

Използвана литература

1. IAEA. Status of small and medium sized reactor designs, 201;
2. I. N. Kessides. The future of the nuclear industry reconsidered: Risks, uncertainties, and continued promise. Energy Policy, 48 (2012);
3. J. Vujic, R. M. Bergmann, R. Skoda, Marija Miletic. Small modular reactors: Simpler, safer, cheaper? Energy 45 (2012);
4. Lior N, Energy, exergy and thermo economic analysis of the effects of fossil fuel superheating in nuclear power plants. Energy conversion and management. Vol. 38, 1997;
5. IEA-ETSAP and IRENA© Technology Brief E10 – January 2013;
6. J. I. Burgaleta, A. Ternero, D. Vindel, I. Salbidegoitia, G. Azcarraga, GEMASOLAR, key points for the operation of the plant. SolarPACES 2012];
7. C. Colbert. Overview of NuScale Design. Technical Meeting on Technology Assessment of SMRs for Near-Term Deployment Chengdu, China -- September 2-4, 2013;
8. Solar Millenium (2008). The parabolic trough power plants Andasol 1 to 3 - The largest solar power plants in the world. 2008];
9. Tonopah Solar Energy, LLC, Crescent Dunes Solar Energy Project N-86292, PLAN OF DEVELOPMENT, REV4; 06/03/11;
10. Themoflow Solar Thermal Brochure. August, 2014];

Автори:

1. маг. инж. Ана Бориславова Борисова, ТУ-София, тел. +35929652255, anborisova@gmail.com;
2. проф. д-р инж. Димитър Ангелов Попов, ТУ-София, тел. +35929652303, dpopov@tu-sofia.bg

Анализ и синтез на хибридна геотермална електроцентрала

Ана Борисова, Димитър Попов

В доклада се прави анализ на оптималните технологични параметри на хибридна геотермална ТЕЦ. Параметрите на използвания геотермален флуид съответстват на наличните в страната ресурси. Това налага използването на бинарна структура на централата и органичен флуид като работно тяло. С използването на слънчева топлинна енергия се повишава температурата на топлоносителя. Резултатите от изследването показват, че хибридизацията води до значително подобряване на ефективността. Доказана е необходимостта при оптималното проектиране на централата, да се отчита параметърът използваемост на геотермалния флуид.

Ключови думи: геотермална енергия, бинарна централа, органичен цикъл на Ренкин,

Analysis and synthesis of a hybrid geothermal power plant

Ana Borissova, Dimityr Popov

The presented paper deals with analysis of the parameters of a hybrid geothermal-solar power plant. Geothermal hydrothermal source located in Bulgaria is envisaged. As its temperature is low, binary power plant configuration with Organic Rankine cycle is selected. Solar thermal energy is used for the increase of the brine temperature. As a result of this hybridization, the efficiency and output of the plant is significantly increased. It is proven that the better utilization of the brine is a major factor that has to be taken into account when power plant is designed.

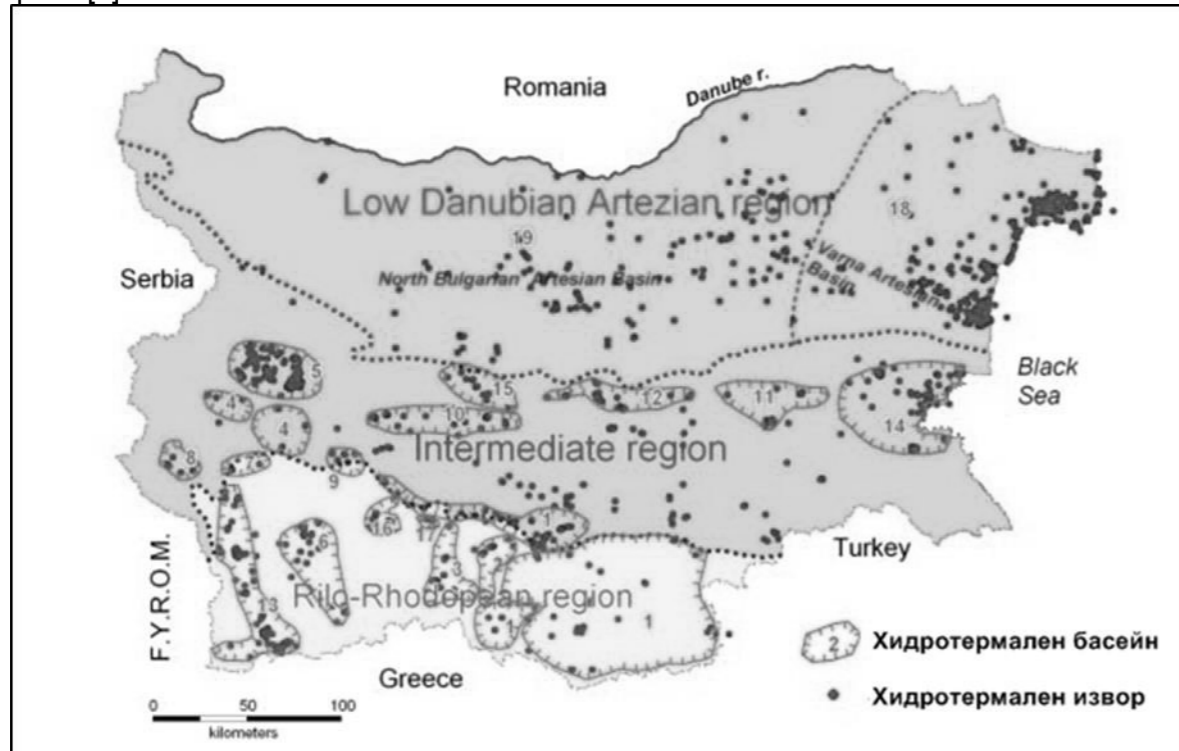
Въведение

Дълбоко под повърхността на Земята непрекъснато се генерира и натрупва огромно количество топлина, известна като геотермална енергия. Този процес протича в резултат на радиоактивен разпад на елементи от земното ядро (уран, торий, калий), както и на движението на земни пластове [1]. В научната общност е установено мнението, че този енергиен източник има потенциал на съществуване милиарди години при редовно използване на топлинната му енергия. Поради тази причина геотермалната енергия се числи към възобновяемите енергийни източници [2]. При това тя няма периодичния или случаен характер на възникване, както е при слънчевата и вятърната енергия. Най-разпространеният метод за утилизация на геотермалната енергия е насочен към усвояване на местата на естествено освобождаване на геотермалната енергия във вид на термални извори – хидротермални източници, или да се сондира за тях. В настоящия доклад се разглежда преобразуването на геотермална енергия в електрическа и ефектите от евентуалната хибридизация със слънчева енергия.

Геотермални ресурси в България

Страната ни е богата на нископотенциални геотермални находища. У нас има над 840 проучени находища с температура до 103°C в около 140 обекта, фиг. 1. Общо в страната са регистрирани 136 броя топли минерални извора с различен дебит и температура. Характерна особеност на термалните ни води е, че те са слабо минерализирани, с малък дебит (0.5 l/s - 478 l/s) и ниска температура (от 20°C до 101.4°C).

Тези характеристики на потенциала предопределят настоящия начин на използване на геотермалната енергия у нас. Горещите геотермални води намират приложение за покриване на здравно–хигиенни нужди, комунално–битови, топлофикационни и промишлени нужди, за климатизация и в селското стопанство. Според проучвания само 18% от геотермалната енергия на България се използва, а едва 6% от минералните ни извори са разкрити [3].



Фиг. 1 Разположение на хидротермалните ресурси на територията на България

Последните по-сериозни проучвания за оползотворяване на геотермалния потенциал на страната са насочени както всички досега, единствено към използването им за отопление. Основен недостатък на отоплителното приложение е ниската използваемост на инсталациите – три-четири месеца годишно. Не са правени проучвания за приложението на геотермалната енергия в електропроизводството. Изхождайки от проведените досега проучвания потенциално подходящи за производство на ел. енергия са няколко находища в нашата страна [4], [5]. Те имат следните температури на термалните води:

- Сапарева баня – 96°C;
- Ерма река – 92°C;
- Велинград – 77°C;
- Сандански - 75°C;
- Левуново - 85°C;
- Рупиите - 85°C.

По-нататък в изследването са разгледани възможностите за използване на геотермалните извори с най-висока температура, тези в Сапарева баня и Ерма река.

Технологии за производство на електричество от геотермална енергия

Геотермалната електрическа централа не се различава в основния си принцип на функциониране от една конвенционална ТЕЦ, т.е. в нея се реализира термодинамичният цикъл на Ренкин. Започва се с улавяне или производство на работно тяло под формата на пари с високо налягане и температура, които задвижват турбина, свързана с

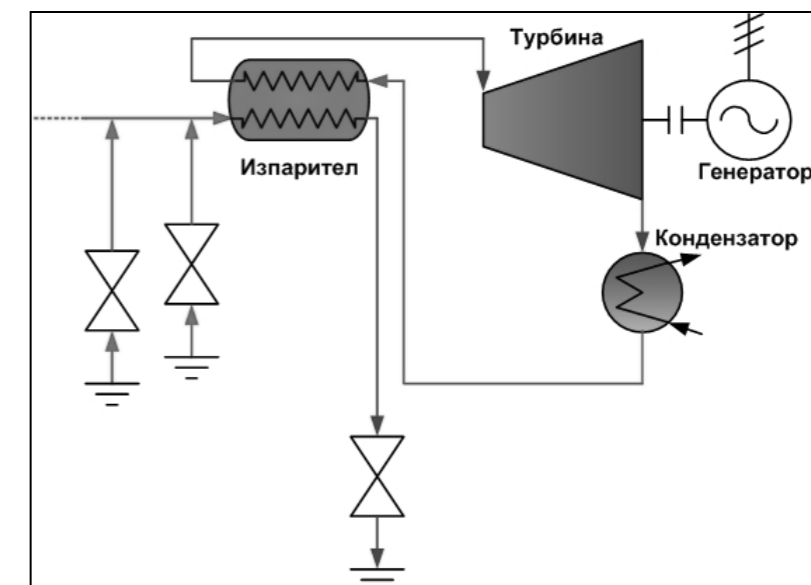
електрогенератор. След това парите се охлаждат и втечняват в кондензатор. Използват се три основни вида системи за преобразуване на геотермалната енергия - системи работещи със суха наситена или прегрята пара, системи с бързо преобразуване на геотермална вода под налягане в суха наситена пара в специален апарат наречен разширител и бинарни системи, както и комбинирани варианти. Първите две са традиционни и широко разпространени в по-старите централи, а бинарните са по-нови технологии и навлизат в употреба през последните години. Изборът на метод се предопределя от температурата и налягането на геотермалния флуид (вода или пара) [6].

В табл. 1 са обобщени технологиите за производство на електрическа енергия според температурата флуида на повърхността на хидротермалното находище.

Таблица 1 Геотермални технологии за производство на електрическа енергия

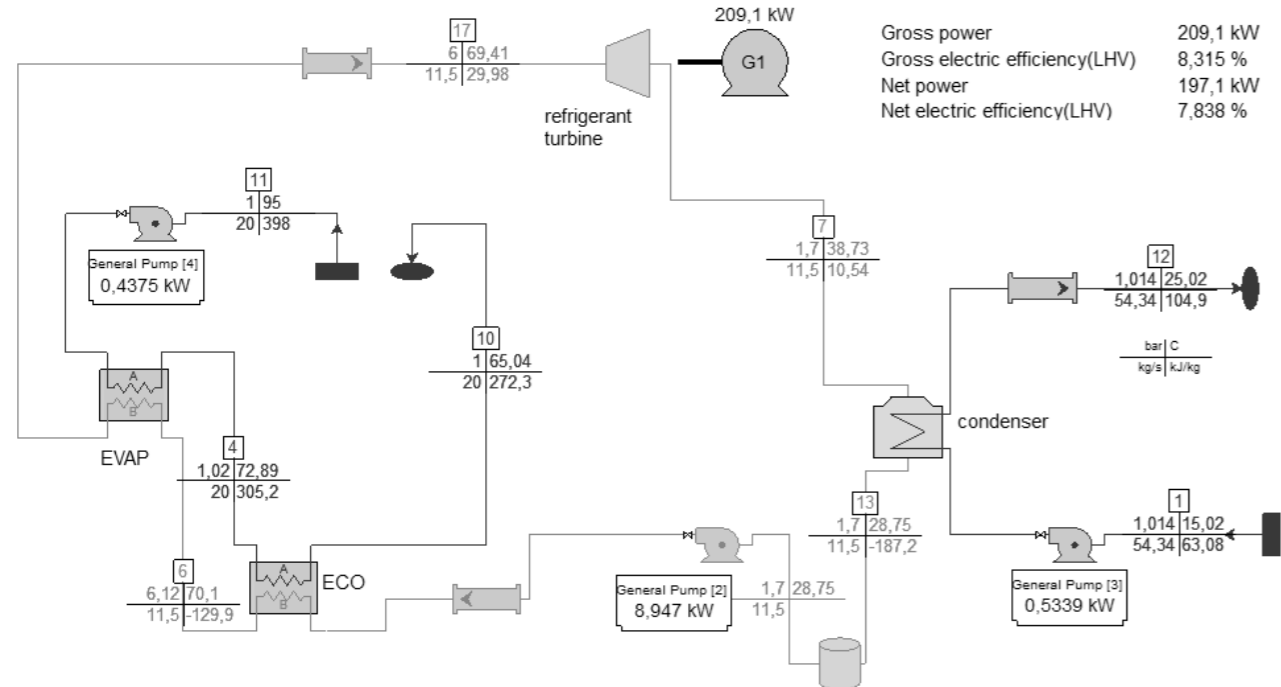
Температура	Технология за производство на електрическа енергия
Над 180°C (пара)	Геотермална централа с парна турбина
150-200°C (вода)	Геотермална централа с разширител с едно ниво на налягане
200-230°C (вода)	Геотермална централа с разширител с две нива на налягане
Под 150°C (вода)	Геотермална бинарна централа

Предвид геотермалния потенциал на страната ни, като най-подходяща технология е оценена бинарна такава, при която централата има принципната топлинна схема показана на фиг. 2. Бинарните геотермални ТЕЦ използват двуконтурна технология и могат да оползотворят геотермални ресурси с вода с температура по-ниска от 100°C. Работят на основата на органичен цикъл на Ренкин. Водата от геотермалния резервоар, представляваща първия флуид в системата, се изпомпва до повърхността, преминава през топлообменник (изпарител), където загрева и изпарява втори флуид, и след това се инжектира обратно в резервоара. За вторичен се подбира подходящ органичен флуид с ниска температура на кипене, например 30°C при атмосферно налягане. Когато напусне изпарителя, бинарният флуид е в газообразно състояние с високо налягане и се използва за задвижване на турбина. След като напусне турбината, постъпва в кондензатор и се втечнява преди да се насочи отново към изпарителя. Бинарните системи не използват пряко геотермалния флуид в електрогенериращите части. Така рискът от корозия и замърсяване е по-малък.



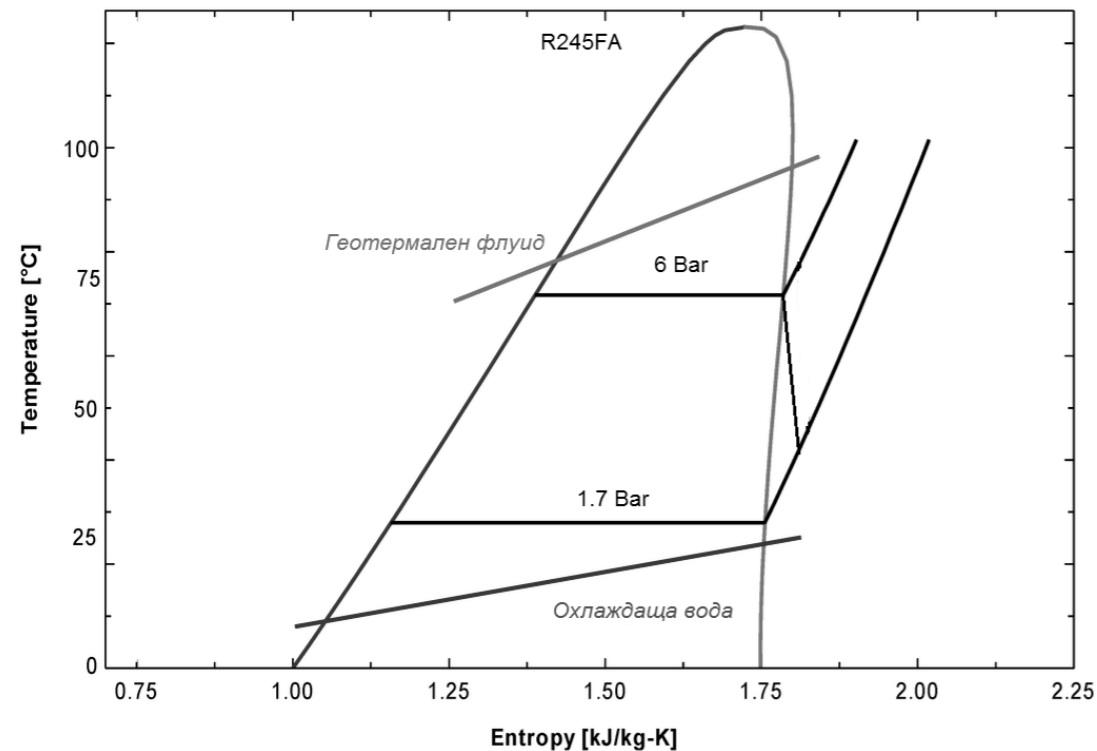
Фиг. 2 Принципна топлинна схема на бинарна геотермална централа

В предходна публикация по темата е извършен анализ и синтез на бинарна геотермална централа с помощта на софтуерния продукт Thermoflex на фирмата Thermoflow Inc.,



Фиг. 3. Модел на бинарна геотермална ТЕЦ в симулационна среда Thermoflex

В изчислителната схема показана на фиг. 3 е използван флуид, който много често се прилага като хладилен агент - пентафлуоропропан ($C_3H_3F_5$). Той е повече известен с наименованието R245FA. Парогенераторът се състои от две основни части – економайзер и изпарител. Тъй като температурата на топлоносителя (геотермалната вода) е ниска, е сметнато за ненужно, получените пари да се прегряват.

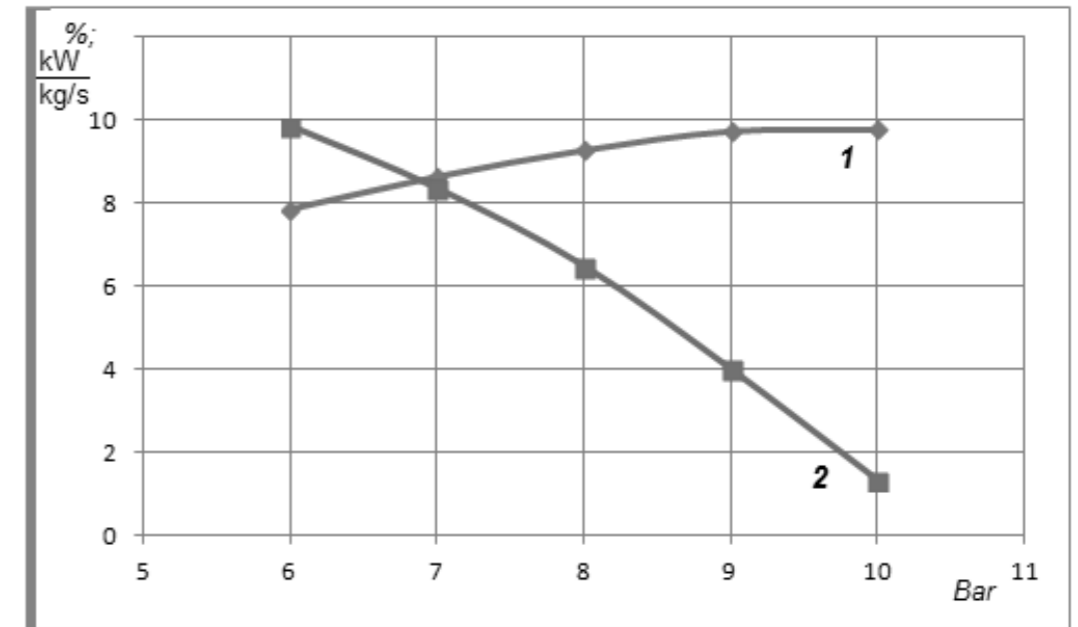


Фиг. 4. Органичен цикъл на Ренкин с пентафлуоропропан

Още повече, че както се вижда от T-S диаграмата показана на фиг. 4., поради спецификата на работното тяло, разширението на сухите наситени пари в турбината протича в прегрята област, т.е. всички нейни стъпала работят с прегрети пари. С това, повечето органични флуиди се различават от водната пара, която при разширението си се овлажнява и това именно е една от причините винаги, когато е технически възможно да се прилага прегряване.

С така разработения симулационен модел бяха извършени вариантни пресмятания на топлинните и масовите баланси на елементите на инсталацията. За базисни (неизменни) бяха приети параметрите на геотермалния флуид и температурата на охлаждащата вода. Дебитът и температурата на геотермалния флуид бяха съобразени с параметрите на известните до момента геотермални находища в страната, а именно – дебит 20 kg/s, температура 95°C.

Налигането на работното тяло на входа в турбината се изменяше от 6 до 10 bar, при постоянно налягане на изхода 1.7 bar. Минималната температурна разлика на флуидите в топлообменниците се поддържаше около 3°C. Както можеше и да се очаква, повишаването на началното налягане на термодинамичния цикъл водеше и до повишаване на нетния електрически к.п.д. на паротурбинната инсталация. Успоредно с това обаче се отчете и увеличаване на температурата на геотермалния флуид на изхода от инсталацията. С други думи, увеличаването на налягането на произвежданата пара водеше до по-ниска използваемост на геотермалната енергия. Резултатите от този анализ са показани на фиг. 5.



Фиг. 5 Влияние на изменението на началното налягане върху: 1 – нетния електрически к.п.д. на инсталацията, %; 2 – използваемост на геотермалния флуид, kW/kg/s.

Използваемостта на геотермалния флуид е оценявана с параметъра специфично производство n_0 , пресмятан с израза:

$$n_0 = N_{ел.} / D_0 \text{ kW/kg/s;}$$

където: $N_{ел.}$ е произвежданата мощност, а D_0 е дебитът на геотермалния флуид.

Както е известно, по-голямата част от първоначалните инвестиции при изграждането на геотермалните ТЕЦ се изразходват за построяване на добивните съоръжения. С оглед на това, по-добрата използваемост на геотермалната енергия може да има по-голяма тежест

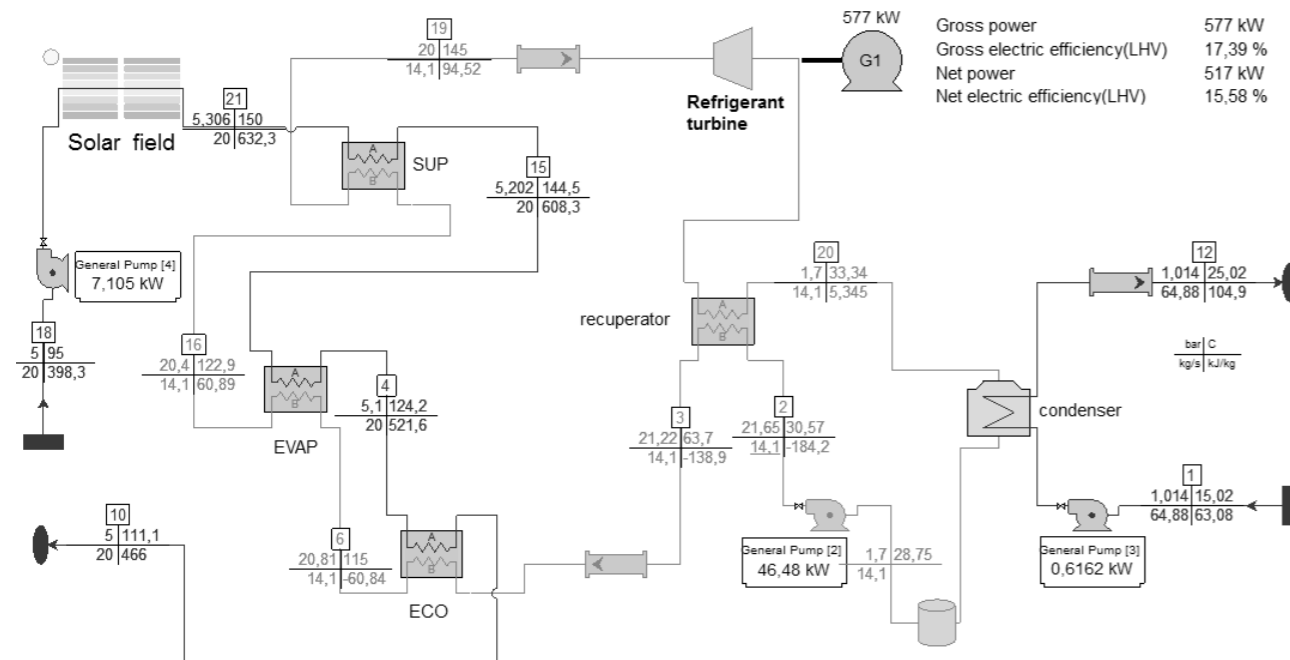
при избора на оптималните параметри на цикъла, отколкото термодинамичната ефективност.

По-нататък в изследването се търси подходящо решение за подобряване на технико-икономическите показатели чрез хибридизация. Възможни варианти за това са използване на биомаса или слънчева енергия за повишаване на термодинамичните параметри на геотермалния флуид. Изследвана бе хибридизация със слънчева енергия. Тъй като в библиотеката с елементи на използвания програмен продукт липсваха плоски слънчеви топлинни колектори за подгряване на вода, бе разгледана хибридизация с френелови колектори.

Линейните френелови колектори използват тънки огледални ивици вместо параболични огледала. Те концентрират слънчевата енергия в тръби с работен флуид. Тази технология има предимството, че използва плоски огледала, които са по-евтини от параболично огънатите и така върху една и съща площ, за същата цена могат да се поставят по-голям брой рефлектори, позволявайки по-ефективно усвояване на наличната слънчева светлина. Френелови колектори могат да се използват както в големи, така и в малки централи. Докато при параболичните рефлектори на всеки рефлектор има приемник – тръба с топлообменен флуид, то при френеловите системи има един приемник за няколко рефлектора. Това позволява по-голяма мобилност на огледалата по време на следене на слънцето [7].

Синтез на хибридна геотермална електроцентрала

При синтезирането на изчислителния модел на хибридна централа се търсеше подобряване на технико-икономическите показатели на органичния цикъл на Ренкин чрез повишаване на параметрите на произвежданата пара. За тази цел се повишаваше температурата на геотермалния флуид чрез нагряването му в слънчеви колектори, фиг. 6.



Фиг. 6. Модел на хибридна геотермална електроцентрала с Френелови колектори

С така разработения симулационен модел бяха извършени вариантни пресмятания на топлинните и масовите баланси на елементите на инсталацията. За базисни (неизменни) бяха приети параметрите на геотермалния флуид и температурата след подгряването му със слънчева енергия. Дебитът и температурата на геотермалния флуид се равняваха на тези приети в предходния анализ, а температурата след слънчевите колектори бе приета

150°C, т.е. такава че за целта да могат да се използват и обикновени плоски слънчеви колектори.

Налигането на работното тяло на входа в турбината се изменяше от 10 до 18 bar, при постоянно налягане на изхода 1.7 bar. Минималната температурна разлика на флуидите в топлообменниците се поддържаше също както в предишния случай около 3°C. Основните резултати от пресмятанията са показани в табл. 2.

Таблица 2.

P_0 , Bar	T_0 , °C	G_0 , kg/s	к.п.д.	Q , kW;	Q_S , kW;	Q_G , kW;	$N_{ел}$, kW	T_{GF}
10	89,74	33,4	10,87	7340	4674	2666	797,5	63,22
12	97,66	30,3	11,8	6744	4674	2070	795,7	70,34
14	104,6	27,4	12,53	6163	4674	1489	772,1	77,27
16	110,9	24,5	13,11	5558	4674	884	728,6	84,48
18	116,6	22	13,57	5027	4674	353	682,3	90,79

Както и в базисния случай (само геотермална централа), повишаването на началните параметри на термодинамичния цикъл (налягане и температура P_0 , T_0) водеше и до повишаване (при това съществено) на нетния електрически к.п.д. на паротурбинната инсталация. При това обаче, и тук се наблюдава увеличаване на температурата на геотермалния флуид T_{GF} на изхода от инсталацията. С други думи, увеличаването на налягането на произвежданата пара водеше до намаляване на използваната геотермалната енергия Q_G . Тъй като добавяната слънчева енергия Q_S бе постоянна величина, използваната топлинна енергия в цикъла Q също намаляваше, което доведе и до намаляване на произвежданата ел. мощност $N_{ел}$.

По-нататък в табл. 3 за сравнение са представени резултати от моделирането на геотермална и хибридна ТЕЦ. В допълнение към базисните изходни параметри описани по-горе, и за двата варианта е прието да имат една съща използваемост на геотермалния ресурс – температурата за вода на изхода от инсталацията е фиксирана на 65°C.

Таблица 3.

Централа	P_0 , bar	T_0 , °C	G_0 , kg/s	к.п.д.	Q , kW;	Q_S , kW;	Q_G , kW;	$N_{ел}$, kW
геотермална	6	69,41	11,5	7,84	2514	0	2516	197,1
хибридна	10	89,74	32,7	10,87	7190	4675	2515	781,3

Използването на допълнителен източник на топлина (в случая Q_S) от хибридна централа, дава възможност съществено да се повиши дебитът на работното тяло G_0 през турбината. Това от своя страна води до отнемане на повече топлина в економайзера, респ. до понижаване на температурата на геотермалния флуид на изхода от централата. При геотермалната централа тъй като дебитът на работно тяло е малък, това се постига с намаление на началното налягане (P_0). При хибридна централа понижаването на температурата на геотермалния флуид на изхода от централата може да се постигне при по-високи начални параметри на термодинамичния цикъл (налягане и температура P_0 , T_0), което от своя страна води и до съществено повишаване на нетния електрически к.п.д. и на произвежданата мощност.

Изводи

Проведените изследвания дават основание да се заключи, че хибридизацията на геотермалната ТЕЦ с използване на слънчева енергия води до съществено подобряване на условията за протичане на термодинамичния цикъл. При оптимизацията на технико-икономическите показатели на етап проектиране на централата обаче е нужно да се отчита влиянието на параметрите на свежата пара върху използваемостта на геотермалната енергия.

Благодарности

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са извършени в изпълнение на научно-изследователски проект в помощ на докторанти № 151ПД0011-02.

Литература:

1. Kreith F., D. Y. Goswami Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy, Taylor and Fransis Group, 2007.;
2. Ghosh, T. K., M. Prelas Energy Resouses and Systems, vol. 2 Renewable Resources, Springer, 2012;
3. Българска Геотермална Асоциация, Термалните води в България – ресурси и експлоатация 2009;
4. COWI, ЕкоПро Консулт – Предварително проучване за изграждане на геотермална отоплителна централа в Сапарева баня, Министерство на Енергетиката и Енергийните ресурси, юни 2005;
5. COWI, ЕкоПро Консулт – Предварително проучване за изграждане на геотермална отоплителна централа в Златоград на база геотермално находище Ерма река, Министерство на Енергетиката и Енергийните ресурси, юни 2005;
6. Динкова, В. Геотермална енергия – Решения от недрата на Земята, сп. Енергия, брой 6, 2012;
7. Про Еко Строй - Концентриране на слънчевата енергия – Ключови технологии на 21 век, сп. Енергия, брой 2, 2011.

Автори:

1. маг. инж. Ана Бориславова Борисова, ТУ-София, тел. + 35929652255, anborisova@gmail.com;
2. проф. д-р инж. Димитър Ангелов Попов, ТУ-София, тел. + 35929652303, dpopov@tu-sofia.bg

Simulation and analyses of combined power plant integrated with thermal inter cooling

Mohammed Q. Jabbar

Abstract

The present work will be focusing on available solution which can serve to increase a total efficiency of selected model which simulate combined cycle power plant-CCPP. The improvement of operation performance as much as possible will contribute to some extent decreasing of hydrocarbon, CO_x, NO_x emissions to environment. The simulation and calculations were performed by program software Thermo-flex.

Keywords: CCPP, TIC, SIC, Solar energy, cycle efficiency, hydrocarbon emission

Introduction

A combined cycle power plant models had built and mentioned in publication [1] where represent a new project in Iraq which will be in service during next years. The basic design of CCPP was included two conceptual of model, first model configuration included (2GT-3P-PR-2HRSG-ST) and was completely similar to reality, and other second model included (2GT-1P-2HRSG-ST) was proposed by author for comparison of operation performance during certain period. The both models are analyzed there performance when working in design point condition and during seven months. Generally in Iraq during hot weather, the high temperature effect on gas turbine cycle which leads to lack of grid reliability generally occurs during hot weather when we need electric power the most. Some of the reliability problems stem from the aging grid infrastructure and some from the lack of sufficient supply to meet demand from the grid-connected loads (by power plant side). The inefficient operation of new power plant will need to consume more fuel (natural gas, fuel oil, or diesel) per unit of electric energy produced which increase the cost, hydrocarbon emission due to operating old power plant (old unit) to compensate energy loss. Therefore paper had investigate in opportunity to decrease the effect of hot weather on power plant, though using an acceptable method which available to apply on model. The new integration with available thermal inter cooling (TIC) was proven and tested through simulation calculation of operating model during available parameters. The utilizing of solar potential energy in the specific close cycle that include components such as chiller and solar panels, succeed to chilled air before inter compressor from 43 °C to 10 °C which effected on gas turbine cycle and boosting output power. Figures -1 and 2 described both models and TIC system [7, 5].