



Гибридная тепловая электростанция на основе возобновляемых энергетических ресурсов

В статье [1] отмечено, что альтернативная бестопливная энергетика применима в регионах, где для реализации «зелёных» проектов имеются исключительно благоприятные условия. Интерес к альтернативной энергетике вполне оправдан для стран, не имеющих собственных запасов органического топлива, но обладающих значительными ресурсами ветровой, солнечной или геотермальной энергии [2–4].

Например, Эфиопия, которая обладает огромными ресурсами солнечной и геотермальной энергии [5], может построить электроэнергетику в значительной мере на основе их использования [6].

Энергетические ресурсы в Эфиопии включают в себя 45 ГВт гидроэнергии, до 5,5 кВт/м² в день солнечной энергии, 1,3 ТВт ветровой энергии, 7–10 ГВт геотермальной энергии, 1,12 млн тонн древесины, 113 млрд м³ природного газа, 300 млн тонн угля и 253 млн тонн сланца. Однако потребление электроэнергии на душу населения составляет всего 24 кВт·ч в год, что значительно ниже, чем средние 153 кВт·ч в странах близ Сахары.

На текущий момент в Эфиопии установленная мощность генерации электроэнергии составляет около 2267 МВт, из

которых 1978 МВт вырабатывают гидроэлектростанции, 171 МВт — ветроэлектростанции, 112 МВт — дизельные ТЭС и 7 МВт — геотермальные ТЭС).

Спрос на электрическую энергию в стране растёт значительно, в последние годы зарегистрирован ежегодный рост на 25 %, и ожидается, что этот показатель будет ещё выше в ближайшие годы. Необходимые мощности электроэнергетики на 2037 год прогнозируются около 37 ГВт при существующих 2267 МВт.

Интерес к альтернативной энергетике вполне оправдан для стран, не имеющих собственных запасов органического топлива, но владеющих значительными ресурсами ветровой, солнечной или геотермальной энергии. Например, такая страна, как Эфиопия, обладает огромными ресурсами солнечной и геотермальной энергии и может построить свою электроэнергетику в значительной мере на основе их использования

Рецензия эксперта на статью получена 31.10.2019 [Expert review on the article received on October 31, 2019].

УДК 620.92. Научная специальность: 05.14.08.

Гибридная тепловая электростанция на основе возобновляемых энергетических ресурсов

Б. Д. Гемечу, аспирант; **В. И. Шарапов**, д.т.н., профессор, Ульяновский государственный технический университет (УлГТУ)

Показано, что в странах, обладающих значительными ресурсами солнечной и геотермальной энергии, например, Эфиопии, можно построить электроэнергетику в значительной мере на основе использования этих природных ресурсов. На примере геотермального поля Тендахо в Эфиопии рассмотрены варианты использования геотермальных и солнечных ресурсов для электроэнергетики. Предложена и запатентована концепция гибридной тепловой гелиогеотермальной электростанции, в которой геотермальный ресурс является поставщиком насыщенного пара, а солнечный ресурс позволяет перегреть геотермальный пар перед паровой турбиной. Доказано, что комбинированное использование солнечной и геотермальной энергии в тепловой гелиогеотермальной электростанции позволяет существенно, до 8 %, увеличить мощность гибридной энергетической системы.

Ключевые слова: природные энергетические ресурсы, геотермальная энергия, солнечная энергия, геотермальная электростанция, гибридная гелиогеотермальная электростанция.

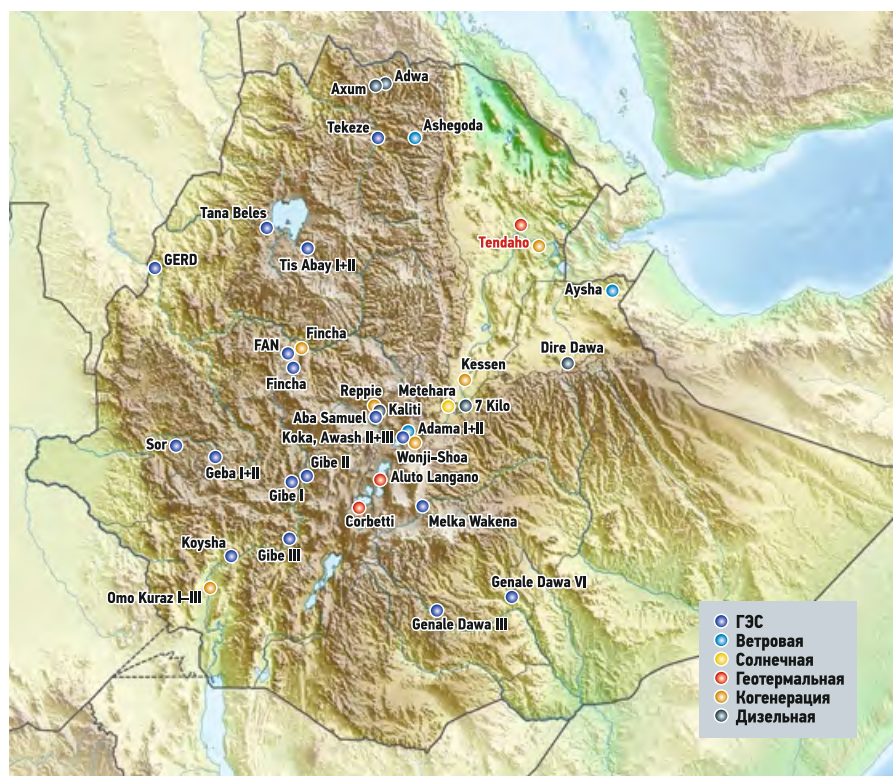
UDC 620.92. The number of scientific speciality: 05.14.08.

Hybrid thermal power plant based on renewable energy resources

B. D. Gemechu, postgraduate student; **V. I. Sharapov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk State Technical University (Ulyanovsk city)

It is shown that in countries like Ethiopia where there are significant amounts of solar or geothermal energy resources, it is possible to generate electricity mainly using these natural resources. Taking as an example the geothermal and solar energy resources available at Tendaho geothermal field in Ethiopia, options of utilizing the energy resources are examined. A concept of hybrid solar-geothermal power plant, in which the geothermal resource supplies saturated steam and the solar resource superheats the steam before the steam turbine, was proposed and patented. It is proved that the combined use of solar and geothermal energy in the hybrid solar-geothermal power plant can significantly increase the capacity of the hybrid system up to 8 %.

Keywords: natural energy resources, geothermal energy, solar energy, geothermal power plant, hybrid solar-geothermal power plant.



Строящиеся и функционирующие электростанции в Эфиопии (более 1 МВт). Данные 2017 года

Одним из способов уменьшения несоответствия между постоянно растущим спросом на энергию и очень низким доступом к ней является расширение выбора энергоресурсов и максимальное использование этих ресурсов. Сезонный характер осадков и засуха, с которыми страна сталкивалась в течение многих лет, вызвали сдвиг парадигмы в сторону разработки возобновляемых источников энергии. Среди инициатив, принятых во внимание в этом отношении, является развитие геотермальной и солнечной энергетики. Как уже упоминалось выше, использование большей части энергетических ресурсов в целом и солнечной и геотермальной энергии, в частности, близко к нулю. Попытаемся оценить фактический потенциал этих природных энергетических ресурсов и предложения по их использованию.

Эфиопский сектор рифтовой системы, разделяющий страну на две половины, считается богатым многими энергетическими ресурсами, среди которых основными являются геотермальная и солнечная энергия. С начала разведки ресурсов геотермальной энергии в 1969 году большая часть исследований ресурсов была направлена на выявление потенциальных областей, в которых имеется возможность генерации электроэнергии из этих ресурсов. Были определены около 120 областей, среди которых 22 имеют потенциал с высокой энтальпией геотермальных



Восточно-Африканская рифтовая система

ресурсов. Общий потенциал геотермальных энергетических ресурсов в рифтовой системе оценивается в 10 ГВт.

В дополнение к геотермальным ресурсам Эфиопская рифтовая система также богата солнечной энергией. 56% от общей площади суши в рифтовой долине с уклоном земли менее 2% и средней интенсивностью прямого солнечного излучения (ПСИ) от 4,2 до 5,2 кВт·ч/м² в сутки считаются подходящими для реализации концентрированных солнечных силовых технологий. Геотермальные области Тендахо-3 (Алалобеда) и Босети обладают более высоким потенциалом, чем остальные. Области Корбети, Алуто-3 (Бобеса) и Алуто-1 (Лангано) показали наименьшее ПСИ: 3,544; 4,188 и 4,188 кВт·ч/м² в сутки, соответственно.

Однако использование ресурсов до сих пор ограничивалось мощностью 7 МВт геотермальной электростанции, что составляет менее 1% потенциала [5].

С начала разведки ресурсов геотермальной энергии Эфиопии в 1969 году большая часть исследований была направлена на выявление потенциальных областей, в которых имеется возможность генерации электроэнергии из этих ресурсов. Были определены около 120 областей, среди которых 22 имеют потенциал с высокой энтальпией геотермальных ресурсов

Для анализа энергоэффективности выбрано геотермальное поле Тендахо как одно из наиболее изученных в Эфиопии. Оценка продуктивности двухфазных геотермальных скважин показала, что три скважины, а именно — TD4, TD5 и TD6, являются весьма продуктивными с массовым расходом геотермальной жидкости 50,4; 19 и 37 кг/с, соответственно. Энтальпии геотермальных жидкостей из TD4, TD5 и TD6 составляют 1065, 1267 и 975 кДж/кг, соответственно [7].

Тендахо также характеризуется значительным потенциалом для производства солнечной тепловой энергии. Месторождение получает более 5,2 кВт·ч/м² в сутки среднегодового прямого нормального излучения.

Все эти факторы делают месторождение пригодным как для солнечных установок с технологиями концентрированных солнечных электростанций (КСЭ), так и для геотермальных тепловых электростанций.

Рассмотрим возможные варианты использования природных энергетических ресурсов поля Тендахо:

1. Использование солнечной энергии путём строительства солнечной электростанции.
2. Использование геотермальной энергии путём строительства автономной геотермальной тепловой электростанции.
3. Комбинированное использование солнечной и геотермальной энергии путём строительства гибридной тепловой геотермальной электростанции [6].

Вариант 1. Модель солнечной электростанции КСЭ состоит из параболических коллекторов, аккумулятора тепловой энергии, питательного насоса и основных компонентов паровой электростанции: испарителя/теплообменника, турбины, конденсатора и питательного насоса.

Валовая мощность турбины $N_{сл}$, вырабатываемая концентрированной солнечной электростанцией [8]:

$$N_{сл} = S_{сл} [I_b \eta_{ор} \cos(\varphi) - q] \eta_{сл}, \quad (1)$$

где $S_{сл}$ — общая площадь солнечных коллекторов, м²; I_b — прямое перпендикулярное солнечное излучение, кВт/м²; $\eta_{ор}$ — оптическая эффективность солнечного поля; φ — угол падения солнечного излучения ($\varphi = 0^\circ$); q — общие тепловые потери в окружающую среду на 1 м² общей площади коллектора; $\eta_{сл}$ — номинальный КПД силового цикла геотермальной электростанции.

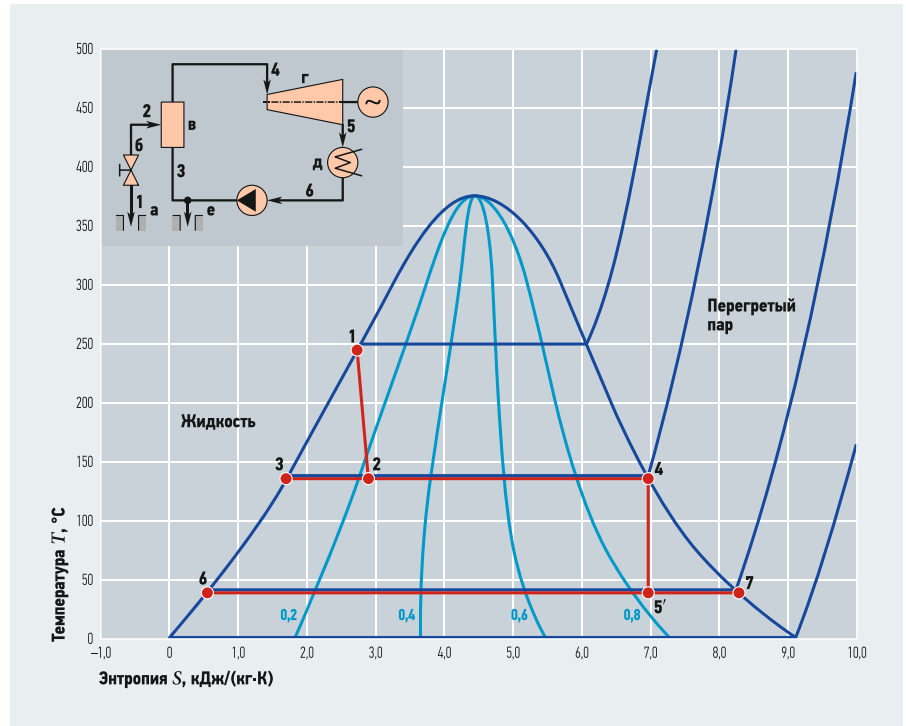


Рис. 1. Принципиальная схема геотермальной электростанции и T - S -диаграмма пара (а — эксплуатационная скважина, б — дроссельный клапан, в — сепаратор, г — турбина, д — конденсатор, е — нагнетательная скважина; 1 — точка при давлении устья скважины; 2 — точка на входе в сепаратор; 3 — точка при давлении 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)

Основные исходные данные для моделирования геотермальной электростанции

табл. 1

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



Основные исходные данные, используемые в моделировании геотермальной электростанции, приведены в табл. 1.

Вариант 2. 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, из которого конденсат отработанного пара направляется в нагнетательную скважину, в которую конденсат закачивается вместе с рассолом (рис. 1).

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

$$x = \frac{i_2 - i_3}{i_0 - i_3}. \quad (2)$$

Расход пара D_n [кг/с], разделённого в сепараторе, рассчитывается как

$$D_n = x D_{гж}, \quad (3)$$

где i_2 — энтальпия геотермальной жидкости, кДж/кг; i_3 — энтальпия рассола, кДж/кг; i_0 — энтальпия пара на входе, кДж/кг; $D_{гж}$ — величина расхода геотермальной жидкости, кг/с.

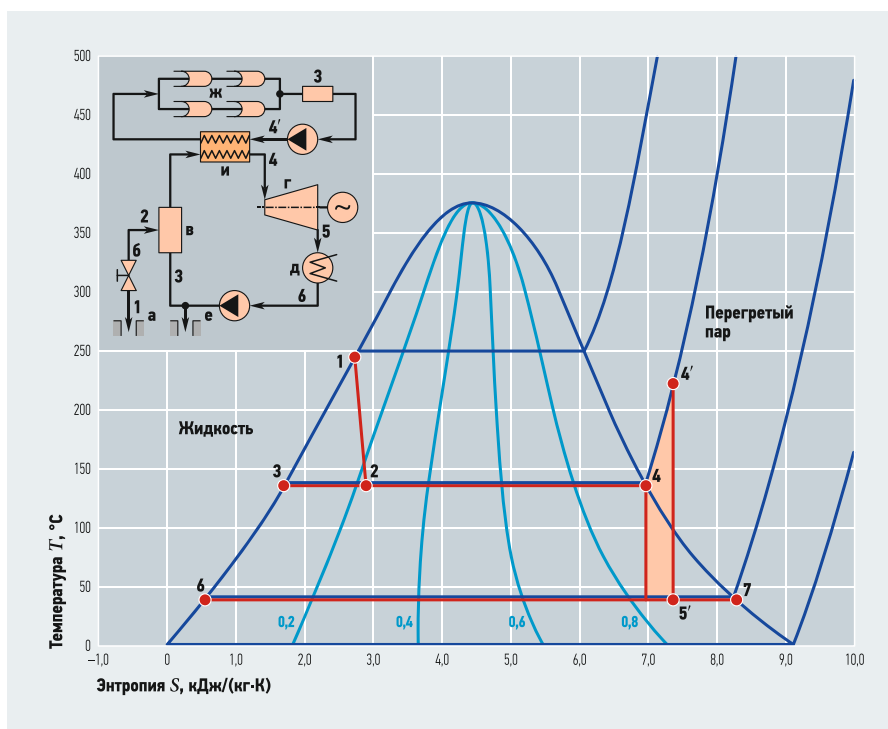


Рис. 2. Принципиальная схема и T - S -диаграмма гибридной гелиогеотермальной электростанции (а — эксплуатационная скважина, б — дроссельный клапан, в — сепаратор, г — турбина, д — конденсатор, е — нагнетательная скважина, ж — коллекторы, з — аккумулятор, и — теплообменник; 1 — точка при давлении устья 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 давлении конденсации; 6 — точка на выходе из конденсатора)

Идеальная энтальпия отработанного пара на выходе из турбины i_5' [кДж/кг] рассчитывается по формуле [9]:

$$i_5 = i_6 + (i_7 - i_6) \frac{s_4 - s_6}{s_7 - s_6}, \quad (4)$$

где i_6 — энтальпия отработанного пара (при давлении конденсатора и сухости пара, равной 0), кДж/кг; i_7 — энтальпия отработанного пара (при давлении конденсатора и сухости пара, равной 1), кДж/кг; s_4 — энтропия пара на входе в турбину, кДж/(кг·К); s_6 — энтропия отработанного пара (при давлении конденсатора и су-

хости пара, равной 0), кДж/кг; s_7 — энтропия отработанного пара (при давлении конденсатора и сухости пара, равной 1), кДж/(кг·К).

Поскольку пар на входе в турбину является насыщенным, процесс расширения происходит во влажной области. Следовательно, наличие влаги снижает изэнтропический КПД турбины. Этот эффект количественно определяется правилом Баумана [9], в котором говорится, что наличие 1% средней влажности снижает изэнтропический КПД турбины примерно на 1%.

Учитывая правило Баумана, энтальпия отработанного пара на выходе из турбины i_0 [кДж/кг] определяется по формуле из работы [9]:

$$i_0 = \frac{i_4 - 0,425(i_4 - i_5') \left(1 - \frac{i_6}{i_7 - i_6}\right)}{1 + \frac{0,425(i_4 - i_5')}{i_7 - i_6}}. \quad (5)$$

Таким образом, мощность турбины N_T [кВт] автономной геотермальной электростанции при расширении насыщенного пара в турбине рассчитывается по следующей формуле:

$$N_T = D_n(i_0 - i_i)\eta_{эм}, \quad (6)$$

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

Вариант 3. В предложенной нами концепции гибридной тепловой гелиогеотермальной электростанции [6] геотермальный ресурс является поставщиком насыщенного пара, а солнечный ресурс позволяет перегреть геотермальный пар, и, как следствие, увеличить мощность гибридной энергетической системы.

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

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

$$N_T = 0,9D_n(i_0 - i_i)\eta_{эм}. \quad (7)$$

Принципиальная технологическая схема гибридной гелиогеотермальной электростанции [6] с солнечным перегревом пара показана на рис. 2. Гибридная установка комбинирует геотермальный энергетический цикл с системой солнечного перегрева пара, включающей в себя перегреватель (солнечный теплообменник), солнечный коллектор, аккумулятор для хранения и циркуляционный насос.



Энтальпия пара $i_0^{гб}$ [кДж/кг] на входе в турбину в гибридной системе, после добавления солнечной теплоты за счёт теплообменника, определяется по формуле:

$$i_0^{гб} = i_0 + \frac{Q_{сл}}{D_n}. \quad (8)$$

Поскольку пар на входе в турбину в гибридной системе является перегретым, алгоритм, используемый для насыщенного пара, не даёт точного значения выходной мощности. Поэтому здесь применим подход, близкий к изложенному в работе [10]. 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 — формулы (4)–(8). Мощность турбины $N_{сyx}$ [кВт] для процесса расширения, который происходит в сухой области, рассчитывается как:

$$N_{сyx} = D_n(i_0^{гб} - i_a), \quad (9)$$

где i_a — энтальпия пара [кДж/кг] при давлении, при котором процесс расширения пересекает кривую насыщения, а сухость пара равна 1,0.

Энтальпия отработанного пара на выходе из турбины $i_1^{гб}$ рассчитывается с использованием выражений (6) и (7), только вместо точки 4 используется точка а. Поэтому мощность турбины $N_{влж}$ [кВт] для процесса расширения, происходящего во влажной области, рассчитывается

$$N_{влж} = D_n(i_a - i_1^{гб}). \quad (10)$$

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

$$N_{гб} = D_n(i_0^{гб} - i_a) + D_n(i_a - i_1^{гб}) = D_n(i_0^{гб} - i_1^{гб}). \quad (11)$$

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

$$N_{сл/гб} = N_{гб} - N_{г}. \quad (12)$$

Прирост мощности турбины гибридной электростанции за каждым 1 МВт добавленной солнечной энергии определяется по формуле:

$$\Delta N = \frac{N_{гб} - N_{г}}{N_{г}} \frac{1000}{Q_{сл}} 100\%. \quad (13)$$

В работе [11] предложена оценка качественного показателя, общая методология, используемая для оценки того, может ли гибридная электростанция производить больше электроэнергии, чем две автономные электростанции. Как определено в [11], качественный показатель — это отношение выходной мощности гибридной электростанции к сумме выходных мощностей автономных электростанций:

$$F_{tex} = \frac{N_{гб}}{N_{г} + N_{сл}}. \quad (14)$$

В этом определении качественный показатель больше 1,0 указывает на то, что гибридная система превосходит автономные системы с точки зрения выработки электроэнергии. Основные исходные данные, используемые для оценки, показаны в табл. 2.

Данные для оценки эффективности двух видов электростанций

табл. 2

Параметр	Значение
Энтальпия геотермальной жидкости при давлении устья 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_0 , °C	40
Электромеханический КПД турбогенератора $\eta_{эм}$	0,98

Результаты анализов для двух видов электростанций

табл. 3

Тепловая энергия, кВт	Мощность гелиоэлектростанции, кВт	Мощность турбины гибридной гелиогеотермальной электростанции, 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.

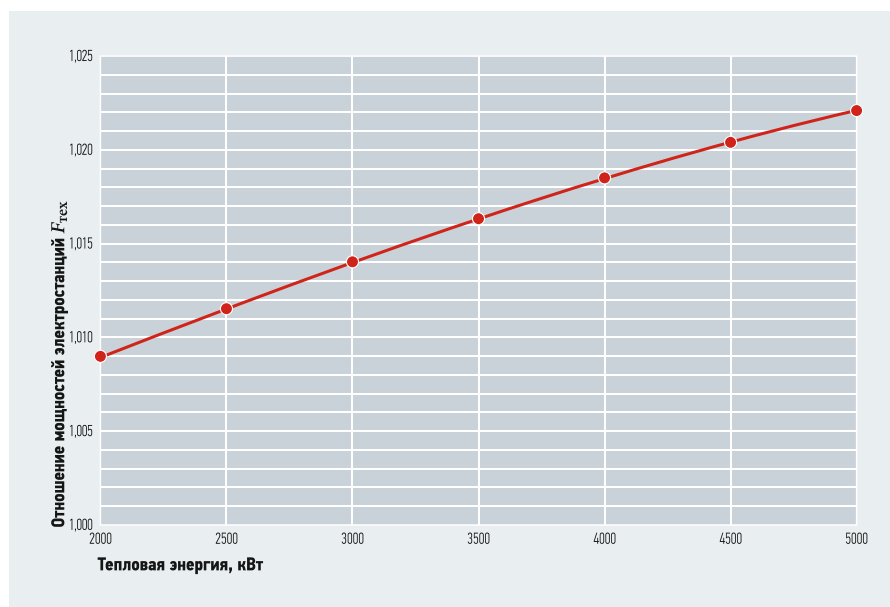


Рис. 3. Качественный показатель в зависимости от тепловой энергии, добавленной в гибридной гелиогеотермальной системе

Термодинамический анализ для автономной геотермальной электростанции показывает, что при принятых 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 (табл. 3). Увеличение выработки электроэнергии за каждым 1 МВт тепловой энергии, добавленным в гибридной системе, составило около 411,3 кВт. Другими словами, процент прироста мощности турбины геотермальной электростанции на каждый 1 МВт добавленной солнечной энергии получается около 8%.

Как показано на рис. 3, технический качественный показатель составляет бо-

лее 1,0, то есть вырабатываемая электроэнергия гибридной электростанции больше, чем сумма мощностей гелиоэлектростанции и автономной геотермальной электростанции. Значение увеличивается

В странах, имеющих достаточно ресурсов солнечной и геотермальной энергии, можно построить энергетику в значительной мере на основе использования ВИЭ. Комбинированное использование солнечной и геотермальной энергии в тепловой гелиогеотермальной электростанции позволяет увеличить мощность подобной гибридной энергосистемы до 8%

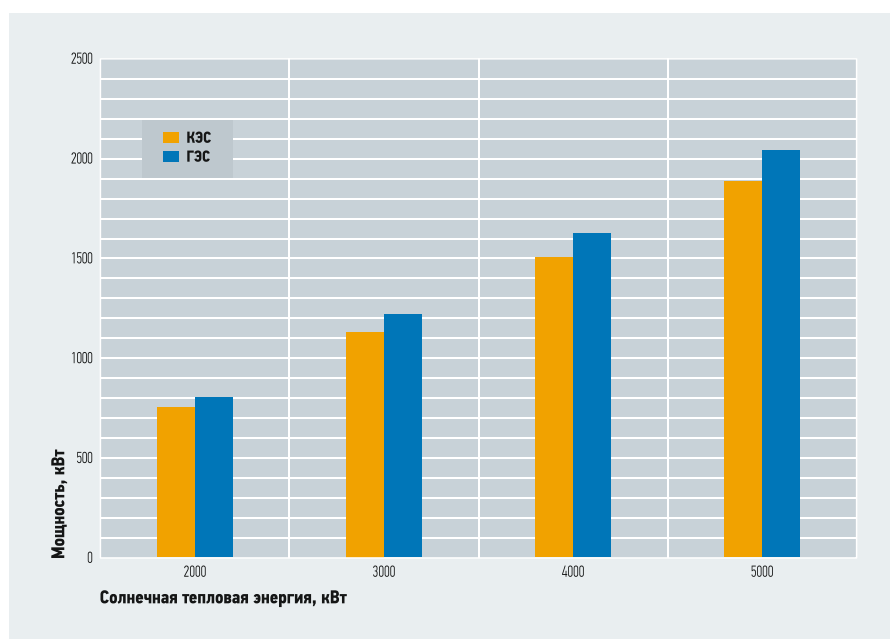


Рис. 4. Дополнительная мощность, вырабатываемая за счёт солнечной энергии, добавленной в гибридную электростанцию, по отношению к мощности, вырабатываемой гелиоэлектростанцией, с использованием того же количества солнечной тепловой энергии

по мере увеличения тепловой энергии от гелиоисточника. Анализ также показывает (рис. 4), что для такого же количества используемой тепловой энергии дополнительная электроэнергия, вырабатываемая гибридной системой, больше, чем электроэнергия, вырабатываемая автономной гелиоэлектростанцией.

Выводы

1. Показано, что в странах, обладающих достаточным количеством ресурсов солнечной и геотермальной энергии, как, например, в Эфиопии, можно построить электроэнергетику в значительной мере на основе использования этих возобновляемых природных ресурсов.
2. На примере геотермального поля Тендахо в Эфиопии рассмотрены варианты использования геотермальных и солнечных ресурсов для электроэнергетики.
3. Предложена и запатентована концепция гибридной тепловой гелиогеотермальной электростанции, в которой геотермальный ресурс является поставщиком насыщенного пара, а солнечный ресурс позволяет перегреть геотермальный пар перед паровой турбиной.
4. Доказано, что комбинированное использование солнечной и геотермальной энергии в тепловой гелиогеотермальной электростанции позволяет существенно (до 8%) увеличить мощность гибридной энергетической системы. ●

1. Шарапов В.И. О месте альтернативных источников энергии в отечественной энергетике // Журнал С.О.К., 2019. №8. С. 78–81.
2. Шарапов В.И., Ротов П.В. О путях преодоления кризиса в работе систем теплоснабжения // Известия вузов. Проблемы энергетике, 2000. №5–6. С. 3–8.
3. Шарапов В.И. Особенности теплоснабжения городов при дефиците топлива на электростанциях // Электрические станции, 1999. №10. С. 63–66.
4. Ротов П.В., Шарапов В.И. Особенности регулирования нагрузки систем теплоснабжения в переходный период // Энергосбережение и водоподготовка, 2010. №2. С. 25–28.
5. Гемечу Б.Д., Шарапов В.И. Перспективы использования природных энергетических ресурсов в Эфиопии // Энергосбережение и водоподготовка, 2018. №1. С. 33–37.
6. Патент №186091 (RU). МПК F24T 50/00. Геотермальная энергетическая установка / В.И. Шарапов, Б.Д. Гемечу; заявл. 31.05.2018; опубл. 29.12.2018. Бюл. №1.
7. Akalewold S. Evaluation of recent temperature and pressure data from wells in Tendaho geothermal field, Ethiopia and from well HG-1 at Hågöngur, Iceland. United Nations University. UNU Geothermal Training Programme. Reykjavik, Iceland. Reports 2004. No. 15.
8. Morin G., Dersch J., Platzer W., Eck M., Häberle A. Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector systems. Solar Energy. 2012. No. 86. Pp. 1–12.
9. DiPippo R. Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact. 3rd ed. Butterworth-Heinemann. 2012. 624 p.
10. Шарапов В.И. Методика оценки энергетической эффективности структурных изменений в тепловых схемах ТЭС // Труды Академэнерго, 2015. №2. С. 27–37.
11. Cheng Z., Elham D., Behdad M. Figure of merit analysis of a hybrid solar-geothermal power plant. Engineering. 2013. No. 5. Pp. 26–31.

References — see page 95.

Hybrid thermal power plant based on renewable energy resources. Pp. 70–75.

Binyam D. Gemechu, postgraduate student; **Vladimir I. Sharapov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Ulyanovsk State Technical University (UlGTU, Ulyanovsk city)

1. Sharapov V.I. *O meste al'ternativnykh istochnikov jenerгии v otechestvennoj jenergetike* [On the place of alternative energy sources in domestic energy]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, kondicionirovanie (S.O.K.)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2019. No. 8. Pp. 78–81. [In Russian]
2. Sharapov V.I., Rotov P.V. *O putjah preodoleniya krizisa v rabote sistem teplosnabzhenija* [On ways to overcome the crisis in the operation of heat supply systems]. *Izvestija vuzov. Problemy jenergetiki* [Proc. of Higher Educational Institutions. Energy industry issues]. 2000. No. 5–6. Pp. 3–8. [In Russian]
3. Sharapov V.I. *Osobennosti teplosnabzhenija gorodov pri deficite topliva na jelektrostancijah* [Features of heat supply to cities with fuel shortages in power plants]. *Jelektricheskie stanicii* ["Electric power plants" Magazine]. 1999. No. 10. Pp. 63–66. [In Russian]
4. Rotov P.V., Sharapov V.I. *Osobennosti regulirovanija nagruzki sistem teplosnabzhenija v perehodnyj period* [Features of regulation of the load of heat supply systems during the transition period]. *Jenergobezrezhenie i vodopodgotovka* ["Energy saving and water treatment" Magazine]. 2010. No. 2. Pp. 25–28. [In Russian]
5. Gemechu B.D., Sharapov V.I. *Perspektivy ispol'zovanija prirodnykh jenergeticheskikh resursov v Jefiopii* [Prospects for the use of natural energy resources in Ethiopia]. *Jenergobezrezhenie i vodopodgotovka* ["Energy saving and water treatment" Magazine]. 2018. No. 1. Pp. 33–37. [In Russian]
6. Patent of Russia No. 186091 (RU). IPC F24T 50/00. *Geotermal'naja jenergeticheskaja ustanovka* [Geothermal power plant]. V.I. Sharapov, B.D. Gemechu. Decl. on May 31, 2018. Publ. on December 29, 2018. Bull. No. 1. [In Russian]
7. Akalewold S. Evaluation of recent temperature and pressure data from wells in Tendaho geothermal field, Ethiopia and from well HG-1 at Hågöngur, Iceland. United Nations University. UNU Geothermal Training Programme. Reykjavík, Iceland. Reports 2004. No. 15.
8. Morin G., Dersch J., Platzer W., Eck M., Häberle A. Comparison of linear Fresnel and parabolic trough collector systems. Influence of linear Fresnel collector design variations on break even cost. *Solar Energy*. 2012. No. 86. Pp. 1–12.
9. DiPippo R. *Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact*. 3rd ed. Butterworth-Heinemann. 2012. 624 p.
10. Sharapov V.I. *Metodika ocenki jenergeticheskoy jeffektivnosti strukturnykh izmenenij v teplovyh shemah TJeS* [Methodology for assessing the energy efficiency of structural changes in thermal schemes of thermal electric power plants]. *Trudy Akademjenergo* [Transactions of Academenergo]. 2015. No. 2. Pp. 27–37. [In Russian]
11. Cheng Z., Elham D., Behdad M. Figure of merit analysis of a hybrid solar-geothermal power plant. *Engineering*. 2013. No. 5. Pp. 26–31.