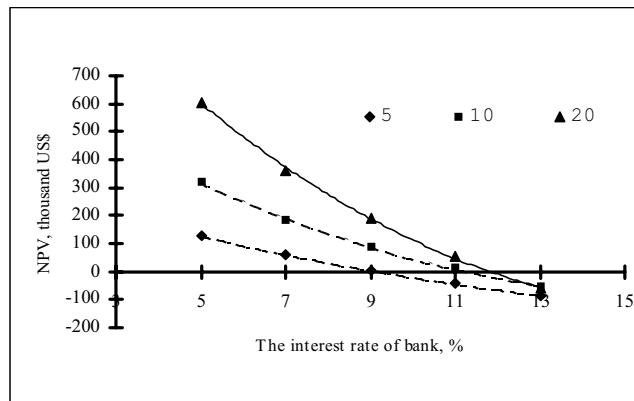
In models taking into account market engineering-economic practice, the transition [13] from earlier used criteria (cost price, economic effect, etc.) to variants of investment on other, standard in the world economy, criteria (clear current cost, internal rate of profit, average rate of profit, etc.) is made.

The analysis of the cost price or capital investments in a static model (fig. 2) allowed positive or negative recommendations to be made without influence from structure and credit conditions of investment, and also financial activity of the GE during the whole term of its operation. The use of market criteria (clear discount cost (NPV) and internal rate of profit (IRR), expressed as the interest rate of the bank (Fig. 3)) allows estimation of financial position, solvency and opportunity to compete



Ryc. 2. Koszty inwestycyjne produkcji ciepła względem objętości SGHS.

Fig. 2. The investments and cost price of delivery of heat versus capacity of SGHS.



Ryc. 3. Skala oprocentowania i produkcji SGHS (GJ/h) względem redukcji kosztów (NPV).

Fig. 3. The interest rate of bank and productivity of SGHS (GJ/h) versus clear discount cost (NPV).

dycję, wypłacalność i możliwość konkurowania na rynku paliw i surowców energetycznych.

Autor stworzył około 10 modyfikacji modeli ekonomiczno – matematycznych dla optymalizacji projektów geotermalnych z naturalnymi i sztucznymi kolektorami, z wykorzystaniem zasobów geotermalnych na potrzeby dostarczania ciepła do obiektów przemysłowych, rolniczych, miejskich budynków komunalnych i produkcji energii elektrycznej w elektrociepłowniach geotermalnych (GeoHEC). Te modele są szeroko stosowane wraz z oceną zasobów geotermalnych, regionalnych i państwowych prognoz, dla opracowań zdolności wykonawczej projektów itp.

Szczegółowa analiza innych koncepcji strategii eksploatacji złóż termalnych wnętrza Ziemi jest związana z przemysłowymi problemami rozwoju bazy energetycznej i paliwowej i wymaga odrębnego rozważenia.

Tłumaczył Tomasz Ligenza

LITERATURA

1. Boguslavsky E.I., 1980. Geothermal resources of USSR. Physical processes of Mining. L., Iss. 12, p. 17-21.
2. Boguslavsky E.I., 1980. Methodical principles geological - economic estimations of thermal resources of an entrails . The economic mechanism of rational utilization and guards of an entrails. Ł., p. 91-94.
3. Boguslavsky E.I., 1981. Geological - economic estimation of thermal resources of an entrails . Problems of biosphere. Ł., iss. 4, p. 100-104.
4. Boguslavsky E.I., 1981. Economic-mathematical modeling of systems of extraction and utilization of heat of the Earth . L., LMI, 105 p.
5. Boguslavsky E.I., 1984. A technical and economic estimation of development of thermal resources of an entrails . Higher school, L., 168 p.
6. Boguslavsky E. I., 1994. The economy of utilization and potential of low-temperature geothermal resources in the regions of the central Russia. Groundwater and Geothermal Energy. Proceedings of Latvian-Danish seminar, Vol. 3. Riga-Copenhagen, p. 265-270.
7. Boguslavsky Emil., 1995. Economic-Mathematical Modelling of Geothermal Circulation systems and Optimization of Their Parameters. Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, Vol. 4, p. 2847-2851.
8. Boguslavsky E.I., 1995. Prospects and problems of development of geothermal resources of Russia. A magazine "Hydraulic engineering construction" , 16, p. 11-14.
9. Boguslavsky E.I., 1995. An Estimation of technical and economic parameters and indices of systems of a geothermal heat supply in various conditions of Russia. An international symposium " Problems of geothermal energy ", Vol. 3, p. 75-88.
10. Boguslavsky E.I., 1996. Prospects of development of geothermal resources of regions of central Russia on a boundary of centuries., Mining manufacture and science on a boundary of centuries. ANS RF, M, p. 179-195.
11. Boguslavsky E.I., Lobanov N.J., 1990. Methodical principles of an economic estimation of ecological advantages of geothermal resources. Problems of ecology and geology in a Baltic and Byelorussia. Vilnius, p. 27-32.

in the fuel and energy raw materials market.

The author has created about 10 modifications of economic–mathematical models for optimization of GE with natural and artificial collectors with utilization of geothermal resources for the needs of a heat supply for industrial, agricultural, housing, and municipal items and production of the electric power on geothermal thermal power stations (GeoHEC). These models are widely used with an estimation of geothermal resources, and regional and state forecasting, for feasibility elaboration, technological regulations, etc.

The detailed analysis of other concepts of the strategy of development of thermal resources of the interior is connected with industrial problems of development of the fuel and energy base and requires separate consideration.

REFERENCES

12. Boguslavsky E.I., Parysky Y.M., Gerasimenko G.N., 1973. Economic-mathematical modeling and optimization of parameters of systems of extraction of heat of the Earth in areas of Northeast USSR. Problems of Mining Heatings physics. L., p. 43-45.
13. Boguslavsky E.I., Tabathenko G.S., 1996. Principles of business - planning at a stage of the Feasibility reports of geothermal systems of a heat supply. SPbSMI (TU), S-Pb, p. 81-87.
14. Chachayev B.N., Pevzner L.A., Samchan I.I., Boguslavsky E.I., Surtckov A.W., 1994. Geothermal technology of low potential and high mineral, ized stratum waters. Magazine Prospecting and guards of an entrails N 1, p. 17-21.
15. Boguslavsky E. I., Vainblat A. B., Dyadkin Y.D., Smyslov A. A., Pevzner L.A., Khakhaev B. N., 1996. Geothermal resources of Russia. International Geological Congress. Beijing, China.
16. Boguslavsky E. I., Vaineblat A. B., Pevzner L. A., Smyslov A. A., Khakhaev B. N., 1995. Development of geothermal resources of Moskow artesian basin. Proceedings of the World Geothermal Congress. Florence, Italy, Vol. 1. p. 601-605.
17. Dyadkin Y.D., 1989. Development of geothermal deposits. Ł., Nedra, 175 p.
18. Boguslavsky E. I., Vaineblat A. B., Dyadkin Y.D. etc., 1991. Map of resources of a geothermal heat supply of territory of USSR. Scale 1:10 000 000. Ministry of Geology of USSR.
19. Boguslavsky E. I., Vaineblat A. B., Dyadkin Y.D. Pevzner L. A., Smyslov A. A., Samchan I.I., Khakhaev B. N., 1996. Resources of a geothermal heat supply., Magazine Prospecting and guards of an entrails, Entrails, 1996, p. 32-37.
20. Boguslavsky E.I., Litvinenko V.S. Design parameters of a geothermal heat supply of regions of central Russia. Session of the International Bureaus of Mining Thermophysics. Gliwice, Poland, 2000, with. 425-436.
21. Boguslavsky E.I. Production and usage of heat of the Earth. Physicochemical geotechnology. The manual. M., issuing MGGU, 2001, with. 583-628.