



## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИБРИДНОЙ ГЕЛИО-ГЕОТЕРМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Б.Д. Гемечу, В.И. Шарапов

Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск, Россия

**Резюме:** В данной работе представлена оценка энергоэффективности гибридной гелио-геотермальной электростанции с учетом геотермального ресурса одной из продуктивных скважин (ТД4) и прямого солнечного излучения на геотермальном поле Тендахо (англ. Tendaho) в Эфиопии. Для оценки выработки энергии в гибридной солнечной-геотермальной электростанции разработана термодинамическая модель геотермальной электростанции с системой одноступенчатого разделения пара, интегрированной с параболическим концентратором установки солнечного нагрева. В гибридной электростанции солнечной энергии используется для перегрева геотермального пара, чтобы получить больше энергии, прежде чем он расширяется в турбине. Выполнен термодинамический анализ, основанный на принципах сохранения массы и энергии, для оценки эффективности гибридной электростанции в заданных условиях геотермального поля Тендахо. Также выполнен анализ качественного показателя, для того чтобы оценить, может ли гибридная электростанция вырабатывать больше энергии, чем две автономные электростанции, а именно солнечная и геотермальная электростанция, которые составляют гибридную электростанцию. Результаты показали, что гибридная электростанция технически и экономически превосходит две автономные электростанции. Благодаря интеграции двух энергетических ресурсов, гибридная электростанция может генерировать 7158 кВт электроэнергии, т.е. больше, чем сумма двух автономных электростанций (геотермальной и солнечной).

**Ключевые слова:** Эфиопия, геотермальная энергия, солнечная энергия, геотермальные поля, геотермальная разведка, параболический концентратор, Концентрированная солнечная энергия, гибридная электростанция.

**Для цитирования:** Гемечу Б.Д., Шарапов В.И. Оценка энергетической эффективности гибридной гелио-геотермальной электростанции // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т. 21. №4. С. 3-11. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-4-3-11.

## ENERGY EFFICIENCY ASSESSMENT OF HYBRID SOLAR-GEOTHERMAL POWER PLANT

BD. Gemechu, VI. Sharapov

Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia

**Abstract:** An assessment of the energy efficiency of a hybrid solar-geothermal power plant is performed taking into account the geothermal resource of one of the productive well (TD4) and the direct normal irradiance at Tendaho geothermal site in Ethiopia. A thermodynamic model of a single-flash geothermal plant integrated with a parabolic trough concentrated solar power system is developed to estimate the energy production in a hybrid solar-geothermal power plant. In the hybrid power plant, the parabolic trough concentrated solar power system is employed to superheat the geothermal steam in order to gain more energy before it expands in the turbine. Thermodynamic analysis, based on the principles of mass and energy conservation, was performed to assess the efficiency of the hybrid power plant at the given conditions

of Tendaho geothermal site. A figure of merit analysis was also employed to evaluate whether a hybrid power plant could produce more power than two stand-alone power plants namely the solar and geothermal power plants that constitute the hybrid power plant. Results showed that the hybrid power plant technically outperformed the two stand-alone power plants. By integrating the two energy resources, the hybrid power plant proved to generate 7158 kW of electricity which is larger than the sum of the two stand-alone power plants (geothermal and solar).

**Keywords:** Ethiopia, geothermal energy, solar energy, geothermal power plant, parabolic trough collector, concentrated solar power plant, hybrid powerplant, efficiency, figure of merit.

**For citation:** Gemechu BD, Sharapov VI. Energy efficiency assessment of hybrid solar-geothermal power plant. *Power engineering: research, equipment, technology*.2019; 21(4):3-11. (In Russ). doi:10.30724/1998-9903-2019-21-4-3-11.

## Введение

Человеческий вклад в глобальное потепление порождает проблему энергетической безопасности, одним из решений которой является использование существующих энергетических ресурсов и разработка экологически чистых источников энергии.

Возобновляемые источники энергии являются перспективным решением, благодаря их потенциалу, для обеспечения устойчивости и экологичности [1, 2]. В то же время каждый энергетический ресурс имеет свои преимущества и недостатки. Например, геотермальные электростанции, как правило, имеют более низкую эффективность преобразования энергии, чем обычные тепловые электростанции. Это связано со многими факторами, включая низкий потенциал геотермальной жидкости, высокое содержание неконденсируемого газа, высокие потери энергии после разделения и высокую паразитную нагрузку. На основании оценки, сделанной [3] на 94-х геотермальных электростанциях со всего мира, средняя эффективность преобразования геотермальных установок составляет 12 %. Следовательно, гибридизация таких энергетических ресурсов с более высокими энергетическими ресурсами может компенсировать недостатки геотермальной электростанции.

Цель данного исследования заключается в применении гибридной концепции комбинирования использования геотермальной энергии и гелио-энергии применительно к геотермальному полю *Tendaho*. В предлагаемой гибридной концепции геотермальный ресурс является поставщиком насыщенного пара, а солнечный ресурс позволяет перегреть геотермальный пар и, как следствие, увеличить мощность турбины гибридной системы.

Геотермальное поле *Tendaho* расположено в северо-восточной части Эфиопии, на 11°38' северной широты и 41°00' восточной долготы [4]. Оценки продуктивности двухфазных геотермальных скважин показали, что скважины *TD4*, *TD5* и *TD6* являются продуктивными (табл. 1). В дополнение к геотермальной энергии, поле также обладает значительным потенциалом солнечной энергии. Поле получает более чем 5,2 кВтч/м<sup>2</sup>/сутки [5 - 7] среднегодового прямого нормального излучения, которое делает это поле подходящим для солнечных установок с технологиями концентрированных солнечных электростанций (КСЭ) и для совместного комплексного использования солнечной и геотермальной энергии.

Таблица 1

Геотермальные энергетические ресурсы на *Tendaho* [6]

Скважины	Расход геотермальной жидкости, кг/с	Устьевое давление, бар	Энтальпия геотермальной жидкости, кДж/кг
<i>TD4</i>	50,4	14,4	1065
<i>TD5</i>	19	18	1267
<i>TD6</i>	37	5,4	975

## Методы

Модель солнечной электростанции, рассмотренная в этом исследовании, состоит из параболических коллекторов, аккумулятора тепловой энергии, питательного насоса и

основных компонентов паровой электростанции: испарителя/теплообменника, турбины, конденсатора и питательного насоса [8-10].

Номинальный КПД силового цикла гелио-электростанции рассчитывается как

$$\eta_{\text{сл}} = \frac{N_{\text{сл}}}{Q_{\text{сл}}}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{сл}}$  – солнечная тепловая энергия, подаваемая в силовой блок, кВт;  $N_{\text{сл}}$  – валовая мощность турбины, кВт. Тепловая энергия, передаваемая пару перед турбиной, эквивалентна чистой тепловой энергии, подаваемой системой коллекторов солнечной энергии.

Чистая тепловая энергия [10], подаваемая в силовой цикл коллекторами солнечной энергии, рассчитывается как

$$\dot{Q}_{\text{сл}} = S_{\text{кл}} (I_b \eta_{\text{ор}} \cos(\varphi) - q), \quad (2)$$

где  $S_{\text{кл}}$  – общая площадь солнечных коллекторов, м<sup>2</sup>;  $I_b$  – прямое перпендикулярное солнечное излучение, кВт/м<sup>2</sup>;  $\eta_{\text{ор}}$  – оптическая эффективность солнечного поля;  $\varphi$  – угол падения солнечного излучения ( $\varphi = 0^\circ$ );  $q$  – общие теплотери в окружающую среду на м<sup>2</sup> общей площади коллектора.

Используя выражения 1 и 2, валовая мощность турбины  $N_{\text{сл}}$ , вырабатываемая концентрированной солнечной электростанцией, определяется по формуле

$$N_{\text{сл}} = S_{\text{сл}} (I_b \eta_{\text{ор}} \cos(\varphi) - q) \eta_{\text{сл}}. \quad (3)$$

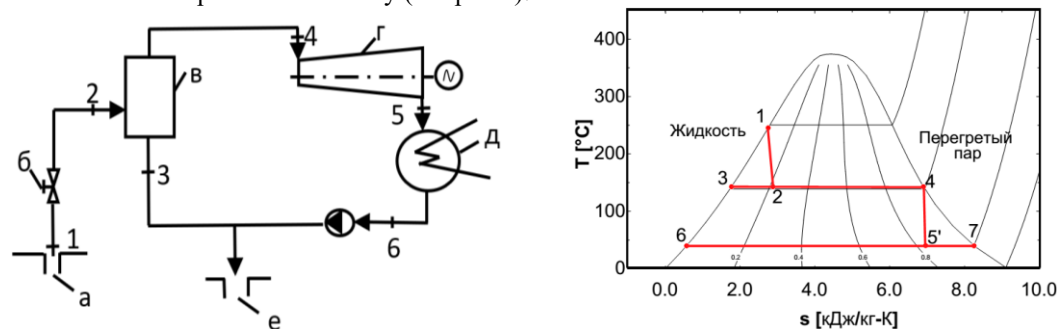
Основные исходные данные, используемые в моделировании гелио-электростанции, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные исходные данные для моделирования гелио-электростанции

Прямое солнечное излучение	216,08 Вт/м <sup>2</sup>
Тип коллекторов	<i>EuroTough ET150</i>
Оптическая эффективность солнечного поля	0,767705
Блок турбогенератора	<i>SEGS 80</i> с сухим охлаждением
Номинальный КПД паросилового блока	0,3774

Автономная геотермальная электростанция содержит эксплуатационную скважину, из которой геотермальная жидкость направляется в сепаратор для разделения на пар и рассол; турбину, где происходит расширение пара; конденсатор, в котором отработанный пар конденсируется и направляется в нагнетательную скважину, откуда конденсат и рассол закачиваются обратно в скважину (см. рис 1).

Рис. 1. Принципиальная схема геотермальной электростанции и  $T$ – $S$  диаграмма пара:

$a$  – эксплуатационная скважина;  $b$  – дроссельный клапан;  $v$  – сепаратор;  $z$  – турбина;  $d$  – конденсатор;  $e$  – нагнетательная скважина; 1 – точка при давлении устья скважины; 2 – точка на входе в сепаратор; 3 – точка при давлении разделения и  $x=0$ ; 4 – точка на входе в турбину; 5 – точка на выходе из турбины; 5' – точка при идеальной энтальпии отработанного пара и давлении конденсации; 6 – точка на выходе из конденсатора

Массовая доля сухого насыщенного пара  $x$  в геотермальной жидкости определяется по формуле

$$x = \frac{i_2 - i_3}{i_0 - i_3}. \quad (4)$$

Расход пара  $D_n$ , кг/с, разделенного в сепараторе, рассчитывается как

$$D_n = x D_{гж}, \quad (5)$$

где  $i_2$  – энтальпия геотермальной жидкости, кДж/кг;  $i_3$  – энтальпия рассола, кДж/кг;  $i_o$  – энтальпия пара на входе, кДж/кг;  $D_{гж}$  – расход геотермальной жидкости, кг/с.

Идеальная энтальпия отработанного пара на выходе из турбины  $i_{5'}$ , кДж/кг, рассчитывается по формуле [11, 12]

$$i_{5'} = i_6 + (i_7 - i_6) \cdot \left[ \frac{s_4 - s_6}{s_7 - s_6} \right], \quad (6)$$

где  $i_6$  – энтальпия отработанного пара при давлении конденсатора и сухость пара = 0, кДж/кг;  $i_7$  – энтальпия отработанного пара при давлении конденсатора и сухость пара = 1, кДж/кг;  $s_4$  – энтропия пара на входе в турбину, кДж/кг.К;  $s_6$  – энтропия отработанного пара при давлении конденсатора и сухость пара = 0, кДж/кг.К;  $s_7$  – энтропия отработанного пара при давлении конденсатора и сухость пара = 1, кДж/кг.К.

Поскольку пар на входе в турбину является насыщенным, процесс расширения происходит во влажной области. Следовательно, наличие влаги снижает изоэнтروпический КПД турбины. Этот эффект количественно определяется правилом Баумана [11], в котором говорится, что наличие 1 % средней влажности снижает изоэнтропический КПД турбины примерно на 1 %.

Учитывая правило Баумана, энтальпия отработанного пара на выходе из турбины  $i_o$ , кДж/кг, определяется по формуле

$$i_o = \frac{i_4 - 0,425(i_4 - i_{5'}) \cdot \left( 1 - \frac{i_6}{i_7 - i_6} \right)}{1 + \frac{0,425(i_4 - i_{5'})}{i_7 - i_6}}. \quad (7)$$

Таким образом, мощность турбины  $N_{гео}$ , кВт, автономной геотермальной электростанции после расширения насыщенного пара в турбине определяется по формуле

$$N_{гео} = D_n (i_o - i_i) \cdot \eta_{эм}, \quad (8)$$

где  $i_i$  – энтальпии пара на выходе из турбины, кДж/кг;  $\eta_{эм}$  – электромеханический КПД турбогенератора.

Из-за добавления солнечной энергии в геотермальную систему мы предположили 10 % валовой мощности турбины как паразитарную нагрузку для гибридной системы (нагрузку собственных нужд). Поэтому полезная электроэнергия, вырабатываемая автономной геотермальной электростанцией, рассчитывается как:

$$N_{гео} = 0,9 D_n (i_o - i_i) \eta_{эм}. \quad (9)$$

Принципиальная технологическая схема гибридной солнечной геотермальной станции [13] с солнечным перегревом пара показана на рис. 2. Гибридная установка комбинирует геотермальный энергетический цикл с системой солнечного перегрева пара, включающей в себя: перегреватель (или солнечный теплообменник), солнечный коллектор, аккумулятор для хранения и циркуляционный насос. В этой конфигурации геотермальная жидкость направляется в сепаратор, где пар отделяется от насыщенной геотермальной жидкости, далее разделенный пар попадает в блок пароперегревателя, где его температура дополнительно повышается за счет солнечной энергии. Затем тепло преобразуется, по мере расширения пара в турбинной установке, в механическую работу и, в конечном счете, – электричество. Наконец, выхлоп из турбины конденсируется при помощи воздушно-охлаждаемого конденсатора, и потом конденсат направляется в нагнетательную скважину.

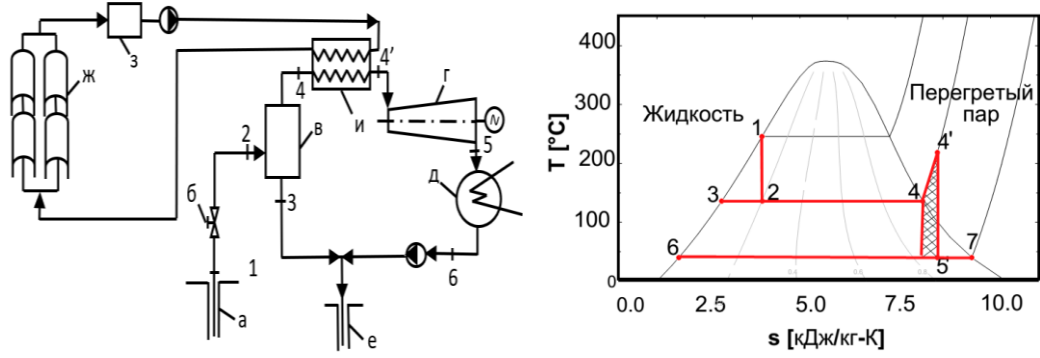


Рис. 2. Принципиальная схема и T-S диаграмма гибридной гелио-геотермальной электростанции:  
 $a$  – эксплуатационная скважина;  $b$  – дроссельный клапан;  $в$  – сепаратор;  $г$  – турбина;  
 $д$  – конденсатор;  $е$  – нагнетательная скважина;  $ж$  – коллекторы;  $з$  – аккумулятор;  $и$  – теплообменник;  
 $1$  – точка при давлении устья скважины;  $2$  – точка на входе в сепаратор;  $3$  – точка при давлении  
разделения и  $x=0$ ;  $4$  – точка на входе в теплообменник;  $4'$  – точка на входе в турбину;  $5$  – точка на  
выходе из турбины;  $5'$  – точка при идеальной энтальпии отработанного пара и давления конденсации;  
 $6$  – точка на выходе из конденсатора

Энтальпия пара  $i_o^{гб}$ , кДж/кг, на входе в турбину, в гибридной системе после добавления солнечной теплоты за счет теплообменника определяется по формуле:

$$i_o^{гб} = i_o + \frac{Q_{сл}}{D_n} . \quad (10)$$

Поскольку пар на входе в турбину в гибридной системе является перегретым, алгоритм, используемый для насыщенного пара, больше не дает правильной выходной мощности. Поэтому здесь применяется подход, близкий к изложенному в работе [14]. Сначала анализируется часть процесса расширения в перегретом регионе с использованием 85 % адиабатного коэффициента. Затем, когда пар входит во влажную область, оставшееся расширение анализируется с использованием тех же уравнений, которые приведены выше (выражения 4–8). Следовательно, алгоритм EES используется, чтобы определить точку, в которой расширение пересекает кривую насыщенного пара. Основная задача заключается в поиске давления, при котором расширение пересекает кривую насыщения, применяя алгоритм до той поры, пока сухой КПД турбины не достигнет 85 %. После определения этого давления мощность турбины  $N_{сух}$ , кВт, для процесса расширения, который происходит в сухой области, рассчитывается как

$$N_{сух} = D_n (i_o^{гб} - i_a) , \quad (11)$$

где  $i_a$  – энтальпия пара, кДж/кг, при давлении, при котором процесс расширения пересекает кривую насыщения, а сухость пара равна 1.

Энтальпия актуального отработанного пара на выходе из турбины  $i_i^{гб}$  рассчитывается с использованием выражений (6) и (7), только вместо точки 4 используется точка  $a$ . Поэтому мощность турбины  $N_{влж}$ , кВт, для процесса расширения, происходящего во влажной области, рассчитывается как

$$N_{влж} = D_n (i_a - i_i^{гб}) . \quad (12)$$

Таким образом, полная мощность турбины  $N_{гб}$ , кВт, в гибридной системе рассчитывается как сумма выходной мощности турбины в сухой и влажной областях. Следовательно,  $N_{гб}$  определяется по формуле

$$N_{гб} = D_n (i_o^{гб} - i_a) + D_n (i_a - i_i^{гб}) = D_n (i_o^{гб} - i_i^{гб}) . \quad (13)$$

Дополнительная мощность  $N_{сл/гб}$ , кВт, вырабатываемая за счет солнечной энергии, добавленной в гибридную энергосистему, представляет собой разницу мощностей гибридной электростанции и автономной геотермальной электростанции:

$$N_{сл/гб} = N_{гб} - N_{гео} . \quad (14)$$

Прирост мощности турбины гибридной электростанции за каждые 1000 кВт добавленной солнечной энергии определяется по формуле

$$\Delta N = \left( \frac{N_{ГБ} - N_{Гео}}{N_{Гео}} \right) \times \left( \frac{1000}{Q_{сл}} \right) \times 100\% . \quad (15)$$

При гибридизации солнечной и геотермальной энергий крайне важно выяснить реальный прирост производства электроэнергии, который может быть получен из тепловой энергии, добавленной в гибридную энергосистему, относительно электроэнергии, которая может быть произведена от такого же количества тепловой энергии в автономной солнечной электростанции. Это помогает определить, насколько выгодно добавить другой энергетический ресурс, чем использовать самостоятельный ресурс. Это увеличение мощности рассчитывается как

$$F = \left( \frac{N_{сл/ГБ} - N_{сл}}{N_{сл}} \right) \times 100\% , \quad (16)$$

где  $N_{сл/ГБ}$  прирост мощности турбины гибридной электростанции за счет добавления солнечной энергии, кВт.

Значение  $F$  меньше нуля показывает, что гибридная система производит меньше электроэнергии, чем может быть произведено автономной электростанцией КСЭ, а  $F$  больше нуля означает, что гибридная система производит больше электроэнергии, чем автономная электростанция КСЭ, используя то же количество тепловой энергии.

Оценка качественного показателя – эта общая методология, используемая для оценки того, может ли гибридная электростанция производить больше электроэнергии, чем две автономные электростанции. Как определено в [15], качественный показатель  $F_{тех}$  – это отношение выходной мощности гибридной электростанции к сумме выходных мощностей автономных электростанций:

$$F_{тех} = \frac{N_{ГБ}}{N_{Гео} + N_{сл}} . \quad (17)$$

В этом определении качественный показатель больше 1 указывает на то, что гибридная система превосходит автономные системы с точки зрения выработки электроэнергии. Основные исходные данные, используемые для оценки, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные исходные данные, используемые для оценки эффективности геотермальной и гибридной гелио-геотермальной электростанций

Энтальпия геотермальной жидкости при давлении в устье скважины $i_{ГЖ}$ , кДж/кг	1065
Расход геотермальной жидкости $D_{ГЖ}$ , кг/с	50,4
Температура разделения, $T_c$ , °C	143
Температура на выходе из турбины $T_o$ , °C	40
Электромеханический КПД турбогенератора $\eta_{эм}$	0,98

### Результаты и обсуждение

Термодинамический анализ для автономной геотермальной электростанции показывает, что при исходных данных мощность турбины оказалась равной 5116 кВт с массовым расходом пара 10,93 кг/с. Однако по мере увеличения количества тепловой энергии от гелиоисточника мощность, производимая гибридной энергосистемой, увеличивается (рис. 4). Увеличение выработки электроэнергии на каждые 1000 кВт тепловой энергии, добавленной в гибридной системе, составило около 411,3 кВт.

Другими словами, процент прироста мощности турбины геотермальной электростанции на каждый 1 МВт добавленной солнечной энергии составляет около 8 %.

Несмотря на то, что этот результат дает информацию о том, какие мощности можно генерировать с использованием гибридной системы, он не предоставляет никакой информации об ее конкурентоспособности по сравнению с двумя автономными геотермальными и солнечными электростанциями.

Результаты анализов для гелио-электростанции и гибридной гелио-геотермальной электростанции

Тепловая энергия, кВт	Мощность гелио-электростанции, кВт	Мощность турбины гибридной гелио-геотермальной ЭС, кВт
0	0	5116*
2000	754,8	5924
3000	1132,2	6336
4000	1509,6	6748
5000	1887	7158
* Этот результат предназначен для автономной геотермальной электростанции		

Затем такая оценка была проведена с использованием показателя оценки по уравнению (17) –  $F_{\text{тех}}$  (рис.3). Как видно из рис. 3, технический качественный показатель больше 1, это означает, что мощность гибридной электростанции больше суммы мощностей гелио-электростанции и автономной геотермальной электростанции. Значение  $F_{\text{тех}}$  увеличивается по мере увеличения количества тепловой энергии от гелиоисточника.

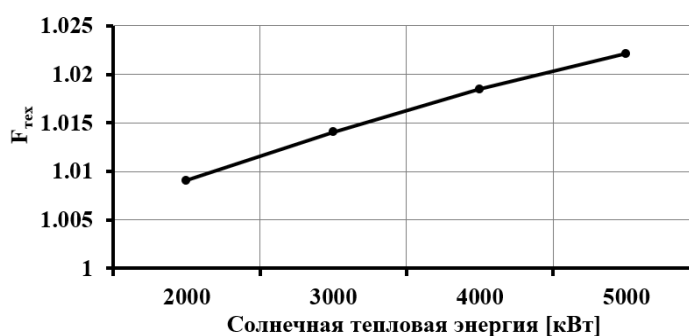


Рис. 3 Качественный показатель в зависимости от тепловой энергии, добавленной в гибридной системе

Анализ также показывает (см. рис. 4), что для такого же количества используемой тепловой энергии дополнительная электроэнергия, вырабатываемая гибридной системой, больше, чем электроэнергия, вырабатываемая автономной гелио-электростанцией.

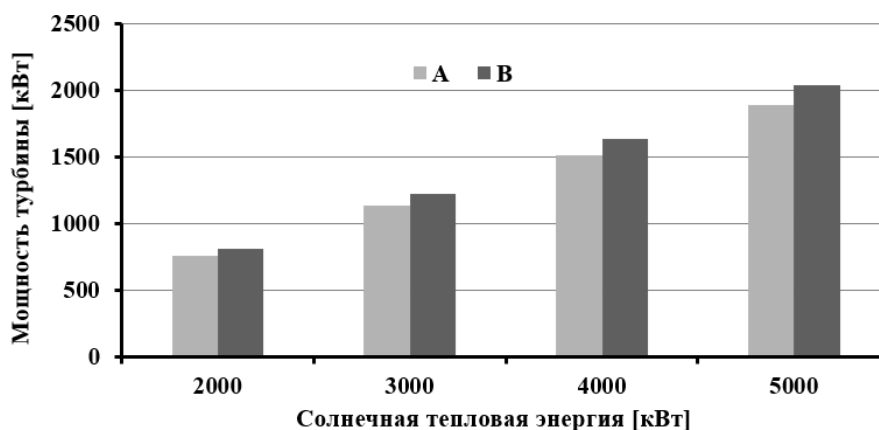


Рис. 4. Дополнительная мощность (B), вырабатываемая за счет солнечной энергии, добавленной в гибридную электростанцию, по отношению к мощности (A), вырабатываемой гелио-электростанцией, с использованием того же количества солнечной тепловой энергии

### Выводы

Эфиопия обладает значительным потенциалом для использования возобновляемых источников энергии, особенно солнечной и геотермальной энергии. Учитывая наличие солнечной энергии на геотермальном поле *Tendaho* и ограничения, связанные с использованием насыщенного пара для геотермальной энергии, предлагается концепция объединения солнечных и геотермальных источников энергии в гибридной электростанции.

В гибридной гелио-геотермальной электростанции, представленной в этой статье, рассмотрена геотермальная установка с применением гелиоисточника для перегрева пара. Благодаря перегреву пара максимальная температура рабочего тела гибридной системы увеличивается, и турбина работает с перегретым паром, в отличие от расширения насыщенного пара в автономной геотермальной электростанции.

Установлено, что гибридная электростанция, благодаря добавлению солнечной энергии, позволяет производить на 8 % больше энергии, чем автономные геотермальная и солнечная электростанции. Концепция гибридизации солнечной и геотермальной энергий представляет собой интересную перспективу для рынка электроэнергии Эфиопии с потенциалом обеспечения базисной электроэнергетической нагрузки с высоким коэффициентом мощности от экологически чистых энергетических ресурсов.

### Литература

1. Шарапов В.И. О месте альтернативных источников энергии в отечественной энергетике // Сантехника Отопление Кондиционирование. 2019. № 2. С. 78 - 81
2. Дубровская Е.С. Экономические особенности использования возобновляемых источников энергии в России // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 44-2. С. 44 - 46
3. Sadiq J. Zarrouk, Hyungsul Moon Efficiency of Geothermal Power Plants: A Worldwide Review // Geothermics. V. 51, July 2014. pp. 142-153.
4. Гемечу Б.Д., Шарапов В.И. Перспективы использования природных энергетических ресурсов в Эфиопии // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 1(811). С. 33-37.
5. Гемечу Б. Д., Шарапов В.И. Оценка потенциала солнечной энергии в районах геотермальных источников Эфиопии // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Седьмая международная научно-техническая конференция 21-22 апреля 2017 г. Сборник научных трудов. Ульяновск: УлГТУ. 2017. Т. 2. С. 101-105.
6. Akalewold S. Evaluation of Recent Temperature and Pressure Data from Wells in Tendaho Geothermal Field, Ethiopia and From Well Hg-1 At Hágöngur, Iceland // United Nation University Geothermal Energy Program. 2004.
7. Christoph S., Richard M. and Franz T. High Resolution Solar Radiation Assessment for Ethiopia// Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), 2004.
8. Nishith B. Desai, Santanu Bandyopadhyay Optimization of concentrating solar thermal power plant based on parabolic trough collector // Journal of Cleaner Production. 2015. V.89. pp. 262-271.
9. L.Salgado Conrado, A. Rodriguez-Pulido, G. Calderón Thermal performance of parabolic trough solar collectors // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2017. V. 67.pp.1345-1359.
10. Morin G., Dersch J., Platzer W., Eck M., Haberer A. Comparison of Linear Fresnel and Parabolic Trough Collector power plants // Solar Energy. 2012. № 86. pp. 1-12.
11. DiPippo R. Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact. 3rd ed. Massachusetts: Elsevier, 2012. 600 с.
12. Алхасов А.Б. Использование геотермальной энергии для выработки электроэнергии // Известия российской академии наук. Энергетика. 2010. № 1. С 59 – 72 .
13. Шарапов В.И., Гемечу Б.Д. Патент № 186091 (RU). МПК F24T 50/00. Геотермальная энергетическая установка. Бюл. 2019. № 1. 29.12.2018.
14. Шарапов В.И. Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС // Труды Академэнерго. 2015. № 2. С.27-37.
15. Cheng Z., Elham D., Behdad M. Figure of Merit Analysis of a Hybrid Solar-Geothermal Power Plant // Engineering. 2013. №5. pp. 26-31.

### Авторы публикации

**Гемечу Биням Демиссие** – аспирант Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Email benioni@gmail.com.

**Шарапов Владимир Иванович** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция» Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Email vlad-sharapov2008@yandex.ru.

### References

1. Sharapov VI. O meste al'ternativnykh istochnikov energii v otechestvennoy energetike. *Santekhnika Otopleniye Konditsionirovaniye*. 2019;2:78 – 81.



2. Dubrovskaya YeS. Ekonomicheskiye osobennosti ispol'zovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii v Rossii. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2018;44(2):44 - 46.
3. Sadiq J. Zarrouk, Hyungsul Moon Efficiency of Geothermal Power Plants: *A Worldwide Review*. *Geothermics* 2014;51:142-153.
4. Gemechu BD., Sharapov VI. Perspektivy ispol'zovaniya prirodnnykh energeticheskikh resursov v Efiopii. *Energysaving and Watertreatment*. 2018;1(811):33-37.
5. Gemechu BD., Sharapov VI. Otsenka potentsiala solnechnoy energii v rayonakh geotermal'nykh istochnikov Efiopii. *Energoberezeniye v gorodskom khozyaystve, energetike, promyshlennosti: 7 mezhdunarodnaya nauchnotekhnicheskaya konferentsiya*. 21-22 Apr 2017. pp.101-105.
6. Akalewold S. Evaluation of Recent Temperature and Pressure Data from Wells in Tendaho Geothermal Field, Ethiopia and From Well Hg1 At Hågöngur, Iceland . *United Nation University Geothermal Energy Program*. 2004.
7. Christoph S., Richard M. and Franz T. High Resolution Solar Radiation Assessment for Ethiopia. *Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)*, 2004.
8. Nishith B. Desai, Santanu Bandyopadhyay Optimization of concentrating solar thermal power plant based on parabolic trough collector. *Journal of Cleaner Production*. 2015;89:262-271.
9. L.Salgado Conrado, A. Rodriguez-Pulido, G. Calderón Thermal performance of parabolic trough solar collectors . *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;67:1345-1359
10. Morin G., Dersch J., Platzer W., Eck M., Haberle A. Comparison of Linear Fresnel and Parabolic Trough Collector power plants . *Solar Energy*. 2012;86:1-12.
11. DiPippo R. *Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact*. 3rd ed. Massachusetts: Elsevier, 2012. P .600.
12. Alkhasov AB. Ispol'zovaniye geotermal'noy energii dlya vyrabotki elektroenergii .*Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2010;1:59-72.
13. Sharapov VI., Gemechu BD. Geotermal'naya energeticheskaya ustanovka Patent № 186091 (RU). MPK F24T 50/00. Byul. № 1. 29.12.2018
14. Sharapov V.I. Metodika otsenki energeticheskoy effektivnosti strukturnykh izmeneniy v teplovyykh skhemakh TES .*Transactions of Academenergo*. 2015;2:27-37.
15. Cheng Z., Elham D., Behdad M. Figure of Merit Analysis of a Hybrid Solar-Geothermal Power Plant. *Engineering*. 2013;5:26-31.

#### Authors of the publication

**Biniyam D. Gemechu** – Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk, Russia Email benioni@gmail.com.

**Vladimir I. Sharapov** – Ulyanovsk State Technical University. Email vlad-sharapov2008@yandex.ru.

*Поступила в редакцию*

*04 июня 2019 г.*