

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, ИХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И АГРЕГАТЫ (05.14.14)

УДК 620.9:62.93

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-4-68-77

Оценки технико-экономической эффективности создания парогазовых установок с внутрицикловой газификацией для условий Монголии

Баяр Бат-Эрдэнэ, А.А. Дудолин, И.А. Бураков, Батсамбуу Улзийбадрах

В настоящее время применение парогазовых технологий — перспективное решение для реализации экологически чистого производства электро- и теплоэнергии. Благодаря повторному использованию энергии сгорания газа коэффициент полезного действия (КПД) парогазовой установки (ПГУ) существенно выше традиционных паросиловых блоков (ПСБ). В качестве основного топлива в ПГУ применяют природный газ, обладающий высокой калорийностью и экологичностью применения. Внедрение парогазовых технологий в энергетике Монголии позволит решить ряд ключевых проблем, а также перейти на новый уровень развития экономики страны, однако, для работы ПГУ необходимо газовое топливо, запасы которого в Монголии ограничены. Основной энергетический топливный ресурс страны — уголь, общегеологические запасы которого оцениваются в 150 млрд т. Технология внутрицикловой газификации (ВЦГ) поможет исключить проблему использования в качестве топлива угля, синтезированного в газ. Для обеспечения широкого применения ПГУ с ВЦГ на территории Монголии требуются методы переработки твёрдого топлива в искусственное газовое топливо. Выработываемым искусственным топливом станет синтетический газ — продукт переработки твёрдого топлива в процессе газификации.

Рассмотрены схемные решения, повышающие энергоэффективность и экологичность производства электроэнергии на энергообъектах путем применения ПГУ с ВЦГ. Проведены расчетно-аналитические исследования использования твёрдого топлива для ПГУ с ВЦГ путем получения и сжигания синтетического газа в газовой турбине. Разработаны рекомендации по созданию энергетических блоков комбинированного цикла ПГУ с ВЦГ для условий Монголии.

Ключевые слова: твердое топливо, парогазовая установка, внутрицикловая газификация, экологическое воздействие, вредные выбросы, энергетика Монголии.

Для цитирования: Баяр Бат-Эрдэнэ, Дудолин А.А., Бураков И.А., Батсамбуу Улзийбадрах. Оценки технико-экономической эффективности создания парогазовых установок с внутрицикловой газификацией для условий Монголии // Вестник МЭИ. 2019. № 4. С. 68—77. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-4-68-77.

Feasibility Studies of Making Integrated Gasification Combined Cycle Plants for the Conditions of Mongolia

Bayar Bat-Erdene, A.A. Dudolin, I.A. Burakov, Batsambuu Ulziibadrakh

Today, application of combined-cycle technologies is a promising solution for implementing environmentally clean generation of electricity and heat. Due to the re-use of gas combustion energy, the efficiency of a combined-cycle power plant (CCPP) is essentially higher than that of conventional steam power units (SPU). Natural gas, a substance featuring high calorific value and environmental friendliness of its application, is used as the main fuel for a CCPP. The introduction of combined cycle technologies in the energy sector of Mongolia will make it possible to solve a number of key problems and to make a shift to a new development level of the country's economy. However, CCPPs need gaseous fuel for their operation, and only limited reserves of this fuel are available in Mongolia. Coal is the country's main energy resource, the total geological reserves of which in Mongolia are estimated at 150 billion ton. The integrated gasification combined cycle (IGCC) technology will help solve the problem of using coal as a fuel, which is synthesized into gas. To ensure wide use of IGCC power plants in the territory of Mongolia, methods for

processing solid fuel into artificial fuel gas are required. Synthesis gas, the product of solid fuel processing in the course of its gasification, will become the produced artificial fuel.

The article considers the process circuit solutions that make it possible to achieve better energy efficiency and environmental friendliness of power generation at power facilities through the use of IGCC power plants. Calculated and analytical investigations of using solid fuel for IGCC power plants by producing and combusting synthesis gas in a gas turbine are carried out. Recommendations for constructing IGCC power units for the conditions of Mongolia have been developed.

Key words: solid fuel, combined-cycle power plant, integrated gasification combined cycle, environmental impact, harmful emissions, Mongolia power industry.

For citation: Bat-Erdene Bayr, Dudolin A.A., Burakov I.A., Ulziibadrakh Batsambuu. Feasibility Studies of Making Integrated Gasification Combined Cycle Plants for the Conditions of Mongolia. Bulletin of MPEI. 2019;4:68—77. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-4-68-77.

Общие положения

Более 90% (1067 МВт) установленных мощностей Монголии сосредоточено в Центральной электроэнергетической системе (ЦЭЭС), охватывающей 60% территории страны [1, 2]. В структуре генерирующей мощности электроэнергетической системы (в целом) 92% составляют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с комбинированным производством электрической и тепловой энергии [3]. Центральный регион страны с 2007 г. испытывает дефицит электроэнергии, вплотную приблизившись к пиковому потреблению. Ввиду этого обеспечение г. Улан-Батора теплом и электрической энергией затруднено. Перенаселение крупных городов Эрдэнэта, Дархана и особенно Улан-Батора — одна из главных причин возрастания электро- и теплотребления. Население г. Улан-Батора с 1995 г. возросло почти вдвое, в настоящее время в городе проживает 1401,2 тыс. человек [4]. Потребление электроэнергии увеличивается примерно на 5...7% в год. По прогнозам Министерства энергетики Монголии потребность в электричестве в 2015 — 2030 гг. увеличится с 1500 до 3000 МВт. Прогноз потребления электроэнергии и

пиковые нагрузки ЦЭЭС с 2016 по 2026 гг. представлены на рис. 1 [3, 5].

Быстрый рост населения в населенных пунктах резко обостряет экологические проблемы. Согласно рейтингу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), основанному на анализе данных о загрязнении атмосферы, более 1000 городов за период с 2003 по 2018 гг., г. Улан-Батор был отнесен к числу городов мира с наиболее загрязненной атмосферой [6]. При оценке состояния окружающей среды города больше всего внимания уделяется содержанию, моделированию и прогнозированию поведения оксидов азота и серы, определению концентрации и динамики содержания взвешенных частиц и свинца [7, 8]. Таким образом загрязнение атмосферного воздуха — актуальная проблема крупных городов Монголии (Улан-Батора, Дархана, Эрдэнэта). Особенно остро данная проблема стоит в зимний период времени, совпадающий с отопительным сезоном и максимальной нагрузкой на окружающую среду города [7, 9 — 10]. Динамика уровней загрязнения по среднемесячным концентрациям для г. Улан-Батор дана на рис. 2 [11, 12].

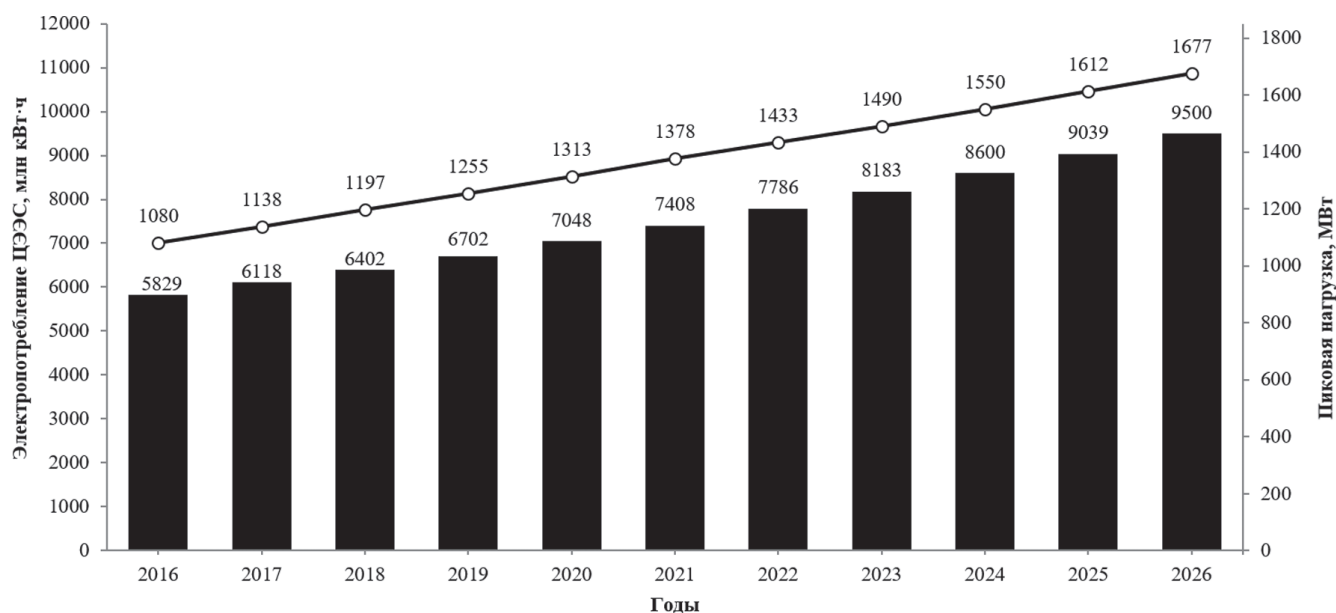


Рис. 1. Прогноз электропотребления и пиковые нагрузки ЦЭЭС (по данным Министерства энергетики Монголии):

— — электропотребление ЦЭЭС, млн кВт·ч; —○— — пиковая нагрузка, МВт

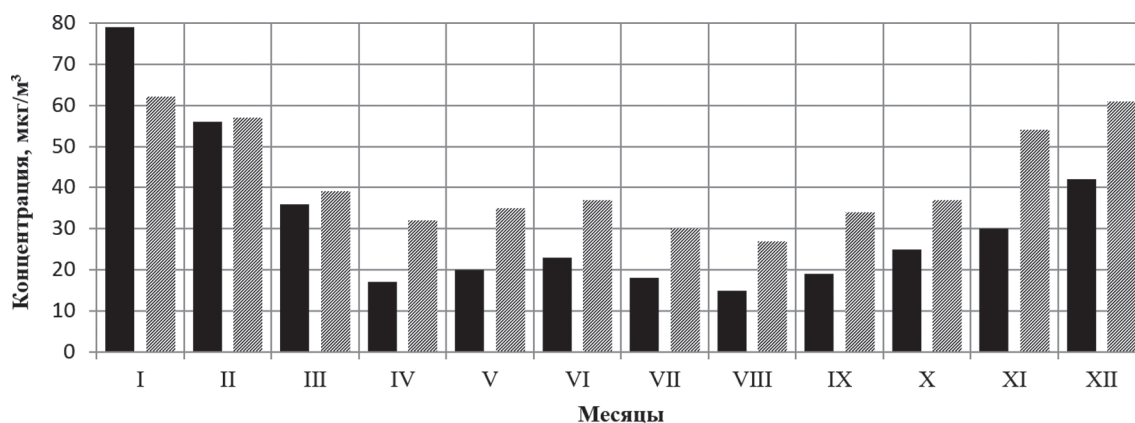


Рис. 2. Среднемесячные концентрации диоксидов серы (■) и азота (▨) в атмосферном воздухе г. Улан-Батор

Одним из главных источников загрязнения атмосферного воздуха городов являются теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), промышленные предприятия и котельные. Основное энергетическое топливо — бурый уголь, общегеологические запасы которого оцениваются в 150 млрд т и из них более 20 млрд т — подтвержденные производственные запасы. Они расположены в Баганурском, Шивээ-Овооском, Тэвшийн-Гобийском и Цайдамнурском бурогольных, Налайском, Шарынгольском, Нуурстхотгорском и Улан-Овооском каменноугольных и Тавантолгойском коксующихся угольных месторождениях [13, 14]. Для Монголии уголь считается основным ископаемым природным топливным ресурсом. Его геологические и разведанные производственные запасы многократно превышают потребление страны в настоящее время.

Использование угля для производства энергии приводит к образованию большого количества выбросов оксидов серы, азота, бенз(а)пирена и сажи [9]. Выбрасываемые в атмосферу из дымовых труб ТЭЦ и котельных токсичные вещества оказывают вредное воздействие на окружающую среду. Для обеспечения благоприятной экологической обстановки в городских зонах важно решить проблему использования угля для получения тепла и электроэнергии [15].

В решениях правительства Монголии отмечена необходимость усиления мер по охране атмосферного воздуха населенных пунктов и городов Монголии. Принято решение по созданию новых электрических станций, что позволит повысить мощность и закрыть нехватку тепловой и электрической энергии [16]. При этом следует учитывать мировой опыт по внедрению новых развивающихся экологических технологий, который указывает на возможности по повышению эффективности использования твердого топлива. Чтобы снизить вредное воздействие угля на окружающую среду, многие страны заняты поиском более эффективных и чистых способов преобразования угля в необходимую энергию [17]. Таким образом, принципиальное решение указанных вопросов возможно путем дальнейшего совершенствования традиционных термо-

динамических циклов и повышения параметров пара, благодаря переходу к бинарным циклам с использованием двух видов рабочих тел, осуществляемому в парогазовых энергоблоках [18].

Для работы классических парогазовых установок утилизационного типа требуется газовое топливо, запасы которого в стране ограничены. В мире уже разработано и используется огромное количество методов деструктивной переработки природного топлива в искусственное. Полученный газ после соответствующей доочистки может рассматриваться как экологически чистое топливо, эффективное использование которого, прежде всего, возможно на тепловой электрической станции (ТЭС) с парогазовыми энергоблоками.

Перспективными технологическими схемами создания ПГУ на твердом топливе являются внутрицикловая газификация угля (ВЦГ) и сжигание синтетического генераторного газа в камере сжигания ГТУ [19, 20].

Предмет и объект исследования

Имея огромные запасы энергетических углей, Монголия импортирует до 20% электрической мощности и энергии из КНР и РФ. Имеются серьезные проблемы, связанные с дефицитом мощности, отсутствием маневренных мощностей и плохой структурой электрических и тепловых мощностей.

Для обеспечения прогнозируемого роста потребления электроэнергии и требуемых технической и технологической надежности электроснабжения потребителей возникает необходимость строительства новых ТЭС, при этом должны быть учтены не только их количественные характеристики, но и географическое расположение потребителей, а также угольные месторождения [21].

В число самых энергодефицитных регионов входит г. Улан-Батор, являющийся основным потребителем ЦЭС. Электрическую и тепловую энергию в город поставляют три ТЭЦ (ТЭЦ-2, 3, 4) и одна котельная «Амгалан», в которых основным топливом является бурый уголь из месторождений Багануур, Шарын-Гол и Шивээ-Овоо. Для покрытия дефицита электроэнергии, исходя

из государственной программы Монголии, предложено строительство угольных ТЭС с маломощными блоками с единичной мощностью 150...200 МВт [22].

Существует потребность в электроэнергии для горно-обогатительного комбината Оюу-Толгой. Достигнута договоренность по строительству ТЭС (400...500 МВт) на каменном угле существующего месторождения Тавантолгой. В настоящее время ГОК Оюу-Толгой импортирует электроэнергию из КНР на сумму 200 млн долларов в год. Однако Министерство энергетики Монголии ставит в приоритет строительство ТЭС в Тавантолгое для того, чтобы снизить энергозависимость от зарубежных поставщиков [16]. В силу этого одним из вариантов развития собственной крупной генерации могло бы быть создание ПГУ с ВЦГ указанных выше мощностей.

В Монголии имеется большая заинтересованность выхода на энергетический рынок КНР и ряда других стран Северо-восточной Азии (СВА). Китайская сторона непрерывно поддерживает сотрудничество с Монголией и несколько раз заявляла о заинтересованности и возможности покупки электроэнергии для своих северных провинций, и именно в этой плоскости лежит возможное сотрудничество двух стран. В 2005 г. Китай и Монголия подписали соглашение о строительстве ТЭС с четырьмя блоками электрической мощностью 500...600 МВт на угольном месторождении Шивээ-Овоо [16, 21].

Таким образом, все вышеперечисленные планы входят в стратегию развития работ на 2015 — 2030 гг., утвержденную Министерством энергетики Монголии, в которой намечены, прежде всего, задачи по строительству новых ТЭС с размещением на угольных месторождениях, изображенных на рис. 3.

Расчетное исследование

Для широкого применения ПГУ с ВЦГ на территории Монголии требуется использовать методы переработки твердого топлива в газовое, одним из которых является газификация. Самыми популярными методами газификации считаются методы поточного типа, такие как Texaco, Shell, E-Gas, MHI (Mitsubishi Heavy Industries) [23 — 25]. Актуальным вопросом является проведение сравнительного анализа энергетических характеристик блока ПГУ с ВЦГ для условий Монголии при применении перечисленных выше технологий в зависимости от типа исходного топлива.

В качестве перерабатываемого исходного продукта взят уголь месторождений Багануур, Шивээ-Овоо и Тавантолгой. Состав и технические характеристики представлены в табл. 1.

При расчёте учитывали влияние компонентного состава топлива, соотношения потока топливо – водяной пар – окислитель, а также давления и температуры в газификаторе.

Создана расчетная модель ПГУ с ВЦГ (рис. 4) в программном пакете Thermoflex разработки компании Thermoflow Inc.

В состав основного оборудования блока ПГУ с ВЦГ входит газотурбинная установка типа GE 9111FA и GE9371FB фирмы General Electric, имеющая большую референцию в мире. Ее характеристики даны в табл. 2.

Результаты расчета показателей тепловой экономичности ПГУ с ВЦГ при применении четырех технологий газификации твердого топлива приведены в табл. 3, 4.



Рис. 3. Перспективы развития энергоотрасли Монголии и проекты, реализуемые в ближайший срок

Таблица 1

Характеристики угля для расчетных исследований

Наименование, марка, месторождение угля	Элементарный состав исходного материала, %							$Q_{п}^p$, МДж/кг	Геологические запасы, млн т
	W ^p	A ^p	N ^p	O ^p	S ^p	H ^p	C ^p		
Багануур, Б2	33,0	12,1	0,5	12,00	0,30	2,50	39,60	14,8	713,1
Шивээ-Овоо, Б2	40,7	8,50	0,6	12,30	0,80	2,80	34,30	11,9	2700
Тавантолгой, КЖ, Ж, Г	8,50	15,3	0,7	10,51	0,52	1,29	63,16	21,5	6500

Таблица 2

Технические данные энергетических газотурбинных установок фирмы General Electric

Показатели	Газотурбинные установки	
	GE 9111FA	GE9371FB
Частота, Гц	50	50
Электрическая мощность, МВт	78,3	291,4
Электрический КПД, %	35,7	38,3
Удельный расход тепла, кДж/кВт·ч	10086	9390
Степень сжатия компрессора	15,5	18,2
Температура уходящих газов, °С	594	637
Температура перед турбиной, °С	1327	1427
Расход уходящих газов, кг/с	210	649
NO _x (15% O ₂), ppm	25	25

Таблица 3

Энергетические показатели схемы ПГУ с ВЦГ для угля Багануур и Шивээ-Овоо

Показатели	Месторождения							
	Багануур				Шивээ-Овоо			
	Texaco	Shell	E-Gas	МНИ	Texaco	Shell	E-Gas	МНИ
Электрическая мощность ГТУ, МВт	78,1	77,80	79,40	78,60	77,40	77,40	79,90	79,60
Электрическая мощность ПТУ, МВт	61,2	57,90	54,10	54,80	71,10	65,80	57,60	58,90
Электрическая мощность (брутто), МВт	139,3	135,7	133,6	133,5	148,5	143,2	137,5	138,5
Электрическая мощность (нетто), МВт	122,5	120,7	119,4	121,8	122,6	120,6	116,8	122,0
Электрический КПД (брутто), %	44,87	46,73	45,73	49,08	41,66	44,11	42,96	47,77
Электрический КПД (нетто), %	39,46	41,56	40,88	44,77	34,38	37,14	36,50	42,07
Расход электроэнергии на собственные нужды, МВт	16,80	15,00	14,10	11,70	25,90	22,60	20,60	16,50
Расход топлива, кг/с	20,93	19,58	19,69	18,33	29,92	27,24	26,86	24,33
Удельный расход условного топлива, г/кВт·ч	274,1	263,2	269	250,6	295,2	278,8	286,3	257,5

Таблица 4

Энергетические показатели схемы ПГУ с ВЦГ для угля Тавантолгой и Шивээ-Овоо

Показатели	Месторождения							
	Тавантолгой				Шивээ-Овоо			
	Texaco	Shell	E-Gas	МНИ	Texaco	Shell	E-Gas	МНИ
Электрическая мощность ГТУ, МВт	284,8	279,3	288,1	277,1	288,3	288,2	296,6	295,7
Электрическая мощность ПТУ, МВт	198,2	176,1	180,6	205,1	251,4	233,2	210,7	215,1
Электрическая мощность (брутто), МВт	483,1	455,4	468,7	482,3	539,7	521,4	507,3	510,9
Электрическая мощность (нетто), МВт	424,7	409,8	419,3	436,4	442,9	437,2	430,1	451,8
Электрический КПД (брутто), %	47,59	50,75	48,41	52,07	44,19	46,79	46,01	50,96
Электрический КПД (нетто), %	41,84	45,67	43,32	47,11	36,27	39,24	39,01	45,06
Расход электроэнергии на собственные нужды, МВт	58,30	45,60	49,30	45,90	96,7	84,1	77,1	59,10
Расход топлива, кг/с	47,21	41,73	45,02	43,07	102,5	93,46	92,5	84,11
Удельный расход условного топлива, г/кВт·ч	258,4	242,4	254,1	236,2	278,3	262,9	267,3	241,4

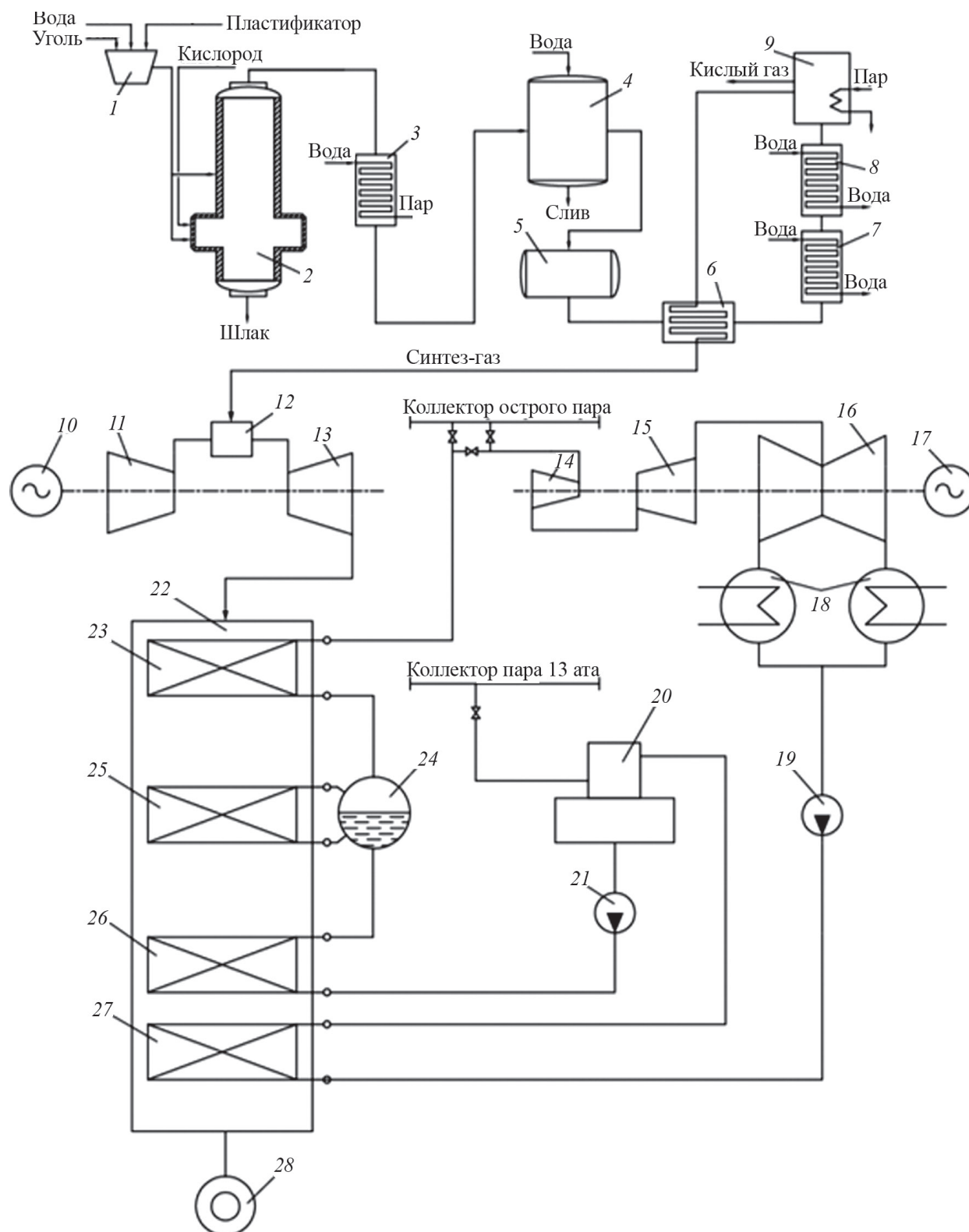


Рис. 4. Тепловая схема ПГУ с ВЦГ (E-Gas):

1 — смеситель топлива; 2 — газогенератор; 3 — конвективный теплообменник (газоохладитель); 4 — скрубберная очистка; 5 — очистка COS (оксид-сульфид углерода); 6 — 8 — охладители синтетического газа; 9 — очистка от кислотосодержащих газов; 10 — 12 — генератор, компрессор и камера сгорания газовой турбины; 13 — газовая турбина; 14 — 18 — ЦВД, ЦСД, ЦНД, генератор и конденсатор паровой турбины; 19 — конденсатный электронасос; 20 — деаэрактор; 21 — питательный электронасос; 22 — котел-утилизатор; 23 — пароперегреватель; 24 — барабан; 25 — испаритель; 26 — экономайзер; 27 — газовой подогреватель конденсата; 28 — дымовая труба

Из данных табл. 3, 4 следует, что энергетический блок ПГУ с внутрицикловой газификацией с электрической мощностью 130...150 МВт, работающий на Багануурском и Шивээ-Овооском углях, показывает значительный рост электрического КПД для технологии МНІ на Багануурском буром угле. Для ПГУ с внутрицикловой газификацией и электрической мощностью 450...550 МВт на Таван-Толгойском и Шивээ-Овооском углях лучшие результаты дает технология МНІ.

Окончательный выбор технологии газификации ПГУ с ВЦГ для условий Монголии может быть сделан только с учетом местных условий, выбора соответствующего оборудования и вида топлива, а также после проведения полного технико-экономического обоснования.

Сравнение паросиловых установок с энергоблоком ПГУ с ВЦГ по параметрам воздействия на окружающую среду

Проведено сравнение технико-экономических и экологических характеристик ТЭС, работающей на угле,

и наиболее перспективных вариантов (см. табл. 3, 4) с парогазовыми установками, работающими на синтетическом газе, одинаковой мощности (табл. 5).

Данные, характеризующие общее количество оксидов азота NO_x и углекислого газа CO_2 в уходящих дымовых газах, образующихся при сжигании угля и синтетического газа, приведены на рис. 5, 6.

В зависимости от месторождения угля отмечено существенное снижение выбросов CO_2 при использовании парогазовой технологии (в 1,22...2,19 раз ниже, чем показатели ПСУ). Для оксида азотов снижение составило более чем в 2,5...2,8 раз. Таким образом, использование ПГУ с ВЦГ значительно улучшает экологическую обстановку в крупных городах.

Заключение

Выбрана схема, наиболее выгодная по результатам анализа показателей тепловой экономичности. Разработаны рекомендации по созданию энергетических блоков комбинированного цикла ПГУ с ВЦГ для по-

Таблица 5

Сравнение энергетических показателей ПСУ с ПГУ (ВЦГ)

Показатели	Месторождения					
	Багануур		Шивээ-Овоо		Тавантолгой	
	ПГУ с ВЦГ	ПСУ	ПГУ с ВЦГ	ПСУ	ПГУ с ВЦГ	ПСУ
Электрическая мощность (брутто), МВт	133,5	133,5	510,9	510,9	482,3	482,3
Электрическая мощность (нетто), МВт	121,8	~116,1	451,8	~444,4	436,4	~419,6
Электрическая мощность ГТУ, МВт	78,60	—	295,7	—	277,1	—
Электрическая мощность ПТУ, МВт	54,80	133,5	215,1	510,9	205,1	482,3
Расход электроэнергии на собственные нужды, МВт	11,70	13% от N_3	59,1	13% от N_3	45,9	13% от N_3
Электрический КПД (брутто), %	49,08	42,4	50,96	42,4	52,07	42,4
Удельный расход условного топлива, г/кВт·ч	250,6	290	241,4	290	236,2	290
NO_x , т/г	642,2	1629,1	2439,3	6295,9	2050,5	5729,4
CO_2 , тыс. т/г	276,5	449,1	1218,2	1493,4	1184,2	2595,9

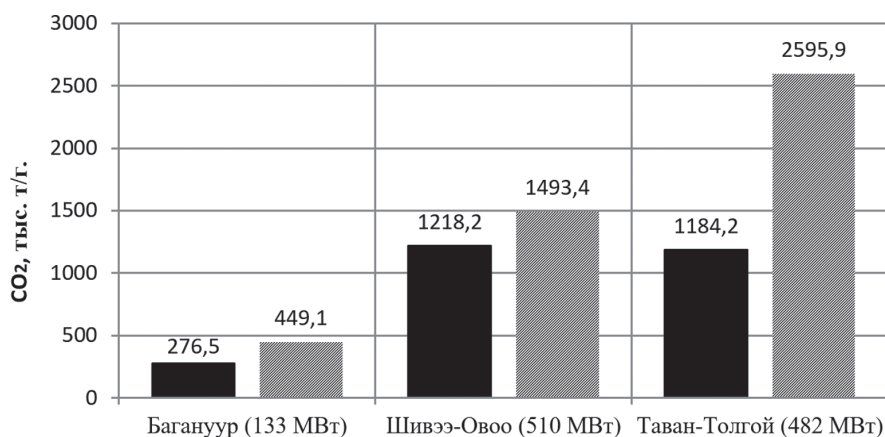
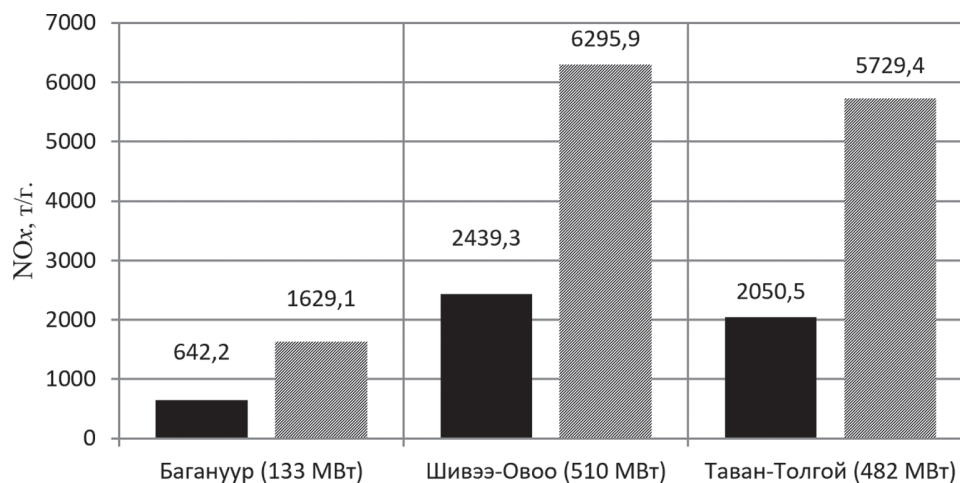


Рис. 5. Количество углекислого газа CO_2 в уходящих дымовых газах:

■ — ПГУ с ВЦГ; ▨ — ПСУ

Рис. 6. Количество оксидов азота NO_x в уходящих дымовых газах:

■ — ПГУ с ВЦГ; ▨ — ПСУ

крытия нехватки энергии г. Улан-Батора, обеспечения энергопотребности ГОК Оюу-Толгой и экспорта в Китай.

Проведено расчетное исследование показателей ПГУ с ВЦГ при применении различных технологий газификации твердого топлива. Доказана эффективность использования в качестве топлива угля из Багануурского, Шивээ-Овооского, Тавантолгойского месторождений на энергоблоке ПГУ с ВЦГ для условий Монголии, показан рост на 4...8% по КПД.

Литература

1. Дудолин А.А., Батсамбуу У. Проблемы и перспективы технического перевооружения электростанций Монголии // Вестник МЭИ. 2018. № 1. С. 16—21.
2. Батсамбуу У., Дудолин А.А. Особенности и перспективы энергетики Монголии // Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Иркутск: Иркутский национ. исслед. техн. ун-т 2017. С. 313—316.
3. Комитет государственного регулирования энергетики Монголии [Официальный сайт] <http://erc.gov.mn/> (дата обращения 09.09.2018).
4. Национальное статистическое управление Монголии [Официальный сайт] <http://www.nso.mn/> (дата обращения 09.09.2018).
5. Оюун-Эрдэнэ Т. Исследование роста потребления электроэнергии в Центральной электроэнергетической системе (ЦЭЭС) // Эрчим хүч&engineering. 2016. № 10. С. 56—58.
6. Всемирная организация здравоохранения [Официальный сайт] <http://www.who.int> (дата обращения 09.09.2018).
7. Сайжаа Н. Факторы риска загрязнения воздушного бассейна городов Монголии: автореферат дис. ... докт. мед. наук. Иркутск: ИГМУ, 2004.

Сравнительный анализ на базе расчетов с использованием комплекса «Thermoflow» выявил, что по показателям тепловой экономичности для покрытия дефицита энергии г. Улан-Батора наиболее предпочтительным вариантом является технология МН с использованием бурого угля Багануурского месторождения. Для собственных нужд ГОК Оюу-Толгой и экспорта электроэнергии в Китай ПГУ с ВЦГ значительный рост электрического КПД показала технология МН на Тавантолгойском и Шивээ-Овооском углях.

References

1. Dudolin A.A., Batsambuu U. Problemy i Perspektivy Tekhnicheskogo Perevooruzheniya Elektrostantsiy Mongolii. Vestnik MEI. 2018;1:16—21. (in Russian).
2. Batsambuu U., Dudolin A.A. Osobennosti i Perspektivy Energetiki Mongolii. Povyshenie Effektivnosti Proizvodstva i Ispol'zovaniya Energii v Usloviyakh Sibiri: Materialy Vseros. Nauch.-prakt. Konf. s Mezhdunar. Uchastiem. Irkutsk: Irkutskiy Natsion. Issled. Tekhn. Un-t 2017;313—316. (in Russian).
3. Komitet Gosudarstvennogo Regulirovaniya Energetiki Mongolii [Ofits. Sayt] <http://erc.gov.mn/> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
4. Natsional'noe Statisticheskoe Upravlenie Mongolii [Ofits. Sayt] <http://www.nso.mn/> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
5. Oyuun-Erdene T. Issledovanie Rosta Potrebleniya Elektroenergii v Tsentral'noy Elektroenergeticheskoy Sisteme (TSEES). Erchim khych&engineering. 2016;10: 56—58. (in Russian).
6. Vsemirnaya Organizatsiya Zdravookhraneniya [Ofits. Sayt] <http://www.who.int> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
7. Sayzhaa N. Faktory Riska Zagryazneniya Vozdushnogo Basseyna Gorodov Mongolii: Avtoreferat Dis. ... Dokt. Med. Nauk. Irkutsk: IGMU, 2004. (in Russian).

8. **Абрамов А.И. и др.** Повышение экологической безопасности тепловых электростанций. М.: Изд-во МЭИ, 2001.
9. **Сорокина О.И.** Тяжелые металлы в ландшафтах г. Улан-Батора: автореферат дис. ... канд. географ. наук. М.: Изд-во ООО «Ай-клуб», 2013.
10. **Елфимова Т.А. и др.** Оценка влияния загрязнения атмосферного воздуха города Улан-Батора на заболеваемость населения // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16. № 5 (2). С. 853—856.
11. **Качество** воздуха Монголии [Офиц. сайт] <http://www.agaar.mn/> (дата обращения 09.09.2018).
12. **Министерство** окружающей среды и туризма Монголии [Офиц. сайт] <http://www.mne.mn/> (дата обращения 09.09.2018).
13. **Очирбат П.** Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Монголии. М.: Горная книга, 2007.
14. **Правительственное** агентство по добыче полезных ископаемых и нефти Монголии [Офиц. сайт] <https://www.mrpm.gov.mn> (дата обращения 09.09.2018).
15. **Аунг Х.Н., Батсамбуу У., Бураков И.А.** Получение синтетического газа путём газификации различных видов твёрдого топлива // Экология энергетики: Труды Междунар. науч. конф. молодых ученых и специалистов. М.: Издат. дом МЭИ, 2017. С. 97—98.
16. **Министерство** энергетики Монголии [Офиц. сайт] <http://energy.gov.mn/> (дата обращения 09.09.2018).
17. **Федорович С.Д., Бураков И.А., Дудолин А.А.** Оптические спектры продуктов газификации углей в ВЧИ-плазматроне // Современные проблемы теплофизики и энергетики: Материалы междунар. конф. М.: Издат. дом МЭИ, 2017.
18. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций. М.: Изд-во МЭИ, 2006.
19. **Белосельский Б.С.** Внутрицикловая газификация твердого топлива на электростанциях с получением экологически чистого газа. М.: Изд-во МЭИ, 1996.
20. **Туманский А.Г., Тугов А.Н., Росляков П.В.** Энергетические парогазовые установки с внутрицикловой газификацией угля. М.: Изд-во МЭИ, 2014.
21. **Батмунх С., Бат-Эрдэнэ Б., Воропай Н.И., Стенников В.А.** Некоторые вопросы стратегии развития энергетики Монголии // Энергетическая политика. 2016. № 6. С. 95—105.
22. **Батсамбуу У., Дудолин А.А.** Возможность увеличения установленной мощности теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) объединенной энергетической системы Монголии // Эрчим хүч & engineering. 2017. № 11. С. 46—48.
23. **Рыжков А.Ф., Богатова Т.Ф., Цзэн Линьян, Осипов П.В.** Развитие поточных газификационных технологий в Азиатско-Тихоокеанском регионе (обзор) // Теплоэнергетика. 2016. № 11. С. 40—50.
8. **Abramov A.I. i dr.** Povysheniye Ekologicheskoy Bezopasnosti Teplovykh Elektrostantsiy. M.: Izd-vo MEI, 2001. (in Russian).
9. **Sorokina O.I.** Tyazhelye Metally v Landshaftakh g. Ulan-Batora: Avtoreferat Dis. ... Kand. Geograf. Nauk. M.: Izd-vo ООО «Ay-klub», 2013. (in Russian).
10. **Elfimova T.A. i dr.** Otsenka Vliyaniya Zagryazneniya Atmosfernogo Vozdukha Goroda Ulan-Batora na Zabolevaemost' Naseleniya. Izvestiya Samarskogo Nauchnogo Tsentra RAN. 2014;16;5 (2):853—856. (in Russian).
11. **Kachestvo** Vozdukha Mongolii [Ofits. Sayt] <http://www.agaar.mn/> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
12. **Ministerstvo** Okruzhayushchey Sredy i Turizma Mongolii [Ofits. Sayt] <http://www.mne.mn/> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
13. **Ochirbat P.** Strategiya Razvitiya Mineral'no-syr'evogo Kompleksa Mongolii. M.: Gornaya Kniga, 2007. (in Russian).
14. **Pravitel'stvennoe** Agentstvo po Dobyche Poleznykh Iskopaemykh i Nefti Mongolii [Ofits. Sayt] <https://www.mrpm.gov.mn> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
15. **Aung Kh.N., Batsambuu U., Burakov I.A.** Poluchenie Sineticheskogo Gaza Putem Gazifikatsii Razlichnykh Vidov Tverdogo Topliva. Ekologiya Energetiki: Trudy Mezhdunar. Nauch. Konf. Molodykh Uchenykh i Spetsialistov. M.: Izdat. dom MEI, 2017;97—98. (in Russian).
16. **Ministerstvo** Energetiki Mongolii [Ofits. Sayt] <http://energy.gov.mn/> (Data Obrashcheniya 09.09.2018). (in Russian).
17. **Fedorovich S.D., Burakov I.A., Dudolin A.A.** Opticheskie Spektry Produktov Gazifikatsii Ugley v VCHI-plazmotrone. Sovremennye Problemy Teplofiziki i Energetiki: Materialy Mezhdunar. Konf. M.: Izdat. Dom MEI, 2017. (in Russian).
18. **Tsanev S.V., Burov V.D., Remezov A.N.** Gazoturbinnye i Parogazovye Ustanovki Teplovykh Elektrostantsiy. M.: Izd-vo MEI, 2006. (in Russian).
19. **Belosel'skiy B.S.** Vnutritsiklovaya Gazifikatsiya Tverdogo Topliva na Elektrostantsiyakh s Polucheniem Ekologicheskii Chistogo Gaza. M.: Izd-vo MEI, 1996. (in Russian).
20. **Tumanskiy A.G., Tugov A.N., Roslyakov P.V.** Energeticheskie Parogazovye Ustanovki s Vnutritsiklovoy Gazifikatsiey Uglya. M.: Izd-vo MEI, 2014. (in Russian).
21. **Batmunkh S., Bat-Erdene B., Voropay N.I., Stennikov V.A.** Nekotorye Voprosy Strategii Razvitiya Energetiki Mongolii. Energeticheskaya Politika. 2016;6:95—105. (in Russian).
22. **Batsambuu U., Dudolin A.A.** Vozmozhnost' Uvelicheniya Ustanovlennoy Moshchnosti Teploelektrotsentrali (TETS) Ob'edinennoy Energeticheskoy Sistemy Mongolii. Erchim khych & engineering. 2017;11:46—48. (in Russian).
23. **Ryzhkov A.F., Bogatova T.F., Tszen Linyan', Osipov P.V.** Razvitie Potochnykh Gazifikatsionnykh Tekhnologiy v Aziatsko-Tikhookeanskom Regione (Obzor). Teploenergetika. 2016;11:40—50. (in Russian).

24. **Higman C.** State of the Gasification Industry. Worldwide Gasification Database 2016 Update // Proc. Gasification Techn. Vancouver, 2016. Pp. 1—24.

25. **Ольховский Г.Г.** Газификация твердых топлив в мировой энергетике (обзор) // Теплоэнергетика. 2015. № 7. С. 3—11.

24. **Higman C.** State of the Gasification Industry. Worldwide Gasification Database 2016 Update. Proc. Gasification Techn. Vancouver, 2016:1—24.

25. **Ol'khovskiy G.G.** Gazifikatsiya Tverdykh Topliv v Mirovoy Energetike (Obzor). Teploenergetika. 2015;7: 3—11. (in Russian).

Сведения об авторах:

Баяр Бат-Эрдэнэ — кандидат технических наук, профессор кафедры релейной защиты и автоматизации релейных систем НИУ «МЭИ», e-mail: bat_erd@must.edu.mn

Дудолин Алексей Анатольевич — кандидат технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: DudolinAA@mpei.ru

Бураков Иван Андреевич — кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: BurakovIA@mpei.ru

Батсамбуу Улзийбадрах — аспирант кафедры тепловых электрических станций НИУ «МЭИ», e-mail: bulziibadrah@yahoo.com

Information about authors:

Bayr Bat-Erdene — Ph.D. (Techn.), Professor of Relay Protection and Automation of Energy Systems Dept., NRU MPEI, e-mail: bat_erd@must.edu.mn

Dudolin Aleksey A. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor, Deputy Head of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: DudolinAA@mpei.ru

Burakov Ivan A. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: BurakovIA@mpei.ru

Ulziibadrakh Batsambuu — Ph.D.-student of Thermal Power Plants Dept., NRU MPEI, e-mail: bulziibadrah@yahoo.com

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 28.11.2018

The article received to the editor: 28.11.2018