

Энергетические системы и комплексы

ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕТЕВОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ КРАСНОДАРСКОЙ ТЭЦ

- **Бутузов В.А.**, доктор техн. наук, ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия
- **Шапошников В.В.**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар, Россия
- **Безе Я.И.**, ООО «Лукойл-Кубаньэнерго», Краснодар, Россия
- **Кочарян Е.В.**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар, Россия
- **Андрейко Н.Г.**, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «КубГТУ», Краснодар, Россия

OPERATIONAL EXPERIENCE OF A NETWORKED SOLAR POWER PLANT KRASNODAR CHPP

- **Butuzov V.A.**, D.Sc., Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia
- **Shaposhnikov V.V.**, Ph.D., Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
- **Beze Y.I.**, Lukoil-Kubanenergo LLC, Krasnodar, Russia
- **Kocharyan E.V.**, Ph.D., Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
- **Andreiko N.G.**, Ph.D., Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Реализация федеральной программы «ДПМ ВИЭ-2,0» показана на примере сооружения СЭС Краснодарской ТЭЦ с пиковой мощностью 2,35 МВт. Представлены основные проектные показатели СЭС: размещение на генплане, компоновка, принципиальная электрическая схема. Обосновано применение 5848 российских фотоэлектрических модулей (ФЭМ) ГК «Хевел» типа XVL 72GG395BB на свободных территориях бывших угольного и мазутного полей на наземных опорах блоками по 48 шт. с выдачей мощности СЭС напряжением 35 кВ в региональные электрические сети для компенсации потерь. Сформулирована цель исследования – обоснованность проектных решений, определение фактических эксплуатационных показателей, надежности оборудования, экономической окупаемости. Представлены результаты обработки часовых, месячных, годовых (2023–2024 гг.) значений плановой, фактической выработки электрической энергии, собственных нужд. Выполнено сопоставление плановых и фактических значений КИУМ. Приведены данные по отказам оборудования. Рассчитана стоимость выработанной электрической энергии с 2022 г. по 2024 г. по региональному спецтарифу. Срок окупаемости СЭС оценен в 4,5 года.

Ключевые слова: солнечная электростанция, договор предоставления мощности, фотоэлектрические модули, инвертор, экономическая окупаемость.

The implementation of the federal program «PDM RES-2.0» is shown by the example of the construction of the SES of the Krasnodar CHPP with a peak capacity of 2.35 MW. The main design indicators of the SES are presented: placement on the master plan, layout, schematic electrical diagram. The use of 5848 Russian photovoltaic modules (FEM) of the Hevel Group of Companies of type XVL 72GG395BB in the free territories of former coal and fuel oil fields on ground supports in blocks of 48 units

is substantiated. with the supply of 35 kV SES power to regional electric networks to compensate for losses. The purpose of the study is formulated – the validity of design decisions, the determination of actual operational performance, equipment reliability, and economic payback. The results of processing hourly, monthly, and annual (2023-2024) values of planned and actual electric power generation and own needs are presented. A comparison of the planned and actual values of the CIUM was performed. Data on failures of equipment is provided. The cost of the electric energy generated from 2022 to 2024 is calculated according to the regional special tariff. The payback period of the SES is estimated at 4.5 years.

Key words: solar power plant, power supply agreement, photovoltaic modules, inverter, economic payback.

Введение

Одним из направлений малоуглеродно-го развития энергетики является сооружение солнечных электростанций (СЭС) по государственной программе «ДПМ ВИЭ-2,0», утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 21.06.2021 г. № 1446-Р.

Финансирование по договорам предоставления мощности (ДПМ) позволило обеспечить сооружение в Российской Федерации к 2023 г. СЭС общей пиковой мощностью 2200 МВт.

Особенно актуально их строительство в южных энергодефицитных регионах страны, к которым относится Краснодарский край. В летний период дефицит мощности в энергосистеме достигает 600 МВт.

Самой крупной электростанцией региона в 2024 г. являлась Краснодарская ТЭЦ с общей установленной мощностью 1060 МВт: в составе 4-х паротурбинных энергоблоков по 160 МВт и парогазовой установки (ПГУ) на 320 МВт. ТЭЦ находится в городской черте, факел выбросов опускается на жилую застройку, поэтому работа ведется по снижению экологического ущерба по нескольким направлениям; в том числе по модернизации оборудования, сжигании природного газа в кислороде [1].

При строительстве в 2022 г. первой в Краснодарском крае СЭС были решены следующие задачи: определение оптимального использования земельных участков, схемных и компоновочных решений, надежности отечественного оборудования и фактических экономических показателей на основании работ [2, 3].

Целью двухлетних эксплуатационных испытаний СЭС [4] было сопоставление проектных, эксплуатационных показателей и подготовка рекомендаций для проектирования СЭС.

Анализ проектных решений

СЭС была построена в 2022 г. по заказу ООО «Лукойл-Кубаньэнерго». Подрядчиком по проектированию и строительству выступило одно из предприятий ГК «Хевел» (Новочебоксарск) - ООО «Авелар Солар Технолоджи». Основные проектные решения принимались совместно специалистами ТЭЦ и ГК «Хевел». В условиях ограниченности территории ТЭЦ для размещения СЭС были выбраны два пустовавших участка общей площадью 3,5 га: бывшее угольное поле и площадка над ликвидированным мазутным подземным хозяйством. Данное решение позволило компенсировать оплату земельного налога на указанных участках. За основу компоновки при надземном исполнении был принят блок ФЭМ из 48 шт. (4 ряда по 12 шт.). Ориентация южная, угол наклона 32° к горизонту. Опоры ФЭМ над мазутными подземными резервуарами были усилены. Инверторы, трансформаторы, КИПиА размещены в отдельно стоящем модуле.

Принципиальная электрическая схема СЭС представлена на рис. 1. 4652 ФЭМ гелиополя бывшего угольного поля подключены через 7 инверторов типа KENUA (Китай), а 1296 ФЭМ гелиополя мазутохранилища через 2 инвертора того же типа. Выдача вырабатываемой СЭС электрической энергии производится по линии 35 кВ в региональную энергосистему через электросчетчик типа СЭГ-4ТМ.03 3М.

Кустановке в 2022 г. были приняты двухсторонние российские ФЭМ производства ГК «Хевел» типа HVL 72GG395BV со следующими основными характеристиками: номинальная мощность – 395 Вт, количество ячеек – 72; номинальная рабочая температура – 38,8 °С; напряжение холостого хода – 53,18 В; ток короткого замыкания – 9,21 А; КПД – 19,75%; габариты 1996x1002x30 мм.

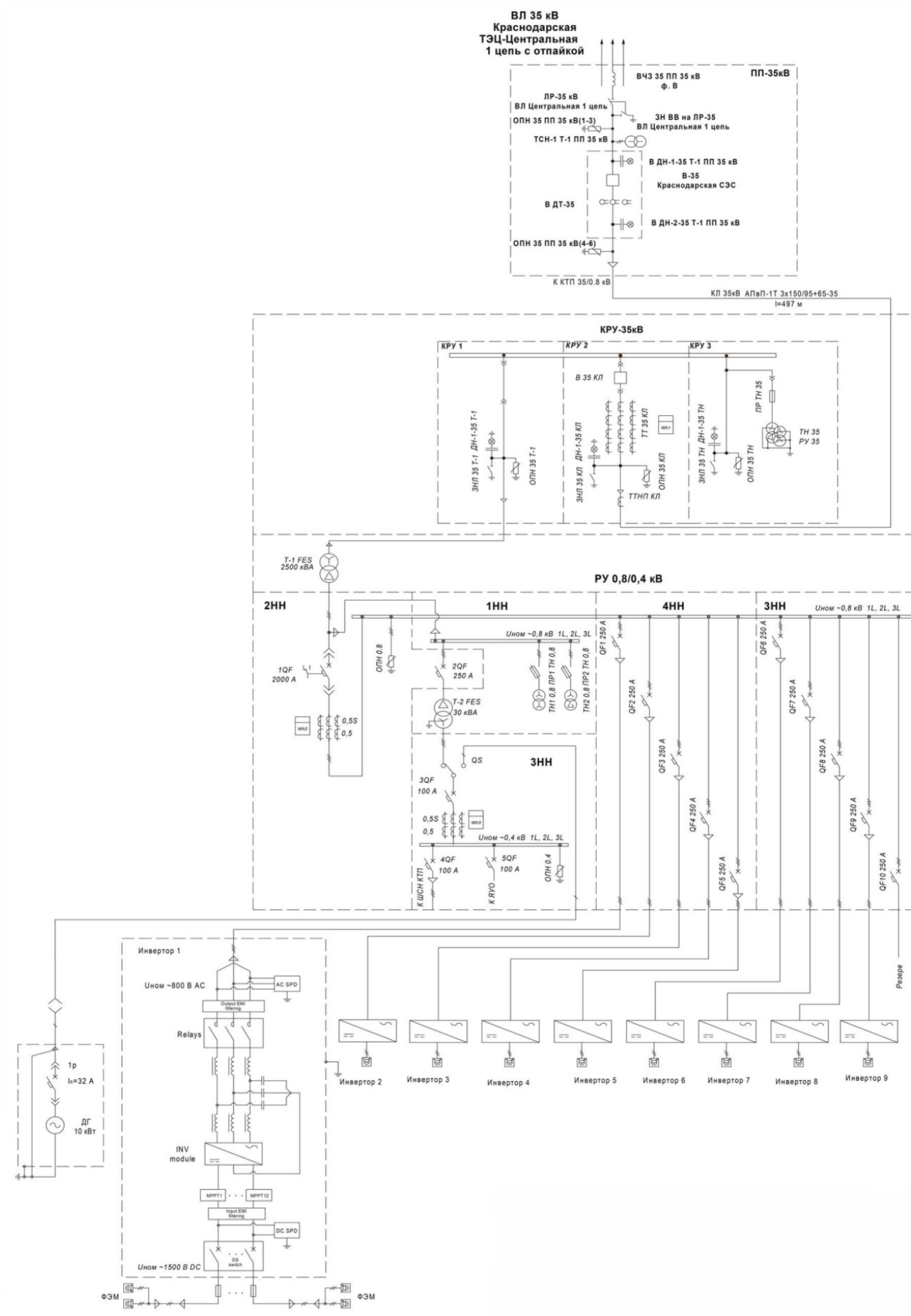


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема СЭС

Исследование эксплуатационных и экономических показателей

На основании почасовых показаний проектных приборов в табл. 1 и на рис. 2 приведены месячные значения плановой и фактической выработки электрической энергии, собственных нужд и КИУМ СЭС в 2023 г.

В табл. 2 и на рис. 3 – аналогичные показатели в 2024 г. Под плановыми значениями понимаются расчетные проектные показатели. В 2023 г. было выработано 2930 МВт·ч с КИУМ – 14,2%, при плане 3100 МВт·ч и КИУМ – 15%. Среднее отклонение фактической выработки от плановой составило 94,6%, собственные нужды СЭС – 0,8%.

Как следует из рис. 2 наибольшие отклонения фактической от плановой выработки электрической энергии были в феврале – мае. Из табл. 2 следует, что в 2024 г. фактическая выработка электрической энергии была 3062 МВт·ч, почти на 4% выше, чем в 2023 г., как и значение КИУМ – 14,9%. Существенные отклонения плановых от фактических значений выработанной электрической энергии в 2024 г. были в марте и июне.

Из табл. 1, 2 также следует, что эксплуатационные расходы СЭС (ремонт, техобслуживание, оборудование и материалы) составляли в 2023 г. – 3403 тыс. руб., а в 2024 г. – 3408 тыс. руб. или около 0,8%.

После завершения строительства СЭС в 2022 г. за три неполных месяца было выработано 380698 кВт·ч электрической энергии по одноставочному тарифу для компенсации потерь в элек-

трических сетях – 16,47 руб/кВт·ч (Департамент государственного регулирования тарифов Краснодарского края). Из табл. 1 следует такое же значение за 2023 г. – 2930 МВт·ч (тариф – 16,079 руб/кВт·ч); из таблицы 2 за 2024 г. – 3062 МВт·ч (тариф – 16,062 руб/кВт·ч). Всего за 2022 – 2024 гг. общая выработка электрической энергии составила 6372 МВт·ч стоимостью 99,5 млн. руб. При предварительной сметной стоимости СЭС 230 млн. руб. приведенные данные выработки и стоимости выработанной электрической энергии позволяют оценить ее срок окупаемости не более 4,5 лет.

Надежность оборудования СЭС оценивалась по отказам ФЭМ и инверторов. Из 5948 ФЭМ за два года эксплуатации были заменены три модуля (повреждение камнями при покосе травы). Менялись соединительные разъемы MC4-У модулей.

Диагностика состояния ФЭМ в основном осуществлялась тепловизором. Для уменьшения загрязнения ФЭМ были установлены электронные отпугиватели птиц. Из 9 инверторов типа KENUA в первый год 8 вышли из строя и были заменены. Причины: отказ системы управления – 3 шт.; КЗ инвертора – 4 шт.; отказ вентилятора – 1 шт. Менялись и дополнительно протягивались муфты силовых питающих кабелей инверторов. После замены инверторов программа Wisesolar Plus для Android и Windows платформ позволяют диагностировать их состояние по стандартному протоколу Modbus.

Таблица 1 – Основные показатели работы СЭС в 2023 г.

Месяц	Электрическая энергия		
	Фактическая, кВт·ч / % плановой	Плановая, кВт·ч	Собственные нужды, кВт·ч
Январь	176053,76 / 144,75	121630	1814,7
Февраль	110406,72 / 66,25	166660	1657,73
Март	183362,56 / 78,01	235046	1731,64
Апрель	253921,28 / 81,13	312980	1735,16
Май	302868,48 / 80,75	375075	1948,88
Июнь	367476,48 / 106,19	346071	2055,55
Июль	385088,32 / 105,61	364646	2248,63
Август	356797,76 / 96,36	370295	2273,03
Сентябрь	345848,64 / 111,01	311548	2158,58
Октябрь	254819,2 / 109,1	233561	2051,84
Ноябрь	124829,76 / 80,09	155869	1869,45
Декабрь	68145,92 / 63,76	106875	2023,4
ИТОГ	2929618,88 / 93,58	3100256	23568,59



Рис. 2. Графики выработанной и плановой электрической энергии в 2023 г., кВт·ч

Выводы

С учетом вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Результаты двухлетней эксплуатации СЭС подтвердили работоспособность основных проектных компоновочных и схемных решений. Фактические значения выработанной электрической энергии существенно не отличаются от плановых. Значение КИУМ равное 14,9% характеризует эффективность работы СЭС. Подтверждена целесообразность использования свободных участков ТЭЦ для размещения ФЭМ.

2. Эксплуатационные показатели основного оборудования (ФЭМ) отечественного производства оцениваются достаточно высоко, а годовые затраты на эти цели не превышают 0,8% стоимо-

сти выработанной электрической энергии.

3. Фактические экономические показатели СЭС позволяют оценить ее окупаемость до 4,5 лет.

Список литературы

1. Исследования работы паротурбинного энергоблока при сжигании природного газа в чистом кислороде с целью обеспечения декарбонизации за счет модернизации газового тракта (на примере парового котла ТГМ-94 (ЕП-500/140)) / Шапошников В.В., Кочерян Е.В., Батько Д.Н., Шелест Н.А. и др. // PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE. 2024. № 4 (64). – С. 91-103.

Таблица 2 – Основные показатели работы СЭС в 2024 г.

Месяц	Электрическая энергия		
	Фактическая, кВт·ч / % плановой	Плановая, кВт·ч	Собственные нужды, кВт·ч
Январь	94457,32 / 78,03	121057	2056,63
Февраль	188917,44 / 113,75	166077	1808,63
Март	140112,96 / 59,97	233640	1062,1
Апрель	350405,76 / 112,54	311366	1972,77
Май	387413,44 / 103,96	372666	1949,39
Июнь	413074,56 / 120,16	343779	2409,93
Июль	369267,2 / 101,81	362716	2868,89
Август	364371,84 / 98,92	368349	2716,39
Сентябрь	335872 / 108,42	309802	2430,52
Октябрь	202321,28 / 87,08	232328	1770,51
Ноябрь	124648,96 / 80,45	154946	1831,16
Декабрь	91067,2 / 85,67	106305	1998,47
ИТОГ	3061929,96 / 95,89	3083031	24875,39

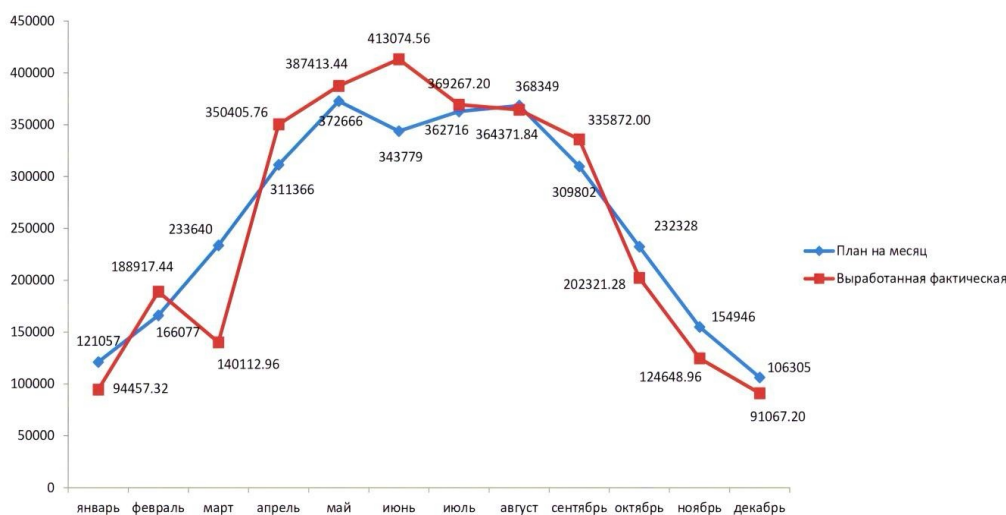


Рис. 3. Графики выработанной и плановой электрической энергии в 2024 г., кВт·ч

2. Анализ перспективных для строительства солнечных электростанций районов России с учетом ресурса солнечной энергии и нестабильности ее поступления / Фрид С.Е., Лисицкая Н.В., Попель О.С. и др. // Вестник ОИВТ РАН. – 2024. – № 13. – С. 1-6.

3. Попель О.С. Современные тенденции развития фотоэлектрической энергетики (Обзор) / Попель О.С., Тарасенко А.Б. // Теплоэнергетика. – 2021. – № 10. – С. 1-21.

4. Бутузов В.А. Комбинированное энергообеспечение предприятий от региональной энергосистемы и собственной солнечной и газовой генерации / Бутузов В.А., Гришин В.В. // Энергетическая политика. – 2025. – № 1. – С. 24-31.

References

1. Research of the operation of a steam turbine power unit burning natural gas in pure oxygen in order to ensure decarbonization due to the modernization

of the gas path (using the TGM-94 (EP-500/140) steam boiler as an example) / Shaposhnikov V.V., Kocheryan E.V., Batko D.N., Shelest N.A. et al. // PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE. 2024. No. 4 (64). – P. 91-103.

2. Analysis of promising areas of Russia for the construction of solar power plants taking into account the solar energy resource and the instability of its supply / Frid S.E., Lisitskaya N.V., Popel O.S. et al. // Bulletin of the Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences. – 2024. – No. 13. – P. 1-6.

3. Popel O.S. Modern trends in the development of photovoltaic energy (Review) / Popel O.S., Tarasenko A.B. // Thermal engineering. - 2021. - No. 10. - P. 1-21.

4. Butuzov V.A. Combined energy supply of enterprises from the regional energy system and their own solar and gas generation / Butuzov V.A., Grishin V.V. // Energy policy. - 2025. - No. 1. - P. 24-31.

Сведения об авторах

Бутузов Виталий Анатольевич – доктор технических наук, доцент, проф. кафедры электротехники, теплотехники и ВИЭ ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», г. Краснодар, ets@nextmail.ru.

Шапошников Валентин Васильевич – кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и инновациям ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Краснодар, shaposhnikov.valentin@gmail.com.

Безе Ярослав Игоревич – инженер, генеральный директор ООО «Лукойл-Кубаньэнерго», г. Краснодар, yaroslav.beze@lukoil.com.

Кочарян Евгений Валерьевич – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Теплоэнергетики и теплотехники ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Краснодар, kocha99@mail.ru.

Андрейко Наталья Геннадьевна – кандидат технических наук, доцент, доц. кафедры «Теплоэнергетики и теплотехники ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Краснодар, kafedra-tt@mail.ru.

Дата поступления рукописи: 08.04.2025

Дата принятия рукописи: 16.06.2025