



**ОЦЕНКА ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ЭФФЕКТА ПРИ  
ВНЕДРЕНИИ ГИБРИДНЫХ ОБЪЕКТОВ МАЛОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ  
ГЕНЕРАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ ВЬЕТНАМ**

**Д.Т. Нгуен, Г.Р. Мингалеева, М.В. Савина**

**Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия**  
*mingaleeva-gr@mail.ru*

**Резюме:** В работе приведены основные характеристики наиболее эффективных технологий использования солнечной энергии, в том числе в малой распределенной энергетике. Обосновано применение гибридных технологий, основанных на использовании солнечного излучения. Определены перспективы данных объектов в одной из провинций Республики Вьетнам (Нинь Туан), которая характеризуется наиболее высокой интенсивностью солнечного излучения. Представлены результаты расчета станции мощностью 4,6 МВт, работающей на основе использования ГТУ без использования солнечной энергии и с ее использованием для подогрева воздуха, поступающего в камеру сгорания. Энергосберегающий эффект от внедрения гибридных технологий обусловлен повышением КПД станции на величину от 6% до 10% в зависимости от времени года и характерной интенсивности солнечного излучения и температуры окружающей среды. Выявлено значительное снижение расхода топлива (природного газа), используемого в газотурбинной установке.

**Ключевые слова:** гибридные энергетические объекты, малая распределенная генерация, энергосбережение, ресурсосбережение солнечное излучение, газотурбинная установка.

**Благодарности:** Работа, по результатам которой выполнена статья, выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №17-08-00295 «А».

**Для цитирования:** Нгуен Д.Т., Мингалеева Г.Р., Савина М.В. Оценка энерго- и ресурсосберегающего эффекта при внедрении гибридных объектов малой распределенной генерации в республике Вьетнам // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019. Т.21. № 5. С.132-140. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-132-140.

**EVALUATION OF ENERGY AND RESOURCE SAVING EFFECT AT  
IMPLEMENTATION OF HYBRID OBJECTS OF SMALL DISTRIBUTED  
GENERATION IN THE REPUBLIC OF VIETNAM**

**DT Nguyen, GR Mingaleeva, MV Savina**

**Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia**  
*mingaleeva-gr@mail.ru*

**Abstract:** The work presents the main characteristics of the most efficient solar energy technologies, including in small distributed energy. The use of hybrid technologies based on the use of solar radiation is justified. The prospects of these facilities in one of the provinces of the Republic of Viet Nam (Ninh Tuan), which is characterized by the highest intensity of solar radiation, have been determined. The results of calculation of the station with capacity of 4.6 MW, operating on the basis of use of GTU without use of solar energy and its use for heating of air entering the combustion chamber, are presented. The energy-saving effect of the introduction of hybrid technologies is due to the increase in the efficiency of the station by 6% to 10% depending on the time of year and the characteristic intensity of solar radiation and ambient temperature. A significant decrease in the consumption of fuel (natural gas) used in the gas turbine plant has been detected.

**Keywords:** Hybrid power facilities, small distributed generation, energy saving, solar radiation

resource saving, gas turbine plant.

**Acknowledgments:** Work by results of which article is executed is executed with financial support of the RFBR within the scientific project No. 17-08-00295 "A".

**For citation:** Nguen DT.,Mingaleeva GR, Savina MV. Evaluation of energy and resource saving effect at implementation of hybrid objects of small distributed generation in the republic of Vietnam // Power engineering: research, equipment, technology. 2019;21(5):132-140. doi:10.30724/1998-9903-2019-21-5-132-140.

### Введение

В последние десятилетия в мировой энергетике реализуется тенденция повышения эффективности производства тепловой и электрической энергии, что обусловлено обострением конкуренции на энергетическом рынке, а также усилением экологических требований. Все более острой становится необходимость экономии первичных, особенно ископаемых энергетических ресурсов, и их рационального комплексного использования. Одним из направлений современной энергетической политики во многих развитых и развивающихся странах является строительство объектов малой распределенной энергетики, в некоторых случаях автономных, максимально приближенных к потребителю. Именно за счет близкого расположения достигается снижение потерь на передачу энергии по распределительным сетям. Объекты малой распределенной энергетики преимущественно работают по принципу когенерации, т.е. совместной выработки электрической и тепловой энергии. Параметры их работы в наилучшей степени учитывают график потребления тепловой и электрической энергии.

Мировая практика строительства объектов малой распределенной генерации (*Dispersed and Distributed Generators*) [1, 2] предполагает уменьшение затрат потребителей энергии за счет усиления конкуренции на энергетическом рынке, снижение потерь при передаче энергии и обеспечения требуемого режима потребления. Данный объект может интегрироваться в общую сеть для передачи излишков производимой энергии.

Существенными недостатками объектов распределенной энергетики малой мощности (до 25 МВт) является более высокая себестоимость производимой энергии и локальное загрязнение окружающей среды в непосредственной близости от потребителя, связанное с использованием традиционных технологий сжигания топлива. Поэтому актуальным является снижение производственных затрат, повышение экологической и инвестиционной привлекательности данных объектов. Это может быть достигнуто за счет использования возобновляемых источников, в частности солнечной энергии.

Возобновляемые источники энергии явились причиной глобальной трансформации энергетических технологий [3] и дали толчок к ускоренному росту электрификации во многих областях жизни – электрическое отопление, электрический транспорт и др. Использование возобновляемых источников ведет также к декарбонизации энергетики и радикальному снижению выбросов углекислого газа. На возобновляемые источники энергии приходится 0,7% среднегодового роста возобновляемых источников энергии, что составляет половину от общего объема [3].

Среди всех доступных возобновляемых источников энергии наибольшую долю составляет солнечная энергия. Согласно экспертным оценкам солнечная энергия, поступающая на поверхность Земли, оценивается в  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт. На энергию Солнца приходится более 99,99% всех возобновляемых источников энергии, имеющихся на Земле. Это соответствует средней доступной мощности на каждого человека в объеме 15 МВт [4].

Для использования в коммерческих целях определен уровень интенсивности солнечного излучения, который должен составлять не менее  $2000-2800$  кВт ч/м<sup>2</sup>/год, а по некоторым оценкам – не менее  $1800$  кВт ч/м<sup>2</sup>/год [5].

На данном этапе развития малой распределенной генерации наиболее перспективным, по мнению авторов, является сочетание традиционных технологий производства энергии на основе сжигания топлива и технологий возобновляемой энергетики, например, газотурбинной установки и солнечного воздушного нагревателя.

### Гибридные технологии и методы исследования

Рассмотрим наиболее эффективные технологии солнечной энергетики, которые применяются на сегодняшний день или проходят опытно-промышленную апробацию. На солнечных электростанциях электрическая энергия вырабатывается путем концентрирования солнечного излучения. Обычно такие установки состоят из нескольких

компонентов, таких как солнечные концентраторы, ресивер, паровая турбина и электрогенератор. Встречаются четыре различных вида солнечных электростанций [5]:

- солнечный параболический тарельчатый концентратор (*SPD*);
- параболические цилиндрические коллекторы (*PTC*);
- солнечная энергетическая башня (*SPT*);
- линейные отражатели Френеля (*LFR*).

В системе *SPD* используется параболический точечно-фокусирующий концентратор в виде тарелки. Концентраторы размещены в сборе с двухосной системой слежения, которая следует за солнцем. В фокальной точке для эффективного преобразования энергии установлен двигатель Стирлинга/Брайтона с электрическим генератором для использования концентрированного тепла на приемнике. При соотношении концентраций приблизительно 2000 в фокальной точке температура и давление рабочей жидкости обычно достигают около 700-750 °С и 200 бар соответственно. Обычно диаметр тарелки составляет от 5 до 10 м, а площадь поверхности – 40-120 м<sup>2</sup>. Блестящая поверхность *SPD* выполнена из серебра или алюминия, которые покрыты стеклом или пластиком. Однако более высокие эксплуатационные характеристики могут быть достигнуты при использовании стекла с тонким слоем серебра толщиной 1 мкм. Кроме того, для улучшения отражения поверхности в стекле используется определённый процент железа. В такой комбинации коэффициент отражения может достигать 90-94%. Одна параболическая система *CSP* может иметь мощность в диапазоне от 0,01 до 0,5 МВт [6]. Для обеспечения более надежного энергоснабжения системы *SPD* также могут быть объединены с силовой установкой на ископаемом топливе [5].

В системе *PTC* большие зеркала в форме желоба используются для отражения солнечного излучения на приемник. Поле коллектора содержит несколько сотен желобов, которые расположены параллельными рядами, выровненными по оси север-юг. Такая конфигурация позволяет одноосным впадинам отслеживать Солнце с востока на запад в течение дня, обеспечивая непрерывную фокусировку солнечного излучения на приемные трубы. Когда солнечное излучение отражается от зеркала, изогнутые формы направляют большую часть этого отраженного тепла в приемник. Приемник или поглощающая (абсорбционная) трубка заполнена жидкостью, это может быть масло, расплавленная соль или другая жидкость, удерживающая тепло. Для расплавленной соли используют различные процентные содержания нитрата натрия, калия, нитрата калия. Высокий коэффициент поглощения абсорбционной трубки и ее положение в фокальной точке желоба являются двумя важными условиями, которые необходимо обеспечить для эффективного нагрева рабочей жидкости. В зависимости от соотношения концентраций, солнечной интенсивности, расхода рабочей жидкости и других параметров температура рабочей жидкости может достигать 400°С. Поскольку солнечная энергия концентрируется в системе в 70-100 раз, рабочая температура достигает 350-550°С. Если параболическая система интегрирована с паротурбинной силовой установкой, то она представляет собой технологию прямого парообразования. Рабочая жидкость нагревает воду через теплообменник, вода превращается в пар, который используется для вращения турбины. Как только рабочая жидкость передает свое тепло воде, она рециркулирует и снова используется в процессе, пар также охлаждается, конденсируется и возвращается в процесс [5]. Одним из больших преимуществ системы желобов является то, что нагретая рабочая жидкость может храниться и использоваться для выработки электричества, когда солнечный свет отсутствует. Среди различных технологий использования солнечной энергии эта система обеспечивает наилучшее землепользование. Некоторые параболические установки используют ископаемое топливо для дополнения производства энергии в периоды низкого уровня солнечной радиации, и часто система таких установок может быть интегрирована с обычными установками, работающими на природном газе или угле [7].

*SPT* – это система выработки электроэнергии, в которой используются большие плоские зеркала для отражения солнечного света на солнечный приемник в верхней части центральной башни [8]. Материалы для приемника обычно представляют собой керамику или металлы, которые стабильны при относительно высоких температурах. Средний солнечный поток, падающий на приемник, изменяется от 200 до 1000 кВт/м<sup>2</sup>, обеспечивая возможность достижения высокой рабочей температуры [9]. В приемнике температура рабочей жидкости становится достаточно высокой для получения пара или нагрева воздуха. В качестве рабочей жидкости могут использоваться вода (пар), расплавленная соль, жидкий натрий или воздух.

Установки *LFR* состоят из массива линейных зеркальных полос в качестве отражателей, с приемниками, системой слежения, технологической и приборной системой, паровой турбиной и генератором. Рефлекторы являются важнейшими компонентами в системе, а механизм рефлекторов такой же, как у линзы Френеля. Солнечные лучи отражаются линзой Френеля и фокусируются в одной точке, как правило, на постоянный приемник на линейной башне. В дневное время отражатели Френеля автоматически направляются к солнцу, и оттуда отраженное солнечное излучение переносится в линейную башню, где приемник в форме длинного цилиндра содержит ряд трубок, заполненных водой. При высоком солнечном излучении вода испаряется и под давлением поступает в паровую турбину, которая вращает генератор, вырабатывающий электричество [10,11-13].

Сравнительный анализ вышеуказанных технологий солнечной генерации представлен в таблице 1.

Таблица 1

Основные характеристики технологий солнечной энергетики [5]

Показатель	<i>SPD</i>	<i>PTC</i>	<i>SPT</i>	<i>LFR</i>
Мощность, МВт	0,01-0,4	10-200	10-150	10-200
Коэффициент концентрации	1000-3000	25-100	300-1000	70-80
Максимальная солнечная эффективность, %	29	20 ожидаемая	20 (35 ожидаемая)	21
Годовая солнечная электрическая эффективность, %	20-35	15	20-35	8-10
Требуемая площадь (м <sup>2</sup> / МВт·ч)	30-40	4-6	8-12	6-8
Тепловая эффективность %	30-40	30-40	30-40	-
Максимальная эффективность, %	30	14-20	23-35	18
Капитальные затраты, USD / кВт	12578	3972	4000	-
Капитальные затраты, USD/ м <sup>2</sup>	-	424	476	234
Рабочая температура освещаемой поверхности, °С	800	290-550	250-650	250-390, возможно до 560
Стабильность сети	низкая	от средней до высокой	высокая	средняя

В качестве объекта исследования выбрана гибридная мини-ТЭС мощностью 4,6 МВт, работающая по технологии *SPT*, поскольку она имеет существенные преимущества по максимальной эффективности и рабочей температуре освещаемой поверхности. Это реально работающий объект, расположенный в Испании. На рис. 1 представлены схемы малых станций в традиционном исполнении без использования солнечной энергии (*a*) и гибридный вариант с солнечным воздушным нагревателем, размещенном на башне (*b*).

Для расчета использовались следующие основные зависимости для определения эффективности и расхода топлива.

Работа сжатия воздуха компрессором определялась по формуле, кДж/кг:

$$h_k = T_B \cdot c_p \cdot (P_k^{\frac{c_p}{R_B}} - 1)$$

где  $T_B$  – температура воздуха на входе в компрессор, соответствующая температуре окружающей среды, °С;  $c_p$  – теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°С);  $P_k$  – степень сжатия воздуха в компрессоре;  $R_B$  – газовая постоянная для воздуха, Дж/(кг·К).

С учетом солнечной энергии, воспринятой воздушным нагревателем  $E_c$  энергетический баланс камеры сгорания ГТУ может быть записан следующим образом:

$$E_c + G_B h_k + B_T (Q_i^r \cdot \eta_{kc} + h_T) = G_T h_T,$$

где  $G_B$  – расход воздуха, кг/с;  $B_T$  – расход топлива, кг/с;  $Q_{Г1}$  – теплота компонентов образующихся продуктов сгорания топлива, кДж/кг;  $\eta_{кc}$  – КПД камеры сгорания;  $G_T$  – расход газов перед газовой турбиной, кг/с;  $h_T$  – энтальпия газов перед газовой турбиной, кДж/кг.

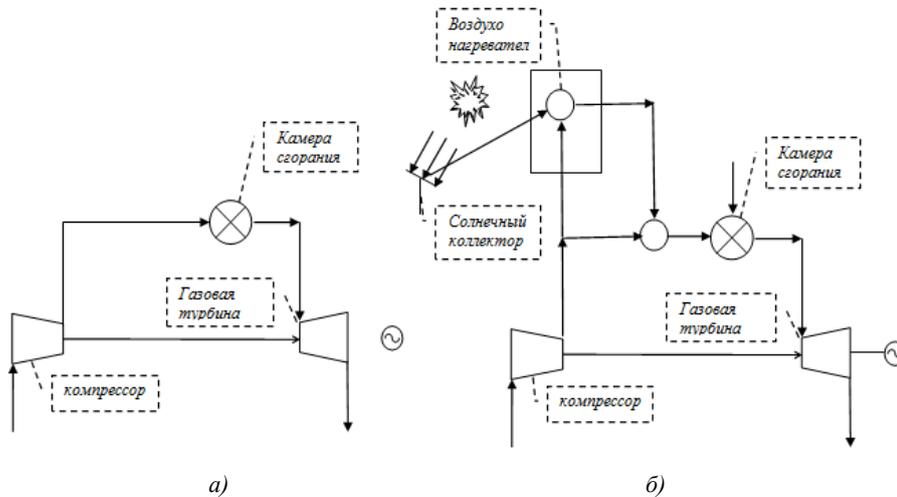


Рис. 1. Принципиальные схемы малых энергетических объектов, работающих на базе ГТУ:  
 а) традиционная схема ГТУ; б) схема гибридной станции с использованием солнечного воздушного нагревателя

Расход газов, образующихся в камере сгорания, которые затем направляются в газовую турбину, определяется как сумма расходов поступающего воздуха и продуктов сгорания топлива:

$$G_n = G_B + B_n.$$

Тогда расход топлива может быть выражен следующим образом:

$$B_n = \frac{(G_B(h_n - h_k) - E_n)}{Q_i^Г \eta_{mn} + h_n - h_n}.$$

Внутренняя мощность, потребляемая компрессором ГТУ, с учетом расхода  $G_{охлi}$  и энтальпии  $h_i$  охлаждающего воздуха определяется по формуле, кВт:

$$N_{ik} = \frac{G_B h_k + \sum_{i=1}^n G_{охлi} h_i}{\eta_k},$$

где  $\eta_k$  – КПД компрессора.

Эффективность станции определяется по зависимости:

$$\eta = \frac{N_э}{G_n \times Q_n},$$

где  $N_э$  – электрическая мощность, кВт;  $Q_n$  – теплотворная способность топлива, кДж/кг.

### Характеристика климатических условий Республики Вьетнам

Вьетнам является развивающейся страной, размещенной в Юго-Восточной Азии и обеспеченной в основном углем, нефтью, гидроэнергией и возобновляемыми источниками энергии. В стране проживает большое число жителей сельских районов, поэтому децентрализованные технологии использования возобновляемых источников энергии могут сыграть определенную роль в обеспечении электроэнергией. Для продвижения возобновляемых источников энергии правительство Вьетнама утвердило Генеральный план развития возобновляемой энергетики на период до 2015 года с перспективой до 2025 года. Среди прочих мероприятий в плане уделяется приоритетное внимание развитию энергетики в сельских и отдаленных районах [14].

Строительство новых дополнительных источников для производства электроэнергии в той или иной стране или регионе требует предоставления всем заинтересованным сторонам специальных инструментов, облегчающих принятие соответствующих решений и разработку проектов. В случае использования солнечной энергии детальное знание солнечных ресурсов и их пространственного распределения по территории имеют решающее значение для внедрения данных технологий в энергетическую систему страны.

В работе [14] представлены результаты исследования заключается в виде карт необходимых компонентов солнечного излучения (глобальная горизонтальная и прямая нормальная интенсивность) во Вьетнаме, рассчитанных на основе комбинации полученной со спутников информации, наземных измерений и данных повторного анализа.

Климатические условия Республики Вьетнам характеризуются преобладанием тропических муссонов, сильной жарой и влажностью. С мая до сентября дуют южные и юго-восточные ветры. В период с октября по апрель преобладают северные муссоны с северными и северо-восточными ветрами. Между каждым муссонным сезоном дважды в год наблюдается переходный период переменных ветров. В период с мая по сентябрь (южный муссон) наблюдается одиночный сезон дождей.

Характеристики солнечной радиации во Вьетнаме являются результатом работы с несколькими источниками информации для обеспечения наиболее точной количественной оценки в соответствии с имеющейся наземной информацией. Источники информации представляют собой спутниковые снимки, выходные данные модели погодных условий и коэффициента пропускания и наземные измерения продолжительности солнечного света.

На основе анализа интенсивности солнечного излучения в разрезе провинций Республики Вьетнам по каждому месяцу года для исследования была выбрана провинция Нинь Туан, климат которой является наиболее солнечным в течение всего года.

### Результаты и обсуждение

В результате расчета по представленным зависимостям были определены значения КПД объекта малой распределенной генерации мощностью 4,6 МВт и расхода топлива. В расчете учитывался сезонный характер изменения интенсивности солнечного излучения и зависящее от него температуры окружающего воздуха. Графики зависимости температуры от интенсивности солнечного излучения ( $DNI$ ) по четырем месяцам года, характеризующих различные сезоны приведены на рис.2.

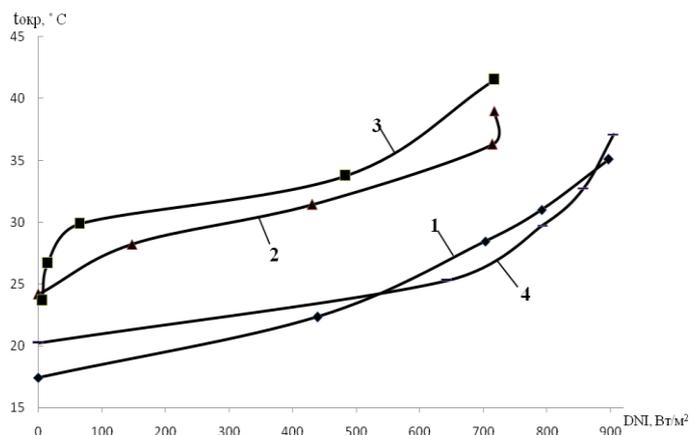


Рис.2. Зависимости температуры окружающего воздуха от интенсивности солнечного излучения:  
1 – февраль; 2 – май; 3 – август; 4 – ноябрь

В связи с тем, что интенсивность солнечного излучения характеризуется существенной неравномерностью в течение дня был исследован весь диапазон от 0 до максимального значения  $900 \text{ Вт/м}^2$ .

Для традиционной схемы с ГТУ при увеличении температуры окружающего воздуха увеличиваются затраты мощности на привод компрессора, соответственно, для выработки требуемой мощности 4,6 МВт необходимо увеличить подачу топлива и общая эффективность объекта снижается с 35 до 33,5-34% (рис. 3, кривые 1', 2', 3', 4'), а расход топлива возрастает с 350 до 355-360 г/кВт·ч (рис. 4, кривые 1', 2', 3', 4').

При реализации гибридной схемы с увеличением интенсивности солнечного излучения, даже при повышении температуры окружающего воздуха, КПД возрастает до значения 41% в августе и максимально до 45% в ноябре. При этом расход топлива снижается весьма существенно для августа до 297 г/кВт·ч и для ноября до 274 г/кВт·ч.

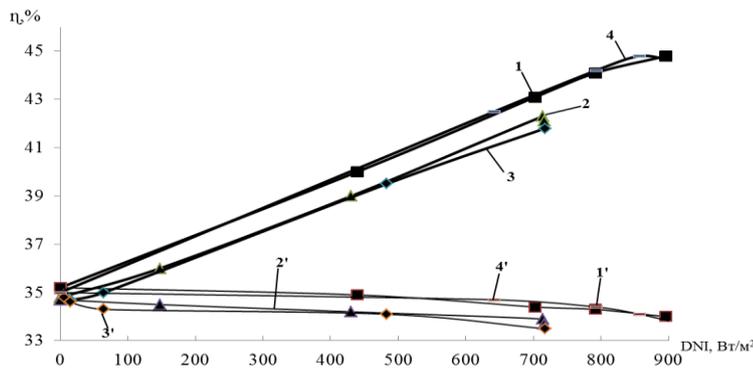


Рис. 3. Зависимости КПД станции от интенсивности солнечного излучения: 1 – февраль, гибридная схема; 2 – май, гибридная схема; 3 – август, гибридная схема; 4 – ноябрь, гибридная схема; 1' – февраль, традиционная схема; 2' – май, традиционная схема; 3' – август, традиционная схема; 4' – ноябрь, традиционная схема

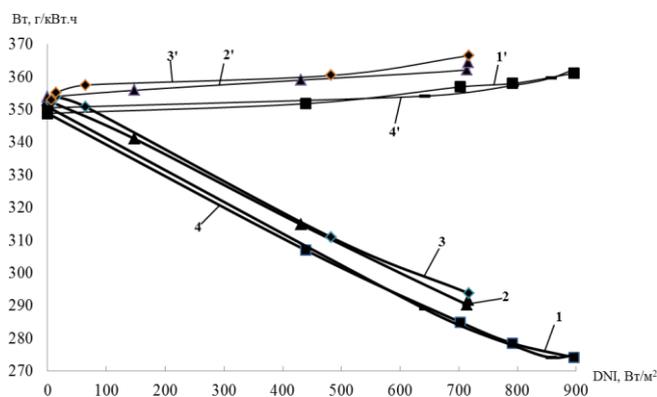


Рис. 4. Зависимости расхода топлива от интенсивности солнечного излучения: 1 – февраль, гибридная схема; 2 – май, гибридная схема; 3 – август, гибридная схема; 4 – ноябрь, гибридная схема; 1' – февраль, традиционная схема; 2' – май, традиционная схема; 3' – август, традиционная схема; 4' – ноябрь, традиционная схема

### Заключение и выводы

Использование гибридных схем для объектов малой распределенной энергетики позволяет эффективно сочетать различные источники энергии – традиционное топливо, в частности газообразное, и солнечную энергию. Такое сочетание наиболее эффективно для стран, обладающих значительными ресурсами солнечной энергии.

Проведенный анализ эффективности использования гибридной схемы для малой электростанции, работающей на базе ГТУ, мощностью 4,6 МВт для провинции Нинь Туан Республики Вьетнам для различных сезонов года, отличающихся солнечной интенсивностью, показал, что КПД станции может быть увеличен на 6-10%, что обусловлено снижением расхода топлива на 1 кВт·ч производимой энергии до минимального значения 274 г/кВт·ч.

Полученные результаты доказывают целесообразность применения объектов малой распределенной генерации различной мощности в энергетической системе Республики Вьетнам.

### Литература

1. Carpinelli G., Mottola F., Proto D., et al. Optimal allocation of dispersed generators, capacitors and distributed energy storage systems in distribution networks // IEEE Modern Electric Power Systems, 2010, Wroclaw, Poland.
2. Fidalgo J. N., Dalila B. M., M. Fontes, et al. Decision Support System to Analyze the Influence of Distributed Generation in Energy Distribution Networks // Optimization in the Energy Industry. 2009. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. pp. 59-77.
3. Gielena D., Boshella F., Sayginb D., et al. The role of renewable energy in the global energy transformation // Energy Strategy Reviews. 2019. V.24. pp. 38-50.

4. Spelling J.D. Hybrid Solar Gas-Turbine Power Plants. A Thermo-economic Analysis. Stockholm, Sweden: Sweden Universitetservice US-AB, 2013. p.279.
5. Md Tasbirul Islam, Nazmul Hud, Abdullah AB, et al. A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. V.90. pp.987-1018.
6. Cavallaro F. Multi-criteria decision aid to assess concentrated solar thermal technologies // *Renew Energy*. 2009. Vol. 34. pp.1678-1685.
7. Solar PACES. CSP projects around the world. Available from <http://www.solarpaces.org/csp-technology/csp-projects-around-the-world>; 2016. Accessed to: 07 May 2016.
8. Behar O, Khellaf A, Mohammadi K. A review of studies on central receiver solar thermal power plants // *Renew Sustain Energy Rev*. 2013. V.23. pp.12-39.
9. Kalogirou SA. Solar thermal collectors and applications // *Progress Energy Combust Sci*. 2004. V.30. pp.231-95.
10. EIA. U.S. Energy Information Administration international energy outlook. Available from [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf); 2017. Accessed to: 22 January 2018.
11. El Gharbi N, Derbal H, Bouaichaoui S, et al. A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies. *Energy Procedia*. 2011. V.6. pp.565-572.
12. Chemisana D. Building integrated concentrating photovoltaics: a review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2011. V.15. pp.603-611.
13. Zhang H., Baeyens J., Degreve J., et al. Concentrated solar power plants: review and design methodology. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013. V.22. pp.466-481.
14. Polo J., Bernardos A., Navarro A.A., et al. Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite-derived and GIS-based information // *Energy Conversion and Management*. 2015. V.98. pp. 348-358.

#### Авторы публикации

**Нгуен Дык Тоан** – аспирант кафедры «Энергетическое машиностроение», Казанский государственный энергетический университет.

**Мингалеева Гузель Рашидовна** – д.т.н., зав.кафедрой «Энергетическое машиностроение», Казанский государственный энергетический университет. Email: mingaleeva-gr@mail.ru.

**Савина Мария Валерьевна** – к.т.н., доцент кафедры «Энергетическое машиностроение», Казанский государственный энергетический университет.

#### References

1. Carpinelli G, Mottola F, Proto D, Russo A. Optimal allocation of dispersed generators, capacitors and distributed energy storage systems in distribution networks. *IEEE Modern Electric Power Systems*. 2010, Wroclaw, Poland.
2. Fidalgo JN, Dalila BM, M. Fontes, et al. A Decision Support System to Analyze the Influence of Distributed Generation in Energy Distribution Networks. *Optimization in the Energy Industry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009. pp. 59-77.
3. Gielen D, Boshella F, Sayginb D, et al. The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*. 2019;24:38-50.
4. Spelling J.D. Hybrid Solar Gas-Turbine Power Plants. *A Thermo-economic Analysis*. Stockholm, Sweden: Sweden Universitetservice US-AB, 2013. 279 p.
5. Md Tasbirul Islam, Nazmul Hud, A.B. Abdullah, R. Saidur A comprehensive review of state-of-the-art concentrating solar power (CSP) technologies: Current status and research trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018;90:987-1018.
6. Cavallaro F. Multi-criteria decision aid to assess concentrated solar thermal technologies. *Renew Energy*. 2009;34:1678-1685.
7. SolarPACES. *CSP projects around the world*. Available from <http://www.solarpaces.org/csp-technology/csp-projects-around-the-world>; 2016. Accessed to: 07 May 2016.
8. Behar O, Khellaf A, Mohammadi K. A review of studies on central receiver solar thermal power plants. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013;23:12-39.
9. Kalogirou SA. Solar thermal collectors and applications. *Progress Energy Combust Sci*. 2004;30:231-95.
10. EIA. U.S. Energy Information Administration international energy outlook. Available at: [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf); 2017. Accessed to :22 January 2018.

11. El Gharbi N, Derbal H, Bouaichaoui S, et al. Comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies. *Energy Procedia*. 2011;65:65-572.
12. Chemisana D. Building integrated concentrating photovoltaics: a review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2011;5:603–611.
13. Zhang H, Baeyens J, Degreve J, et al. Concentrated solar power plants: review and design methodology. *Renew Sustain Energy Rev*. 2013. V.22. P.466-481.
14. Polo J, Bernardos A, Navarro AA, et al. Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite-derived and GIS-based information. *Energy Conversion and Management*. 2015;98:348-358.

#### **Authors of the publication**

**Nguyen D. Tuoang** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

**Guzel R. Mingaleeva** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia. Email: mingaleeva-gr@mail.ru.

**Maria V. Savina** – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

*Поступила в редакцию*

*01 ноября 2019г.*