



ВКЛЮЧЕНИЕ В ПАРОГАЗОВЫЙ ЦИКЛ ГАЗОТУРБИНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ИРАКА СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ КАК СПОСОБ РЕШЕНИЯ ДЕФИЦИТА МОЩНОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ СТРАНЫ

Ахмед З. Абасс¹, Д.А. Павлюченко², А.М. Балабанов³, В.М. Лесс⁴

Новосибирский государственный технический университет,
г. Новосибирск, Россия

ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0003-1836-3435>, theking.amir@mail.ru

ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9557>, pavlyuchenko@corp.nstu.ru

ORCID³: <https://orcid.org/0000-0001-9656-3403>, balabanov_a_m@mail.ru

ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0001-1820-2527>, lessv134@gmail.com

Резюме: При высоких температурах окружающего воздуха производительность газотурбинных электростанций значительно падает. Технические решения по компенсации потерь связаны с постоянным впрыском воды в воздухозаборник ГТУ. Такой подход не приемлем в регионах с ограниченными запасами пресной воды. Для уменьшения себестоимости генерируемой энергии требуются радикальные решения. Технология интегрированный комбинированный солнечный цикл (ISCCS) хорошо зарекомендовала себя на многих проектах. Дополнение парогазового цикла солнечной энергией позволяет существенно увеличить общий КПД электростанции. Несмотря на рост расходов при строительстве солнечной ее части, общие расходы на эксплуатацию солнечных коллекторов в разы меньше, чем турбинной установки. Учитывая общемировую тенденцию борьбы с выбросами углекислого газа, переход на гибридную схему является экономически привлекательным. Торговля углеродным кредитом выброса CO₂ позволит значительно сократить срок окупаемости строительства модернизации ГТУ по схеме ISCCS. В данной работе представлен вариант модернизации газотурбинной электростанции города Басра (Ирак), с использованием преимуществ солнечного излучения и рециркуляции продуктов сгорания от ГТУ. Предлагается дооснастить существующую ГТУ 200 МВт двумя паротурбинными установками мощностью 75 и 65 МВт, работающих совместно с солнечными коллекторами, вырабатывающими водяной пар низкого давления. Благодаря модернизации, КПД электростанции должен вырасти с 38 до 55%. Пересмотр схемно-технических решений электростанций Ирака позволит производить объем энергии достаточный для региона.

Ключевые слова: газотурбинная установка - CCGT (combined cycle gas turbine); интегрированный комбинированный солнечный цикл – ISCCS (integrated solar combined cycle system); параболический солнечный коллектор - PTC (parabolic rough collector); прямое парообразование - DSG (direct steam generation); парогенератор с рекуперацией тепла - HRSG (heat recovery steam generator).

Для цитирования: Ахмед З. Абасс, Павлюченко Д.А., Балабанов А.М., Лесс В.М. Включение в парогазовый цикл газотурбинных электростанций ирака солнечной энергии как способ решения дефицита мощности энергосистемы страны // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2020. Т. 22. № 2. С. 98-107. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-1-98-107.

INCLUSION OF SOLAR ENERGY IN IRAQ GAS-TURBINE POWER PLANTS AS A METHOD OF SOLVING THE COUNTRY'S ENERGY SYSTEM SHORTAGE

Ahmed Z. Abass¹, D.A Pavlyuchenko², A.M. Balabanov³, V.M. Less⁴

Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia

ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0003-1836-3435>, theking.amir@mail.ru

ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-4522-9557>, pavlyuchenko@corp.nstu.ru

ORCID³: <https://orcid.org/0000-0001-9656-3403>, balabanov_a_m@mail.ru

ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0001-1820-2527>, lessv134@gmail.com

Abstract: At high ambient temperatures, the performance of gas turbine power plants drops significantly. Technical solutions of compensation for losses associated with the constant injection of water into the air intake of a gas turbine. This approach is not acceptable in regions with limited fresh water reserves. Radical solutions are required to reduce the cost of generated energy. Integrated Combined Solar Cycle (ISCCS) technology has proven itself on many projects. The addition of a combined cycle gas cycle with solar energy can significantly increase the overall efficiency of the power plant. Despite the increase in costs during the construction of its solar part, the total cost of operating solar collectors is several times less than a turbine installation. Given the global trend to fight carbon emissions, switching to a hybrid scheme is economically attractive. Trading in carbon credits for CO₂ emissions will significantly reduce the payback period for the construction of gas turbine modernization under the ISCCS scheme. This paper presents an option to modernize a gas turbine power plant in the city of Basra (Iraq), using the advantages of solar radiation and recycling of combustion products from gas turbines. It is proposed to equip the existing 200 MW gas turbine plant with two steam turbine units with a capacity of 75 and 65 MW, working in conjunction with solar collectors producing low pressure water vapor. Due to modernization, the efficiency of the power plant should increase from 38% to 55%. The revision of the schematic and technical solutions of Iraq power plants will allow producing sufficient energy for the region.

Keywords: CCGT - combined cycle gas turbine; ISCCS - integrated solar combined cycle system; PTC - parabolic trough collector; DSG - direct steam generation; HRSG - heat recovery steam generator.

For citation: Ahmed Z. Abass, Pavlyuchenko D.A, Balabanov A.M, VM. Less. Inclusion of solar energy in iraq gas-turbine power plants as a method of solving the country's energy system shortage // *Power engineering: research, equipment, technology.* 2020; 22(2):98-107. doi:10.30724/1998-9903-2020-22-2-98-107.

Введение

Сегодня результаты геополитических решений сказываются на качестве жизни целых регионов. Резкий рост цен на нефть или вооруженные конфликты могут стать фатальными для промышленности любой страны, где нет альтернативного топлива.

Так, до 1990 года электроэнергетика Ирака была одной из лучших на Ближнем Востоке. В результате войн и санкций 1990-х и 2003-х годов Иракская электроэнергетическая инфраструктура сильно пострадала. Для сглаживания разрыва между спросом и предложением Ираку необходимо приступить к строительству не менее 5-ти крупных теплоэлектростанций и распределительной сети, включающей 25 подстанций мощностью 400 кВ/250 МВА и 159 подстанций мощностью 132 кВ/3х63 МВА. Для восстановления полноценного функционирования иракской электрической системы и удовлетворения текущего спроса требуется финансирование в размере \approx 20 млрд. долларов [1].

Население Ирака, как ожидается, достигнет 55,85 млн. чел. к 2030 году и прогнозируемый спрос на электроэнергию достигнет 60 000 МВт. Сегодня иракские семьи для компенсации дефицита электроэнергии используют дизель-генераторы [2].

Существующий дефицит требует форсировать поиски других схем генерации с более высокой эффективностью, более низкой себестоимостью кВтч и Гкал, более коротким временем монтажа и ввода в эксплуатацию оборудования, а также с более чистыми источниками энергии. Для того чтобы дать Иракскому электротехническому сектору реальный толчок и догнать растущий спрос, авторы предлагают включить в парогазовый цикл существующих газотурбинных электростанций энергию солнца от солнечных коллекторов.

Только модернизация основных действующих электростанций Ирака с форсированием их мощности выше существующего уровня позволит пересмотреть цены на электроэнергию и преобразовать электроэнергетический сектор в самокупаемую отрасль [1].

Технология преобразования солнечной энергии на сегодня достаточно хорошо изучена, что снижает риски по модернизации электростанций Ирака.

Старейшие в мире промышленные концентраторы солнечной энергии – CSP (*Concentrated Solar Power*) построены на *Solar Energy Generating Systems (SEGS, США)* в 1984 году, а к 1990 году их мощность нарастили в девять раз, до 357 МВт генерируемых

параболическими солнечными коллекторами – *PTC (Parabolic Trough Collector)*. Кроме *SEGS*, в США эксплуатируются еще три солнечных тепловых электростанции суммарной генерирующей мощностью ≈ 810 МВт [3].

Опытная солнечная электростанция комбинированного цикла – *ISCCS (Integrated Solar Combined Cycle System)* была построена *Luz Solar International* в 1990 году. С накоплением опыта эксплуатации в 2000 году *Global Environment Facility* выделило гранты на строительство систем *ISCCS* в Мексике, Марокко, Индии и Египте. В настоящее время количество электростанций *ISCCS* с каждым годом растет. Алжир успешно реализовал *ISCCS* 150 МВт с *CSP* 20 МВт; в Иране *ISCCS* 64 МВт с *CSP* 17 МВт соответственно [3].

Следует отметить, что эффективность преобразования солнечной энергии в тепло и электричество связано с концептуальными инженерными решениями, встречающимися в схемах парогазового цикла: *PTC (Parabolic Trough Collector)*; *SEGS (Solar Electric Generating System)*; *DISS (Direct Solar Steam)*; *ISCCS (Integrated Solar Combined Cycle System)*; *HTF (Heat Transfer Fluids)*; *CRS (Central Receiver System)*; *CC (Combined Cycle)*; *HRSG (Heat Recovery Steam Generator)*; *DSG (Direct Steam Generation)* и другие [4].

Во многих странах эксплуатируются газотурбинные электростанции – *CCGT (Combined Cycle Gas Turbine)*. Например, *CCGT* в ОАЭ, где засушливый субтропический климат с очень жарким летом и теплой зимой, испытывают большие потери, так как выходная мощность газовой турбины уменьшается с повышением температуры окружающей среды [5]. Эта физическая зависимость хорошо известна в авиации. Повышение плотности воздуха зимой широко используется транспортной авиацией при планировании доставок тяжелых грузов. Авиаперевозки зимой позволяют уменьшить разбег воздушного судна и сократить расход топлива. Для повышения мощности ГТУ в теплый и жаркий период года используют впрыск воды в воздухозаборник турбины.

Интеграция солнечной энергетики с природным газом (конкретнее с *CCGT*) получила название *NGCC (Natural Gas Combined Cycle)*, и может рассматриваться как промежуточный шаг на пути к оптимальному использованию возобновляемых источников энергии. Комбинированная система *ISCCS (Integrated Solar Combined Cycle System)* является наиболее перспективной альтернативой обычным солнечным тепловым установкам *CSP* [5].

При правильном выборе схемно-технических решений есть потенциал еще увеличить КПД. Так результаты моделирования показали, что концепция *DSG (Direct Steam Generation)* повышает производительность электростанций Алжира при любом режиме работы в среднем на 4% в течение года по сравнению с *ISCCS* [4].

Работы по повышению КПД гибридных станций так же ведутся и в области теплоносителей. Наиболее распространенным рабочим телом является – вода/пар, расплавленные соли, жидкий натрий или воздух. В 2014 году было предложено новое поколение солей на базе смеси бинарных и тройных эвтектических галоидных солей, таких как $KCl-AlCl_3$ и $NaCl-KCl-ZnCl_2$, которые имеют низкую вязкость и низкое давление пара, что делает их очень перспективными для *HTF (Heat Transfer Fluids)* [6].

Заслуживает внимания переход с *PTC (Parabolic Trough Collector)* на централизованную приемную систему – *CRS (Central Receiver System)* с комбинированным циклом – *CC (Combined Cycle)*. Новая конфигурация объемного приемника солнечной башни *CRS* позволяет парогенератору рекуперации тепла – *HRSG (Heat Recovery Steam Generator)* эффективнее работать в режиме нагрева, что значительно повышает КПД электростанции [7].

Министерство энергетики Ирака уже проанализировало мировой опыт и планирует генерировать за счет *CSP* дополнительно 5500 МВт в общей мощности существующих электростанций. По оценкам иракских инженеров, только одна гибридная электростанция в Аль-Анбар на базе 200 МВт турбины и 50 МВт *CSP* позволит сократить ежегодные эксплуатационные расходы на 8%. Увеличение генерируемой мощности позволит нарастить объем производства сжиженного газа в районе на 9%. При этом сокращение выбросов углекислого газа в Ираке сократится на 81 000 т³/год [3].

Для наглядности, каждый квадратный метр зеркал *CSP* позволит избежать 405 т выбросов CO_2 в атмосферу, что эквивалентно отказу от работы 16 473 автомобилей. Зная, что Ирак подписал Соглашение об изменении климата (Париж, 2015г.), страна может торговать этим углеродным кредитом с другими промышленно развитыми странами. На примере электростанции в Аль-Анбар для рассматриваемой солнечной генерации 50 МВт, потенциальный объем торговли углеродным кредитом выброса CO_2 по цене 40 \$/т, позволит сократить срок окупаемости строительства гибридной электростанции на 3 241

200 \$/год [3].

Специалисты министерства энергетики Ирака считают, что внедрение в тепло-электрическую схему существующих электростанций устройств преобразования солнечной энергии позволит существенно снизить себестоимость вырабатываемой электроэнергии, увеличить объем генерируемой мощности, оперативно решить вопросы дефицита энергии, и, как следствие увеличить объем прибыли, что так важно для восстановления экономики Ирака [8].

Материалы и методы

Схема парогазового цикла, анализируемая в настоящем исследовании, представлена на рис. 1.

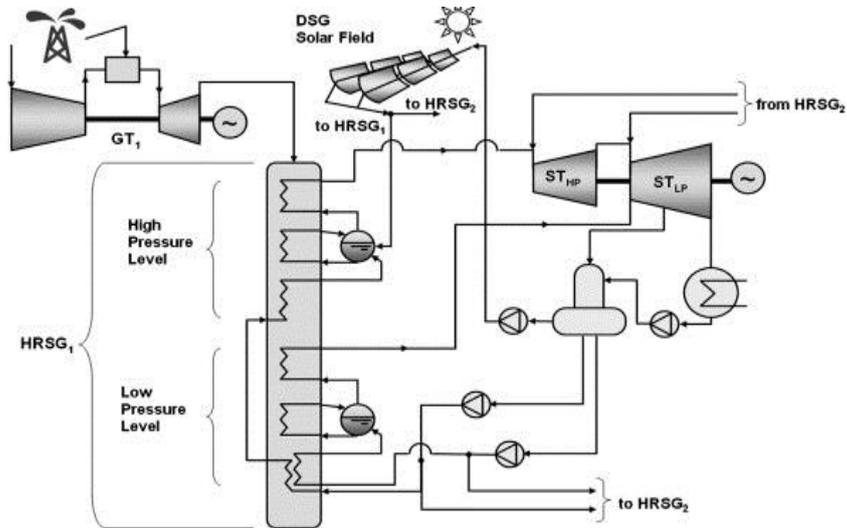


Рис. 1. Схема включения солнечных коллекторов в парогазовый цикл электростанции и пример внешнего вида ГТУ с полем солнечных коллекторов

В качестве прототипа принята 200 МВт ГТУ города Басра. Схема дополнена двумя паровыми турбинами (ПТУ) мощностью 75 МВт (с высоким давлением – *STHP*) и 65 МВт (с низким давлением – *STLP*). ПТУ с рекуперацией тепла *HRSG* работает совместно с солнечными коллекторами ПТС, которые могут генерировать пар напрямую (*DSG – Direct Steam Generation*) или осуществлять тепловой цикл через теплообменник с рабочим телом НТФ из расплава соли или термостойкого масла.

Характеристики солнечных коллекторов ПТС в нашем исследовании приняты с учетом исследований [9].

Концептуальные схемно-технические решения приняты на основании работы [10]. Электростанция работает по комбинированному циклу, где горячие выхлопные газы из ГТУ используются для генерации пара в *HRSG* и последующего привода ПТУ. Дополнительное количество пара генерируется в солнечном парогенераторе *DSG* и также подается в *HRSG*.

Таким образом, часть рабочего тела нагревается в *DSG*, а затем весь объем перегревается выхлопными газами газовой турбины в *HRSG*, где преобразуется экономайзером (*High Pressure Level, Low Pressure Level*) в насыщенный пар [11].

Ночью электростанция работает без *DSG*, так как накопление тепловой энергии экономически не выгодно для данной схемы.

Уравнения баланса энергии для парогазового цикла написаны и решены с использованием программного обеспечения *Engineering equation solver software (EES)*. Решение реализовано на базе итеративного подхода. Уравнения, используемые для анализа ГТУ и ПТУ приняты из исследовательской работы [12].

Полезный прирост тепловой мощности от использования *DSG* определяется по методике, приведенной в источнике [13].

Основу модели составляют следующие математические зависимости:

$$Q_a = F_R \cdot (A_a \cdot DNI \cdot \cos(\theta) \cdot \eta_{optical} \cdot K_\theta - A_r \cdot U_{abs} \cdot (T_r - T_a))$$

$$K_\theta = 1 - 6,74e(-5) \cdot \theta^2 + 1,64e(-6) \cdot \theta^3 - 2,51e(-8) \cdot \theta^4$$

$$DNI = I \cdot \cos(\theta_z)$$

$$W_{ISCC} = W_{gt} + W_{T1} + W_{T2}$$

$$\eta_{ISCC} = W_{ISCC} / E_{in}$$

$$F_{solar} = W_{solar} / W_{ISCC}$$

Для Ирака характерны очень высокие температуры в летние месяцы (до +52° С) и умеренные – зимой, зафиксированная абсолютная минимальная температура в январе составляла +4° С. Скорость ветра ниже средней и колеблется от 2,5 м/с в декабре-январе до 4,1 м/с в июле. Ирак расположен недалеко от экватора. Периоды ясного времени в году колеблются от 2800 до 3300 часов в год. В ходе моделирования использовались статистические данные солнечной радиации в районе между Басрой и Нассрией за 2017 год, а также опыт предыдущих исследований [2, 14, 15] (табл. 1).

Таблица 1

Солнечная радиация, кВтч/м²

Широта	Долгота	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Среднее
30,25	46,25	3,54	4,42	5,22	6,02	6,99	8,97	7,93	7,07	6,36	5,04	3,52	3,29	5,57
30,25	47,25	3,44	4,12	5,06	5,86	6,96	8,91	7,97	7,00	6,31	4,99	3,52	3,21	5,47
30,25	48,25	3,27	4,16	5,02	5,67	6,95	8,87	7,98	6,90	6,28	4,98	3,52	3,14	5,41
31,25	46,75	3,18	4,24	5,05	5,67	6,74	8,87	7,91	6,94	6,19	4,83	3,22	3,03	5,35
31,25	47,25	3,13	4,13	5,06	5,61	6,90	8,82	7,90	6,87	6,16	4,85	3,31	3,01	5,33
31,25	48,25	3,14	4,14	5,09	5,68	7,01	8,94	7,97	6,63	6,19	4,94	3,41	3,09	5,37

Результаты

Для город Басра выполнена климатическая выборка для марта, июня, сентября и декабря. На рис. 2 представлена прямая нормальная инсоляция (*DNI*), которая была наиболее высокой в полдень в июне (более 800 Вт/м²) и наименьшей в декабре (около 400 Вт/м²).

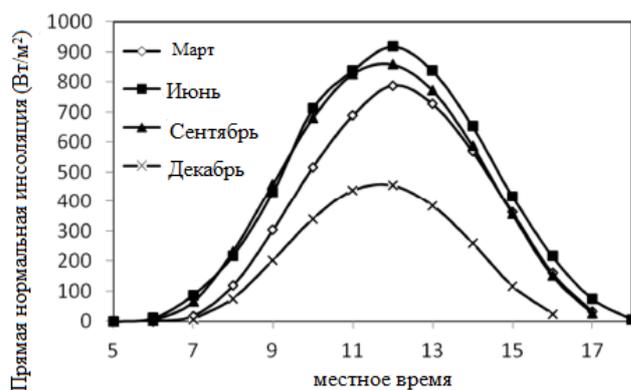


Рис. 2. Прямая нормальная инсоляция

Ожидаемая производительность солнечной станции приведена на рис. 3. Мощность, генерируемая солнечными коллекторами, указана на вертикальной оси графика. Как видно генерируемая мощность в июне выше, чем в декабре, что связано с низким *DNI* зимой.

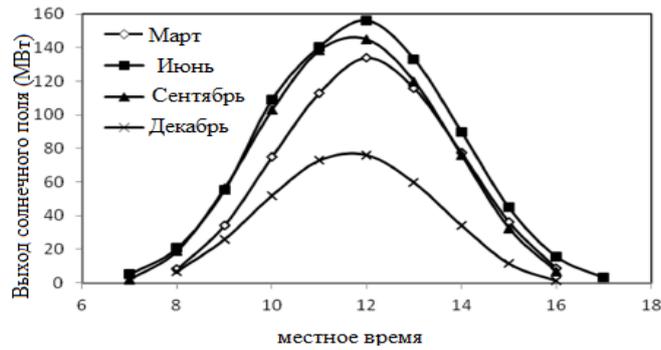


Рис. 3. Эффективность солнечной станции

Результат интегрального энергетического анализа предлагаемых установок, представлен на рис. 4.

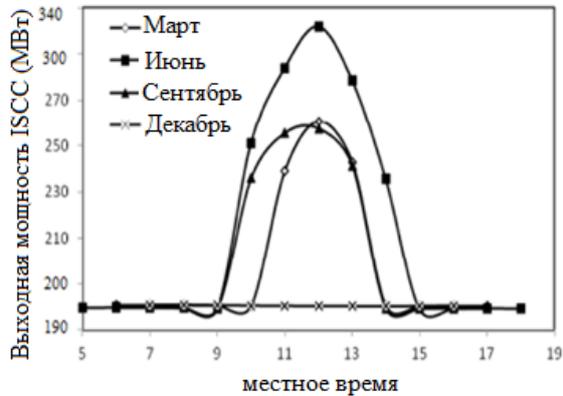


Рис. 4. Эффективность ISCC

Пик вырабатываемой мощности приходится на период с 9 до 15 часов, что совпадает с пиком потребления. Как видно из графика, наброс мощности ISCC отсутствует в декабре из-за низкой интенсивности солнечной инсоляции. Расчеты показывают, что ISCC может вырабатывать до 330 МВт в июне, что приведет к улучшению комбинированного цикла от 38 до 55%, как показано на рис. 5.

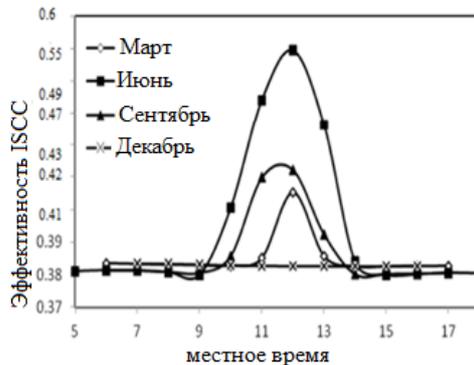


Рис.5. Эффективность ISCC

Процент мощности, производимой за счет преобразования солнечной энергии (названной солнечной фракцией) представлен на рис. 6. Как было показано на рис. 3, уровень солнечной энергии в декабре низкий. Поэтому кривая за декабрь не представлена на рис. 6. В полдень в июне месяце солнечная фракция может составлять 25% (при DNI не менее 800 Вт/м^2), что технико-экономически является приемлемым результатом.

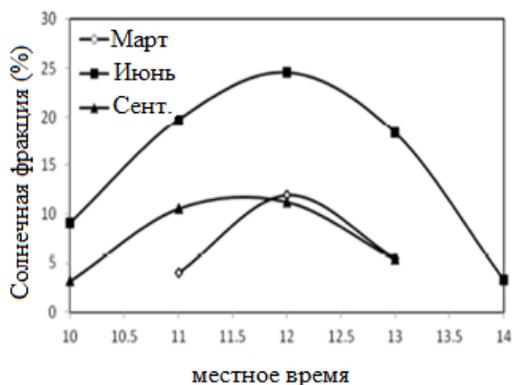


Рис. 6. Солнечная фракция

На рис. 7 представлено сравнение эффективности электростанций на базе технологии *ISCC* и типичных ГТУ. Энергия солнечной станции используется для снижения себестоимости электроэнергии. При увеличении числа солнечных коллекторов с 450 до 600 доля солнечной энергии увеличивается с 24% до $\approx 40\%$.

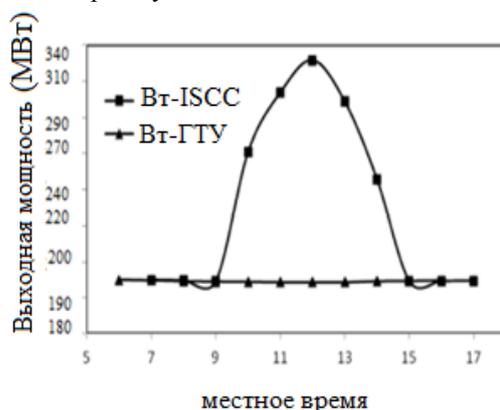


Рис. 7. Сравнение мощности ISCC и ГТУ

Обсуждение

Главная задача энергетики Ирака – это получение максимально возможной прибыли, которая пойдет на восстановление и развитие инфраструктуры. Для достижения цели необходимы радикальные решения [16]. Сегодня это переход на новые схемы – *ISCCS*.

Модель *ISCCS* с *PTC* в Алжире показывает, что максимальный КПД гибридных электростанций следует ожидать при соблюдении условий – высокий *DNI*, низкая скорость ветра, наличие воды и природного газа. Максимальная генерация солнечной энергии ожидается в июне, до 18% [17].

Результаты моделирования *ISCC* в ОАЭ показывают, что общая эффективность станции увеличивается с 52,4 до 61,8%, т.е. на 9,4% [5].

Для сравнения, эффективность гибридной схемы *ISCC* электростанции *Beharetal* в Алжире мощностью 150 МВт составляет 67%, при вкладе солнечной генерации 15% [3].

Переход с *PTC* на централизованную приемную систему – *CRS* может увеличить общий КПД электростанции еще на $\approx 3\%$ [7].

Схема *ISCCS* с *PTC*, в зависимости от доли затрат, позволяет снизить себестоимость энергии примерно на 20%. Ожидаемая эффективность технологии *CSP* в районах Ирака – *Naenawa*, *Al-Anbar*, *Kerbalaa*, *Al-Najaf*, *Diwaniyah*, *Al-Basrah* должна составить не менее 11,3% от общей выработки электроэнергии (около 145 854 МВт в год) [3]. При детальной проработке проектных решений рост мощности гибридных электростанций может составить 13% [18,19].

КПД существующей в Басра газотурбинной электростанции составляет $\approx 38\%$. Модель электростанции с дополнительным циклом *ISCC-DSG* (выполненная авторами) показала рост КПД с 38% до 55%, т.е. на 17%, что сопоставимо с результатами других исследователей.

К недостаткам перехода на гибридную схему следует отнести зависимость от солнечной инсоляции, т.е. фактический простой в зимние месяцы. Экономический анализ

показывает, что расходы на капитальное строительство концентратора солнечной энергии – CSP выше, чем только турбины CCGT. На CSP приходится 67% от общего объема капитальных вложений, но зато эксплуатационные расходы CSP составляют всего около 5% от общей стоимости электростанции ISCCS, т.е. 34 \$/кВт для CSP и 164 \$/кВт для CCGT соответственно [3].

За планируемый срок эксплуатации электростанции г. Басра – 30 лет модернизированная станция позволит сэкономить топлива на ≈ 46 млн. долларов, и при этом существенно снизятся объемы выбросов CO₂. Углеродный кредит позволит значительно сократить срок окупаемости модернизации.

Авторы планируют дополнить математическую модель переходом с РТС (*parabolic trough collector*) на централизованную приемную систему – CRS (*central receiver system*) с комбинированным циклом – CC (*combined cycle*). Новые расчеты должны показать перспективы строительства гибридной станции с солнечной башней CRS.

Заключение

Ирак обладает высоким потенциалом для развития солнечной энергетики. Моделирование парогазового цикла ГТУ, дополненного РТС показало следующие результаты:

- основными факторами, влияющими на производительность электростанции, являются: вид топлива, температура окружающей среды, температура теплоносителя на входе в турбину, объем подводимого тепла, генерируемого солнцем;
- мощность электростанции в г. Басра можно увеличить до 330 МВт при существующей ГТУ 200 МВт;
- КПД электростанции в г. Басра может быть увеличено до 55% (от 38% сегодня), т.е. при работе в течение года выдаваемая генерируемая мощность увеличится на 20-80% по сравнению с существующей схемой на базе ГТУ;
- основными преимуществами схемы ISCCS являются экономия топлива, снижение спроса на электроэнергию в пиковый период, а также сокращение выбросов углерода;
- ожидаемая годовая экономия топлива в пересчете на баррель нефтяного эквивалента составляет около 115 350 бнэ/год;
- сокращение выбросов углерода CO₂ составит около 170 672 т/год;
- потенциальный объем торговли углеродным кредитом выброса CO₂ позволит значительно сократить срок окупаемости строительства модернизации ГТУ по схеме ISCCS.

Литература

1. Reda M., Saied N., Khaldi A., et al. Iraq electrical power infrastructure - past, present and future developments and expectations // IEEE PES Power Systems Conference and Exposition; Atlanta, GA; 2006. pp. 1792-1795.
2. Alibage A. Assessing photovoltaic solar technologies as a solution for the problem of power shortage in Iraq // Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET); Honolulu, HI; 2018. pp. 1-16.
3. Khalidah A J., Al-Qayim. Integrated solar thermal combined cycle for power generation in Iraq // Materials Science and Engineering, V.518, Electric and Electronic Engineering; Published under licence by IOP Publishing Ltd.
4. Boumedjirek M., Merabet A., Feidt M., Meriche I.E. Performance evaluation of parabolic trough power plants on direct steam generation and integrated solar combined cycle system in Algeria. // International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC); Tangier; 2017. pp. 1-8.
5. Talukder P., Soori P. K., Integration of parabolic trough collectors with natural gas Combined Cycle power plants in United Arab Emirates // International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE); Offenburg. 2015. pp. 62-69.
6. Li C.-J., Li P., Wang K., Molina E. Survey of properties of key single and mixture halide salts for potential application as high temperature heat transfer fluids for concentrated solar thermal power systems. AIMS Energy 2(2). 2014. pp. 133-157.
7. Amani M., Ghenaiet A., Smaili A. Determination of the performance of a solar tower integrated with a Combined Cycle // 6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC); Rabat, Morocco. 2018. pp. 1-6.
8. Ministry of electricity Iraq Available at: <https://www.moelc.gov.iq/>. Accessed to: 12 February 2020
9. Darwish M.A. On the use of integrated solar-combined cycle with desalting units in Qatar 2015, 53 (4). pp. 855-875.
10. Nezammahalleh H., Farhadi F., Tanhaemami M. Conceptual design and techno-economic

assessment of integrated solar combined cycle system with DSG technology. *Solar energy*. 2010. 84(9). pp. 1696-1705.

11. Zachary J. *Integrated Solar Combined Cycle (ISCC) Systems // Combined Cycle Systems for Near-zero Emission Power Generation*; Book; Woodhead Publishing Series in Energy. 2012. N. 32. pp. 283-305.

12. Baghernejad A., Yaghoubi M. Exergoeconomic analysis and optimization of an Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS) using genetic algorithm. *Energy Conversion and Management*. 2011. 52 (5). pp. 2193-2203.

13. Dersch J. Trough integration into power plants-a study on the performance and economy of integrated solar combined cycle systems. *Energy*. 2004. 29 (5-6). pp. 947-959.

14. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources. Available at: <https://power.larc.nasa.gov/>. Accessed to: 12 February 2020

15. Burgermeister J. Iraq looks to solar energy to help rebuild its economy URL: Available at: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/03/iraq-looks-to-solar-energy-to-help-rebuild-itseconomy>. Accessed to: 12 February 2020

16. Al-Waeely A.A., Salman S.D., Abdol-Reza W.K., et al. Evaluation of the spatial distribution of shared electrical generators and their environmental effects at Al-Sader City-Baghdad-Iraq. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS*. 2014, V.14, N. 2, pp. 16-23.

17. Abdelhafidi N., Bachari N., Abdelhafidi Z., Cheknane A., Mokhnache A. Castro L. Modeling of integrated solar combined cycle power plant (ISCC) of HassiR'mel, Algeria. *International Journal of Energy Sector Management*. 2019.

18. Leo J., Davelaar F., Besançon G., Voda A., Girard A. Coordinated control for an Integrated Solar Combined Cycle. *European Control Conference (ECC)*; Linz. 2015. pp. 2414-2419.

19. Ahmed Z. Abass, D.A. Pavlyuchenko. The exploitation of western and southern deserts in Iraq for the production of solar energy. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. V. 9, N. 6, pp. 4617-4624.

Авторы публикации

Ахмед Зекар Абасс – аспирант, «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).

Дмитрий Анатольевич Павлюченко – канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой систем электроснабжения предприятий, «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).

Артем Михайлович Балабанов – студент, «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).

Виталий Максимович Лесс – студент, «Новосибирский государственный технический университет» (НГТУ).

References

1. Reda M., Saied N., Khaldi A., Abdul-Hussain M. a., Ekwue A. Iraq electrical power infrastructure - past, present and future developments and expectations. *IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*; Atlanta, GA; 2006. pp. 1792-1795. doi: 10.1109/PSCE.2006.296184.

2. Alibage A. Assessing photovoltaic solar technologies as a solution for the problem of power shortage in Iraq. *Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET)*; Honolulu, HI; 2018. pp. 1-16. doi: 10.23919/PICMET.2018.8481984.

3. Khalidah A J Al-Qayim *Integrated solar thermal combined cycle for power generation in Iraq Materials Science and Engineering*, V. 518, Electric and Electronic Engineering; Published under licence by IOP Publishing Ltd. doi: 10.1088/1757-899X/518/4/042002.

4. Boumedjirek M., Merabet A., Feidt M., Meriche I.E. Performance evaluation of parabolic trough power plants on direct steam generation and integrated solar combined cycle system in Algeria. *International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*; Tangier; 2017. pp. 1-8. doi: 10.1109/IRSEC.2017.8477315.

5. Talukder P., Soori P. K., Integration of parabolic trough collectors with natural gas Combined Cycle power plants in United Arab Emirates. *International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*; Offenburg. 2015. pp. 62-69. doi: 10.1109/ICSGCE.2015.7454270.

6. Li C.-J., Li P., Wang K., Molina E. Survey of properties of key single and mixture halide salts

for potential application as high temperature heat transfer fluids for concentrated solar thermal power systems. *AIMS Energy* 2(2). 2014. pp. 133-157. doi: 10.3934/energy.2014.2.133

7. Amani M., Ghenaiet A., Smaili A. Determination of the performance of a solar tower integrated with a Combined Cycle. *6th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*; Rabat, Morocco. 2018. pp. 1-6. doi: 10.1109/IRSEC.2018.8703000

8. *Ministry of electricity Iraq* Available at: <https://www.moelc.gov.iq/>. Accessed: 12 February 2020.

9. Darwish M.A. On the use of integrated solar-combined cycle with desalting units in Qatar. *Desalination Water Treat.* 2015, 53 (4). pp. 855-875. doi: 10.1080/19443994.2014.994264].

10. Nezammahalleh H., Farhadi F., Tanhaemami M. Conceptual design and techno-economic assessment of integrated solar combined cycle system with DSG technology. *Solar energy.* 2010. 84(9). pp. 1696-1705. doi: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.05.007>.

11. Zachary J. Integrated Solar Combined Cycle (ISCC) Systems. *Combined Cycle Systems for Near-zero Emission Power Generation; Book; Woodhead Publishing Series in Energy.* 2012. N. 32. pp. 283-305. doi: 10.1016/B978-0-85709-013-3.50010-9.

12. Baghernejad A., Yaghoubi M. Exergoeconomic analysis and optimization of an Integrated Solar Combined Cycle System (ISCCS) using genetic algorithm. *Energy Conversion and Management.* 2011. 52 (5). pp. 2193-2203. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.019>.

13. Dersch J. Trough integration into power plants-a study on the performance and economy of integrated solar combined cycle systems. *Energy.* 2004. 29(5-6). pp. 947-959. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6701\(05\)80188-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6701(05)80188-2).

14. *NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources.* Available at: <https://power.larc.nasa.gov/>. Accessed to: 12 February 2020.

15. Burgermeister J. *Iraq looks to solar energy to help rebuild its economy* URL: Available at: <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/03/iraq-looks-to-solar-energy-to-hel-rebuild-itseconomy>. Accessed to: 12 February 2020.

16. Al-Waeely A.A., Salman S.D., Abdol-Reza W.K., Chaichan M.T., Kazem H. A. Al-Jibori H. S. Evaluation of the spatial distribution of shared electrical generators and their environmental effects at Al-Sader City-Baghdad-Iraq. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS.* 2014, V.14, N. 2, pp. 16-23. doi: 10.24842/1611/0022/.

17. Abdelhafidi N., Bachari N., Abdelhafidi Z., Cheknane A., Mokhnache A. Castro L. Modeling of integrated solar combined cycle power plant (ISCC) of HassiR'mel, Algeria. *International Journal of Energy Sector Management.* 2019. doi: 10.1108/IJESM-08-2018-0013.

18. Leo J., Davelaar F., Besançon G., Voda A., Girard A. Coordinated control for an Integrated Solar Combined Cycle. *European Control Conference (ECC)*; Linz. 2015. pp. 2414-2419. doi: 10.1109/ECC.2015.7330900.

19. Ahmed Z. Abass, D. A. Pavlyuchenko. The exploitation of western and southern deserts in Iraq for the production of solar energy. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE).* 2019. V.9. N. 6. pp. 4617-4624. doi: 10.11591/ijece.v9i6.pp4617-462.

Authors of the publication

Ahmed Zkear Abass – Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.
Email: theking.amir@mail.ru.

Dmitryi A Pavlyuchenko – Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.
Email: pavlyuchenko@corp.nstu.ru.

Artem M. Balabanov – Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.
Email: balabanov_a_m@mail.ru.

Vitaliy M. Less – Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia.
Email: lessv134@gmail.com.

Поступила в редакцию

22.02.2020г.