

Научно-технический журнал

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Выпуск #2 (2025)

Энергетические системы и комплексы

Бутузов В.А., Шапошников В.В., Безе Я.И., Кочарян Е.В.,
Андрейко Н.Г. Опыт эксплуатации сетевой солнечной
электростанции Краснодарской ТЭЦ

Токтоназаров С.Т., Шайдуллаев Р.Б., Абдуллаева М.А.
Гелиокотельная установка на основе использования
солнечной энергии

Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Абдурахманов Б.М.,
Кенжаев И.Г., Багышев А.С., Маразаков Ш.А.
Нестационарные тепловые потери и температуры
теплоизолированных стен

Турбомашины и поршневые двигатели

Попов Е.В. Возможности использования отводимой
теплоты от ДВС. Часть 1. Результаты расчета системы
охлаждения двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ-238

0 журнале

Краткая информация

Журнал «Тепловые электрические станции»—ежеквартальный научно-технический рецензируемый журнал.

Журнал публикует материалы о современном состоянии науки и техники в области тепловой энергетики, теплотехники, турбомашиностроения и смежных областях. Освещает вопросы рационального и эффективного использования топливно-энергетических ресурсов, экологически чистых и безотходных технологий, возобновляемых источников энергии, теплофикации, решения наиболее важных научно-технических проблем в области энергетики. Журнал рассчитан на ученых и специалистов, работающих на электростанциях и предприятиях энергомашиностроительной промышленности, инженеров-исследователей, научно-педагогических работников и обучающихся по профильным направлениям.

Журнал находится в открытом доступе. За публикацию рукописей плата с авторов, включая студентов и аспирантов, не взимается. Авторский гонорар за издание статей не начисляется.

Журнал «Тепловые электрические станции» индексируется в РИНЦ.

История переименований

С 2013 г. по 2025 г. «Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых».

С апреля 2025 г. переименован в «Тепловые электрические станции».

Разделы журнала

1. Энергетические системы и комплексы.
2. Турбомашины и поршневые двигатели.
3. Краткие сообщения. Успехи в области энергетики и турбомашиностроения.

Учредитель и издатель

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский
государственный университет
(национальный исследовательский
университет)»

Редакционная коллегия

Главный редактор:

Осинцев К.В., доктор техн. наук

Зам. главного редактора:

Пшениснов Н.А., канд. техн. наук

Члены редколлегии:

Кирпичникова И.М., доктор техн. наук

Соломин Е.В., доктор техн. наук

Возмилов А.Г., доктор техн. наук

Ганджа С.А., доктор техн. наук

Тягунов М.Г., доктор техн. наук

Горожанкин А.Н., доктор техн. наук

Задорожная Е.А., доктор техн. наук

Леванов И.Г., доктор техн. наук

Редакция

Технический редактор:

Левашова И. В.

Контакты

Адрес редакции:

454080, г. Челябинск, просп. В.И.

Ленина, д. 76

Телефоны:

+7 (351) 267-93-95

+7 (952) 527 67 24

E-mail:

thermalpowerplants@mail.ru

Веб-сайт:

www.tes.susu.ru

Научно-технический журнал ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

Выпуск #2 (2025)

Содержание

Энергетические системы и комплексы

Бутузов В.А., Шапошников В.В., Безе Я.И., Кочарян Е.В,
Андрейко Н.Г. Опыт эксплуатации сетевой солнечной
электростанции Краснодарской ТЭЦ..... 2

Токтоназаров С.Т., Шайдуллаев Р.Б., Абдуллаева М.А.
Гелиокотельная установка на основе использования солнечной
энергии..... 8

Клычев Ш.И., Бахрамов С.А., Абдурахманов Б.М., Кенжаев И.Г.,
Багышев А.С., Маразаков Ш.А. Нестационарные тепловые потери и
температуры теплоизолированных стен..... 12

Турбомашины и поршневые двигатели

Попов Е.В. Возможности использования отводимой теплоты от
ДВС. Часть 1. Результаты расчета системы охлаждения двигателя
внутреннего сгорания ЯМЗ-238..... 19

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.



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

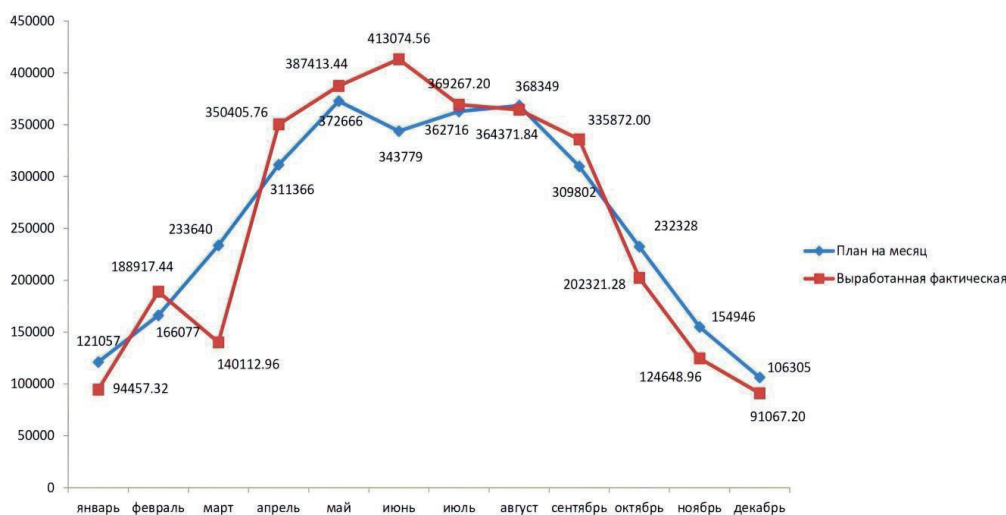


Рис. 3. Графики выработанной и плановой электрической энергии в 2024 г., кВт·ч

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

ГЕЛИОКОТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

- **Токтоназаров С.Т.**, Институт природных ресурсов южного отделения Национальной академии наук КР, г. Ош, Кыргызская республика
- **Шайдуллаев Р. Б.**, канд. техн. наук, Институт природных ресурсов южного отделения Национальной академии наук КР, г. Ош, Кыргызская республика
- **Абдуллаева М.А.**, Институт природных ресурсов южного отделения Национальной академии наук КР, г. Ош, Кыргызская республика

SOLAR BOILER PLANT BASED ON THE USE OF SOLAR ENERGY

- **Toktonazarov S.T.**, IPR SB NAS KR, Osh, Kyrgyz republic
- **Shaidullaev R.B.**, IPR SB NAS KR, Osh, Kyrgyz republic
- **Abdullaeva M.A.**, IPR SB NAS KR, Osh, Kyrgyz republic

Предлагаемая гелиокотельная установка применяется для нагревания воды в быту с помощью солнечной энергии. Такие установки для Республики Кыргызстан принесут большую экономическую выгоду, особенно в теплоэнергетическом секторе страны при использовании в качестве дополнительного источника теплоты. Научная новизна исследования состоит в разработке конструкции гелиокотельной установки тепловой схемы ее работы. Практическая ценность предлагаемой работы заключается в создании предпосылок для экономии электрической энергии в энергетическом секторе, а также улучшении бытовых условий и наладки стабильного водоснабжения горячей водой.

Ключевые слова: гелиокотельная установка, нагревание воды, энергетический сектор, солнечная энергия, экономика, тепловая энергия.

The proposed solar boiler plant is used to heat water at home using solar energy. Such plants will bring great economic benefits to the Kyrgyz Republic, especially in the country's heat and power sector when used as an additional heat source. The scientific novelty of the study lies in the development of a solar boiler plant design and its thermal operation scheme. The practical value of the proposed work lies in creating prerequisites for saving electricity in the energy sector, as well as improving living conditions and creating favorable factors for establishing a stable hot water supply.

Key words: solar boiler plant, water heating, energy sector, solar energy, economics, thermal energy.

Введение

Кыргызстан — солнечная страна, в его долинах каждый второй день в малооблачном или солнечный. Обилье солнечного света и тепла способствуют широкому использованию чистой энергии солнца. Демонстрация реально действующих установок, по использованию возобновляемых источников энергии, помогло бы лучшему пониманию использования нетрадиционной энергетики среди населения.

В тоже время часть населения страны обладает в достаточной мере простыми бытовыми условиями. Доступ к электрическим и тепловым сетям ограничен, а водоснабжение домовладений и земель зависит от режима работы каналов, стоков, арыков и других мелиоративных сооружений. Тем более, ограничен доступ к горячему водоснабжению. Разработка источников тепло- и электроснабжения на базе возобновляемой энергетики считается перспективным для энергетического сектора страны.

Авторы исследования предлагают новый вариант гелиокотельной установки, предназначенной для получения горячей воды в бытовых условиях. Для достижения поставленной цели работы решаются следующие задачи: поиск и анализ основных проблем при использовании нетрадиционного источника энергии; выявление тенденций по обеспечению электрической энергией населения. Изучением проблем гелиоустановок занимались несколько групп ученых: Харченко Н.В. [1], сотрудники Академии наук СССР [2], Слюсарев Г.Г. [3], Ремизов А.Н. [4], Аvezов Р.Р., Барский-Зорин М.А., Васильев И.М. [5].

Предлагаемые методы

Для решения проблем повышения производства электроэнергии в нашей стране имеется только угольная промышленность. Для нахождения путей в развитии электроэнергетики считается актуальным вопрос о внедрении возобновляемых источников энергии, которую можно получить от Солнца и ветра. Новизна предлагаемой идеи заключается в создании гелиокотельной установки, которая позволит нагревать определенный объем воды при помощи солнечной энергии.

Исследовательская часть

В представленной работе произведен анализ состояния нетрадиционных источников энергии. Учитывая важность получения дополнительных источников энергии, в Кыргызстане рассматривается один из вариантов тепловой энергии, а именно гелиокотельная установка для нагревания воды. Авторы спроектировали передвижную гелиоустановку производительностью 200 л горячей воды за световой день. Общий вид установки приведен на рис. 1. В конструкцию входит солнечный коллектор, состоящий из трех одинаковых блоков (при необходимости количество блоков можно увеличить), накопителя горячей воды и расширительного бачка.

Для коллектора использовался принцип «парникового эффекта». Свойство солнечных лучей беспрепятственно проходит сквозь прозрачную среду в замкнутое пространство, и превращаться в тепловую энергию, уже не способную преодолеть путь обратно через прозрачное стекло коллектора 1. Также в гидравлической схеме использован термосифонный эффект, то есть

свойство жидкости при нагревании подниматься, вверх вытесняя при этом более холодную воду и заставляя ее перемещаться к месту нагрева. Следует также отметить, что при разработке учитывался и эффект накопления и сохранения тепловой энергии, а в установке «уловленная» солнечная энергия, преобразованная в тепловую, аккумулируется и сохраняется длительное время, за счет применения кремнистого материала в конструкции коллектора 1. При проектировании также учитывалось, что все составные элементы водонагревателя будут доступны для изготовления своими силами, из такого сырья, материалов, которые можно приобрести в открытой продаже либо подобрать из металлолома. И так, об устройстве гелиокотельной установки и о принципе его работы.

Коллектор 1 – это трубчатый радиатор, заключенный в короб, одна из сторон которого застеклена. Коллектор 1 сварен из стальных труб, причем для подводящей и отводной используется водопроводные трубы, на 1 или на $\frac{3}{4}$ дюйма, а для решетки лучше использовать тонкостенные трубы меньшего диаметра, например, труба $\varnothing 16 \times 1,5$ мм. Всего для одной решетки требуется 15

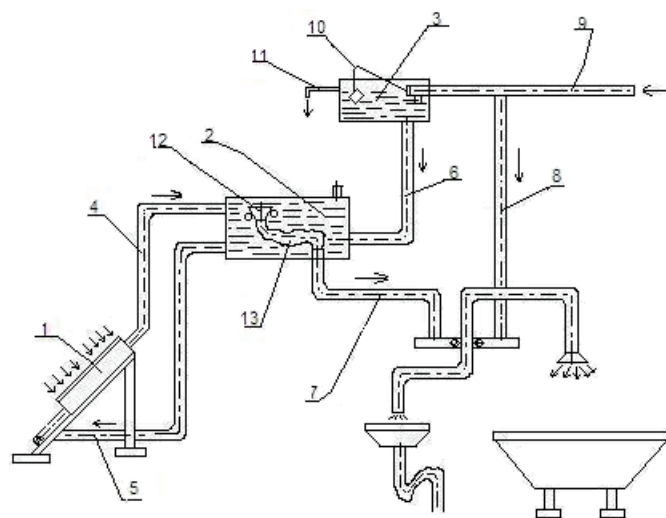


Рис.1. Конструктивная схема гелиокотельной установки:

1- коллектор солнечной энергии, 2 – накопитель, 3 – расширительный бак, 4 – горячая труба солнечного коллектора, 5 – холодная труба солнечного коллектора, 6 – трубопровод подпитки накопителя, 7 – подвод горячей воды к смесителю, 8 – подвод холодной воды к смесителю, 9 – водопроводный ввод, 10 – поплавковый клапан, 11- дренажная труба расширительного бачка, 12 – плавающая воронка для забора горячей воды, 13 – шланг для забора горячей воды

таких труб длиной около 1500 мм. Короб коллектора 1 деревянный собран из доски толщиной 25...30 мм и шириной 120 мм. Днище короба из фанеры или же оргалита, усилено рейками сечения 30 x 50 мм. Короб тщательно теплоизолируется, сделать это можно с помощью упаковочного или строительного пенопласта, он укладывается на дно, поверх него закрывается лист белой жести или оцинкованного кровельного железа, затем засыпается белый песок, и сверху песка укладывается кровельное железо, который окрашивается в черный цвет, затем сверху укладывается коллектор 1. Закрепляется коллектор 1 в коробе хомутом из стальной полосы. Покровное стекло желательно герметизировать, с тем, чтобы потери тепла за счет конвекции были минимальными.

С внешней стороны короб желательно окрасить серебрянкой для того, чтобы уменьшить потери на теплоизлучение. Все соединения как сварные, так и резьбовые должны быть строго герметичными. Соединение труб стандартное, с помощью муфт, тройников и угольников.

Накопителем 2 теплоносителя может служить бак емкостью 200-300 литров. В принципе для этой цели годится и любая подходящая бочка. Накопитель 2 также желательно теплоизолировать. Идеальным вариантом размещение емкости в дощатом или же фанерном коробе с заполнением межстеночного пространства любым теплоизолятором строительным пенопластом, шлаковатой, сухими опилками или даже рубленой соломой или сеном. С той же целью саму бочку желательно окрасить изнутри и снаружи серебрянкой. Ей же следует окрасить короб.

Расширительный бак 3 предназначен для создания в гидросистеме постоянного, не слишком высокого давления – 800...1000 мм водного столба. Изготовить ее можно из любого подходящего сосуда емкостью 30 – 40 литров, например, большего бидона или даже алюминиевой кастрюли той же вместимости. Расширительный бак 3 оснащается подпитывающим устройством, позволяющим ей работать в автоматическом режиме. Его основа – поплавковый клапан 10, который применяется в быту для сливных бачков. Расширительный бак 3 размещается поблизости от накопителя 2 таким образом, чтобы уровень воды в ней превышал уровень воды в накопителе на 0,8...1 м.

Заполнение системы водой осуществляется через дренажные вентили в нижней части коллектора 1, в этом случае будет гарантия от появления в системе воздушных пробок. Процесс заполнения заканчивается, когда из дренажной трубы 11 расширительного бака 3 польется вода. Затем подсоединяем расширительный бак 3 к водопроводному вводу 9 и открывается расходный вентиль, при этом уровень воды в расширительном баке 3 начнет снижаться до тех пор, пока не сработает поплавковый клапан 10. Подгибая держатель поплавка 11, можно добиться оптимального уровня воды в расширительном баке 3. После заполнения системы водой радиаторы или коллектора 1 тут же начнут нагревать ее, это происходит даже в облачную погоду. Теплая вода станет подниматься вверх, заполняя собой накопитель 2 и вытесняя при этом холодную, которая поступит в коллектор 1. Процесс происходит непрерывно до тех пор, пока температура воды, поступающей в коллектор 1, не сравняется с температурой воды, поступающей из коллектора 1.

При расходовании воды из накопителя 2 уровень ее в расширительном баке 3 понизится, тогда сработает поплавковый клапан 10 и дольет воду в расширительный бак 3. Холодная вода из расширительного бака 3 поступит в нижнюю часть накопительной емкости 2 поэтому перемешивание воды практически не происходит. Теплая же вода забирается из самой верхней части накопителя 2, при помощи плавающей воронки 12 и шланга 13 для забора горячей воды. Следует помнить, что в ночное время, когда температура на улице меньше чем температура нагретой воды, солнечный водонагреватель с помощью коллектора 1 начнет отапливать улицу – термосифонный эффект работает и в этом случае, перекачивая тепло в обратном направлении. Поэтому гидросистеме должен быть предусмотрен вентиль, препятствующий обратной циркуляции воды из коллекторов 1 в накопитель 2, который имеет смысл перекрывать в вечернее и ночное время.

Подводку воды к мойке или к душу можно произвести с помощью стандартных смесителей. Мера эта отнюдь не лишняя, в солнечную погоду температура воды может достигать 80°C, и пользоваться такой водой затруднительно. К тому же смесители позволяют существенно экономить горячую воду.

Выводы

1. В результате проведенного анализа установлены причины приводящие, к энергодефициту и приведены пути их решения.

2. Одним из решений энергодефицита может быть гелиокотельная установка.

3. Представленная схема установки позволит уменьшить расход электрической энергии жителям сельской местности страны.

Список литературы

1. Харченко, Н.В. Индивидуальные солнечные установки / Н.В. Харченко. – М.: Энергоиздат. – 1991. – 208 с.

2. Использование солнечной энергии: Сборник статей. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. – 1 т.; Сб. 1. – 1957. – 248 с.

3. Слюсарев, Г.Г. О возможном и невозможном в оптике / Г.Г. Слюсарев. – издание третье, дополненное. – М.: Физматгиз. – 1960. – 193 с.

4. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник / А.Н. Ремизов. – 4-е изд.,

спр. и перераб. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2013. – 648 с.

5. Системы солнечного тепло-и хладоснабжения / Р.Р. Аvezов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева. – под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.

References

1. Kharchenko, N.V. Individual solar installations / N.V. Kharchenko. - M.: Energoizdat. - 1991. - 208 p.

2. Use of solar energy: Collection of articles. - M.: Publishing house of the USSR Academy of Sciences, 1957. - 1 v.; Collection 1. - 1957. - 248 p.

3. Slyusarev, G.G. On the possible and the impossible in optics / G.G. Slyusarev. - third edition, supplemented. - M.: Fizmatgiz. - 1960. - 193 p.

4. Remizov, A.N. Medical and biological physics: textbook / A.N. Remizov. - 4th ed., reference and revision. – M.: GEOTAR – Media, 2013. - 648 p.

5. Solar heat and cold supply systems / R.R. Avezov, M.A. Barsky-Zorin, I.M. Vasilyeva. – ed. E.V. Sarnatsky and S.A. Chistovich. – M.: Stroyizdat, 1990. – 328 p.

Сведения об авторах

Токтоназаров Садыкбек Токтоназарович – с.н.с., зав. научно-производственный центр НПЦ «Технолог» Института природных ресурсов южного отделения Национальной академии наук КР (ИПР ЮО НАН КР), sad.tok52@mail.ru.

Шайдуллаев Расулбек Бегимкулович – кандидат технических наук, с.н.с., зав. лаб. «Газификация угля» Института природных ресурсов южного отделения Национальной академии наук КР (ИПР ЮО НАН КР), shrb63@mail.ru.

Абдуллаева Миргуль Пазылбековна – ученый секретарь Института природных ресурсов южного отделения Национальной академии наук КР (ИПР ЮО НАН КР), mirgul21.01@mail.ru.

Дата поступления рукописи: 30.05.2025

Дата принятия рукописи: 16.06.2025

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ПОТЕРИ И ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕПЛОИЗОЛИРОВАННЫХ СТЕН

- **Клычев Ш.И.**, доктор техн. наук, Научно-технический центр с конструкторским бюро и опытным производством АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан
- **Бахрамов С.А.**, доктор физ.-мат. наук, Научно-технический центр с конструкторским бюро и опытным производством АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан
- **Абдурахманов Б.М.**, доктор техн. наук, Институт ионно-плазменных технологий АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан
- **Кенжаев И.Г.**, доктор техн. наук, Ошский государственный технический университет, г. Ош, Кыргызстан
- **Багышев А.С.**, Ошский государственный технический университет, г. Ош, Кыргызстан
- **Маразакوف Ш.А.**, Ошский государственный технический университет, г. Ош, Кыргызстан

NON-STATIONARY HEAT LOSSES AND TEMPERATURES OF THERMALLY INSULATED WALLS

- **Klychev Sh.I.**, D.Sc, Scientific and Technical Center with Design Bureau and Pilot Production, Tashkent, Uzbekistan
- **Bakhramov S.A.**, D.Sc, Scientific and Technical Center with Design Bureau and Pilot Production, Tashkent, Uzbekistan
- **Abdurakhmanov B.M.**, D.Sc, Institute of Ion-Plasma Technologies, Tashkent, Uzbekistan
- **Kenjaev I.G.**, D.Sc, Osh State Technical University, Osh, Kyrgyz republic
- **Bagyshev A.S.**, Osh State Technical University, Osh, Kyrgyz republic
- **Marazakov Sh.A.**, Osh State Technical University, Osh, Kyrgyz republic

Цель научного исследования – определение влияния теплоизоляции и её перераспределения на теплопотери и температуры стен из сырцового кирпича с учетом переменной температуры наружного воздуха и потоков падающего излучения. Объект исследования – многослойные теплоизолированные стены сырцового кирпича. Предмет исследования – нестационарные температурные поля в многослойных стенах, удельные тепловые потоки. Задачи исследования состоят в разработке методики распределения нестационарных температурных полей по толщине теплоизолированных многослойных стен. Научная новизна состоит в использовании уравнений метода конечных разностей для инженерных прогнозных расчетов. Теоретическая значимость состоит в определении модельных характеристик падающего солнечного излучения. Практическая значимость состоит в разработке программы расчета. Итогом исследования стали рекомендации по перераспределению теплоизоляции для стен с большой тепловой инерцией, что важно для обеспечения более комфортных температур на внутренней поверхности стены.

Ключевые слова: программа расчета, тепловые потери, тепловая инерция, солнечное излучение, температурное поле.

The purpose of the scientific research is to determine the effect of thermal insulation and its redistribution on heat losses and temperatures of walls made of adobe bricks, taking into account the variability of the outside air temperature and incident radiation

flows. The object of the study is multilayer thermally insulated walls of adobe bricks. The subject of the study is non-stationary temperature fields in multi-layer walls, specific heat flows. The objectives of the study are to develop a method for distributing non-stationary temperature fields across the thickness of thermally insulated multilayer walls. The scientific novelty lies in using the equations of the finite difference method for engineering predictive calculations. The theoretical significance lies in determining the model characteristics of incident solar radiation. The practical significance lies in developing a calculation program. The study resulted in recommendations for redistributing thermal insulation for walls with high thermal inertia, which is important for ensuring more comfortable temperatures on the inner surface of the wall.

Key words: calculation program, heat loss, thermal inertia, solar radiation, temperature field.

Введение

Экономия энергии на отопление и охлаждение важная задача энергосбережения [1-2]. Как известно одним из основных источников потерь тепла (холода) в зданиях являются ограждающие конструкции (стены) и эффективный способ их уменьшения, это теплоизоляция стен, обычно наружная. Расчеты теплозащитных параметров стен вследствие многопараметричности задачи (теплофизические параметры (ТФХ), толщина слоев, влияние тепловой инерции, температуры стен, условия гигроскопичности, комфортность и внешних параметры - температура и потоки излучения) ведутся для стационарного теплового режима и только для некоторых характерных внешних температур [3-5]. В частности, это также обусловлено и сложностью аналитического и численного решения задач нестационарной теплопередачи в многослойных ограждающих конструкциях.

Можно отметить, что в существующих нестационарных методиках расчета потоки собственного излучения учитываются только в виде добавки к коэффициенту конвективной теплоотдачи [6-13].

Приближенная нестационарная численная одномерная модель теплопередачи в многослойных стенах с учетом излучения была предложена в [14] и проведена оценка влияния толщины наружной теплоизоляции стены на удельные нестационарные тепловые потери, а в [15] на мощности отопления. Вопросы эффективности использования теплоизоляции (необходимость не только наружной, но и внутренней теплоизоляции (рис. 1)), а также их влияния на температуры стен не рассматривались.

Цель настоящей работы исследование влияния теплоизоляции и её перераспределения на тепло-

потери и температуры стен из сырцового кирпича (рис. 1) с учетом переменности температуры наружного воздуха и потоков падающего излучения.

Методика проведения исследований

Численная модель и разработанная программа расчета нестационарной теплопередачи в многослойной стене с учетом собственного излучения слоев основана на методе конечных разностей (МКР) [14,15].

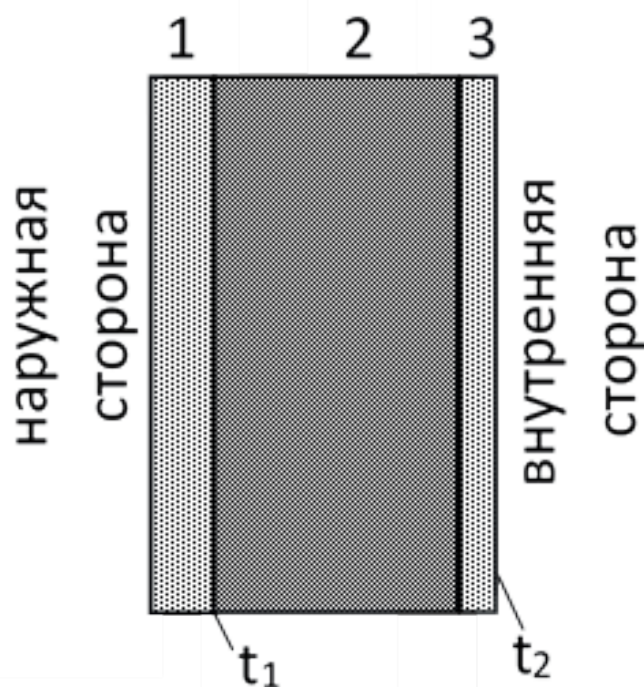


Рис. 1. Схема стенки:

1- наружная теплоизоляция, 2- несущая стена, 3- внутренняя теплоизоляция и t_1 , t_2 - температуры в характерных точках стены: t_1 - на наружной поверхности несущей стены, t_2 - на внутренней поверхности стенки

Анализ показывает, что возможность учета собственного излучения заложена в самом МКР, а для многослойной стенки между слоями вводятся малые зазоры Δh , что позволяет разделять слои и рассматривать их для каждого слоя отдельно.

Разделение слоев малыми зазорами позволяют применять МКР для каждого слоя отдельно (рис. 2), а в граничных условиях учитывается как конвекция, так отдельно и излучение. Схема разбиения слоев по МКР (рис. 2) на элементарные слои (ЭС) проводим по схеме, изложенной в [16].

Неявные конечно-разностные уравнения МКР [16] для внутренних ЭС отдельных слоев il (в программе число слоев NL может быть больше 10) имеют в модели стандартный вид

$$\rho c \frac{(T_i^{j+1} - T_i^j)}{\Delta \tau} = \lambda \frac{(T_{i+1}^j - 2T_i^j + T_{i-1}^j)}{\Delta x^2} \quad (1)$$

где i – номер ЭС ($i=1 \div N$, N – число разбиений слоя), $\Delta \tau$ – элементарный шаг времени, j – момент времени; ρ , c , λ – плотность, теплоемкость и теплопроводность слоя; $\Delta x = h/(N-1)$, толщина внутреннего ЭС (толщина граничных слоев равна $\Delta x/2$; T_i^j – температура ЭС i в момент времени j .

Уравнения МКР для граничных ЭС ($i=1$, или $i=N$), учитывая, что плотности потоков собственного излучения q_{cl} равны $q_{cl} = \epsilon_i \sigma (T_i^j)^4$ можно записать в виде (например, для $il=1$ и $i=1$)

$$\rho c \frac{\Delta x}{2} \frac{(T_1^{j+1} - T_1^j)}{\Delta \tau} = \alpha_{k1}^j (T_{c1}^j - T_1^j) + \frac{\lambda}{\Delta x} (T_1^j - T_2^j) + \alpha_1 q_{p1} - q_{c1} \quad (2)$$

где α_{ji}^k – коэффициент собственно конвективного теплообмена, определяемый из известных критериальных зависимостей; T_{c1}^j , T_1^j , T_2^j – температуры среды и ЭС в j момент времени (далее, температуры с малыми t в $^\circ\text{C}$, а с большими T в K); α , ϵ – поглощательная и излучательная способность поверхностей граничных ЭС, предполагается, что $\alpha = \epsilon$, q_{p1} – суммарная плотность падающего наружного излучения (небо, земля, сооружений и Солнце), или излучение соседнего отдельного слоя. Уравнения, аналогичные (1) и (2) записываем для каждого отдельного слоя. Такая модель точная в плане учета собственного излучения и приближенная в плане учета многослойности позволяет унифицировать алгоритм решения задачи и существенно упростить процедуру определения прогоночных коэффициентов для слоев с различными ТФХ (оценки

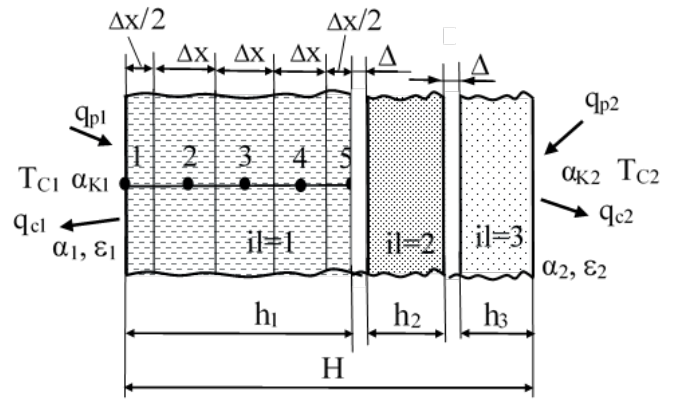


Рис. 2. Расчетная схема теплопередачи в многослойной стене

погрешности модели проводилась путем сравнения температур на поверхности и в центре многослойной (численное решение по программе) и однослойной пластин (аналитическое решение) одинаковой толщины и одинаковых граничных условиях, в частности получено, что различие в температурах для случая трехслойной стены в максимуме не превышает $\pm 0.25\%$.

На внутренней стороне стенки температура потоков падающего излучения определялись из условия $t_{r2} = t(NL, N)$, или $q_{p2} = \epsilon_2 \sigma (t_{r2} + 273)^4$ (для комнаты это означает, что температуры окружающих стен изменяются одинаково).

На рис.3 приведены модельные характеристики падающего солнечного излучения ЕС и температуры наружного воздуха t_{c1} в зимнее время.

Изменение ЕС определялось в виде

$$E_c = E_0 \cdot (c \cdot n) \quad (3)$$

где E_0 – плотность нормального солнечного излучения в полдень, Вт/м^2 , $c \cdot n$ – скалярное произведение единичных векторов Солнца (c) и нормали стенки (n). Температура воздуха t_{c1} моделировалась приближенно двумя периодическими функциями.

Результаты и обсуждение

На рис. 4 приведены тепловые потери стены без теплоизоляции (сырцовый кирпич с штукатуркой 43 см ($\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$, $c = 880 \text{ Дж/кгK}$, $\lambda = 0.58 \text{ Вт/мK}$) в зимнее время для внешних условий на рис.3.

Как видно, теплотери стены растут во времени и только к третьим суткам могут прийти в регулярное состояние. В связи с переменностью внешних условий и те-

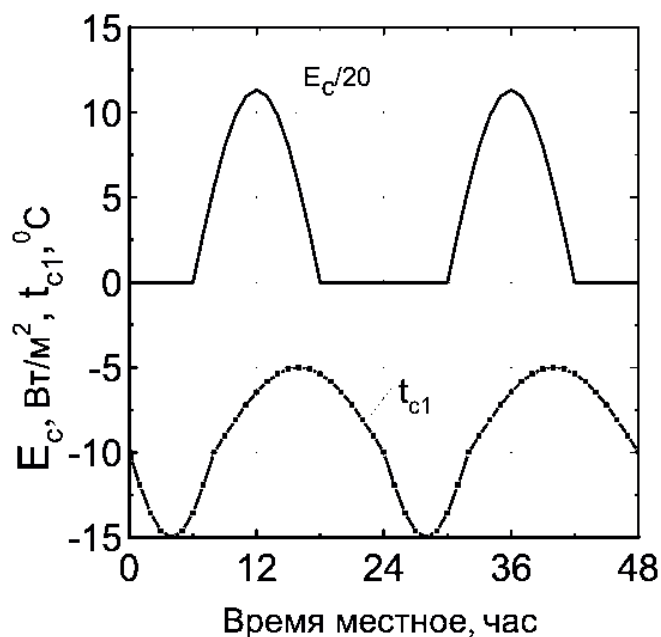


Рис. 3. Модельные характеристики падающего солнечного излучения и температуры наружного воздуха в зимнее время

пловой инерцией стены заметно и влияние α .

На рис. 5 (а) показаны характерные теплопотери теплоизолированной стены в зимнее время (определяются потоком на внутренней стороне стенки q_2 , при $q_2 < 0$ стенка воспринимает тепло, при $q_2 > 0$ стенка отдает тепло) в зависимости от толщины и распределения теплоизоляции, а на рис. 5 (б) температуры на внутренней поверхности стенки t_2 .

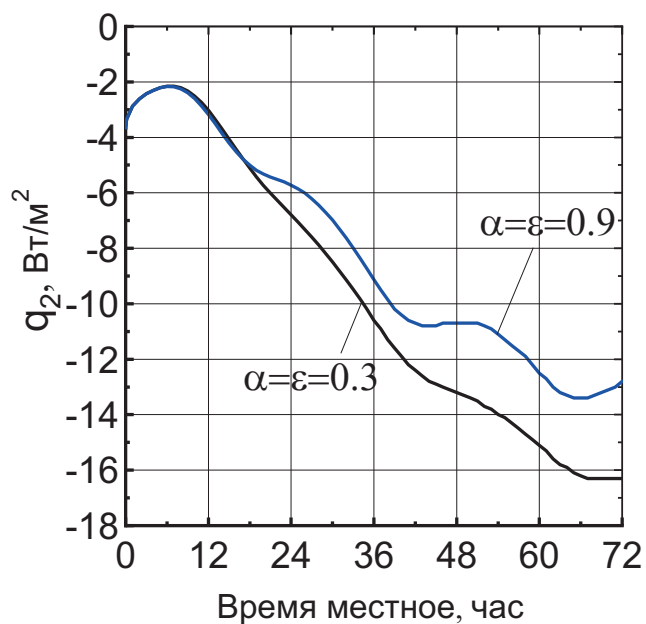


Рис. 4. Стена без теплоизоляции, зимнее время при различных $\alpha=\epsilon$

Теплоизоляция - пенополиуретан (ППУ, $\rho=150 \text{ кг/м}^3$, $c=1470 \text{ Дж/кг К}$, $\lambda=0,029 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$). Начальные температуры слоев стены $t_0=19^\circ\text{C}$, температура неба $t_{r1}=0^\circ\text{C}$, нормальная плотность солнечного излучения в полдень $E_0=500 \text{ Вт/м}^2$, $\alpha_f=0,3$, температура воздуха на внутренней стороне стенки t_{c2} постоянна и равна 20°C .

Как видно, влияние теплоизоляции на теплопотери существенно, причем эффектив-

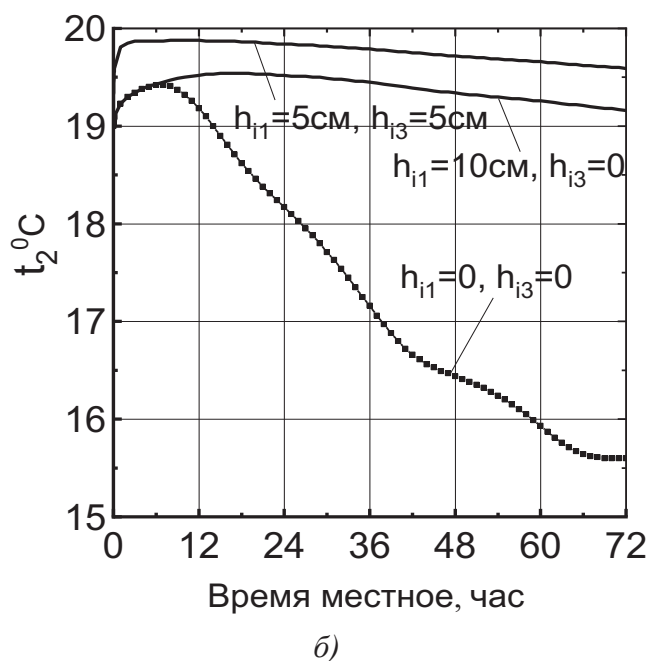
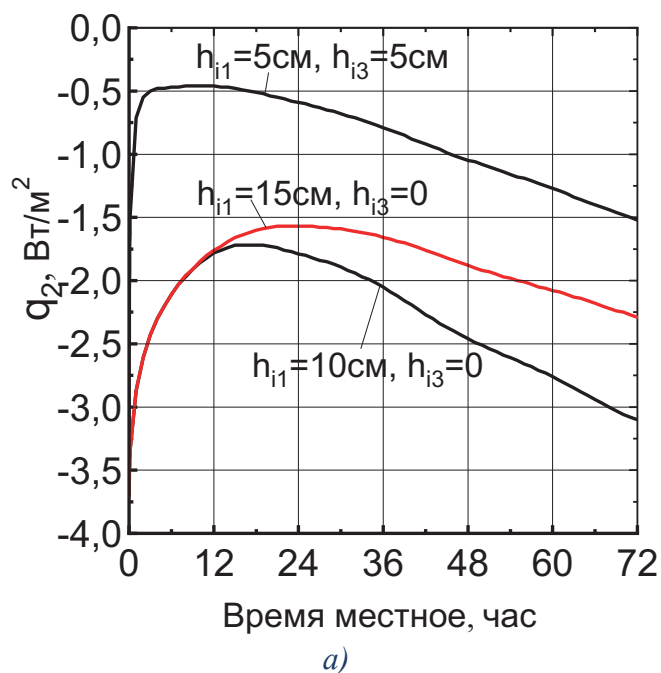


Рис. 5. Влияние толщины теплоизоляции и её перераспределения на теплопотери (а) и температуру внутренней поверхности стенки (б) в зимнее время (рис. 1)

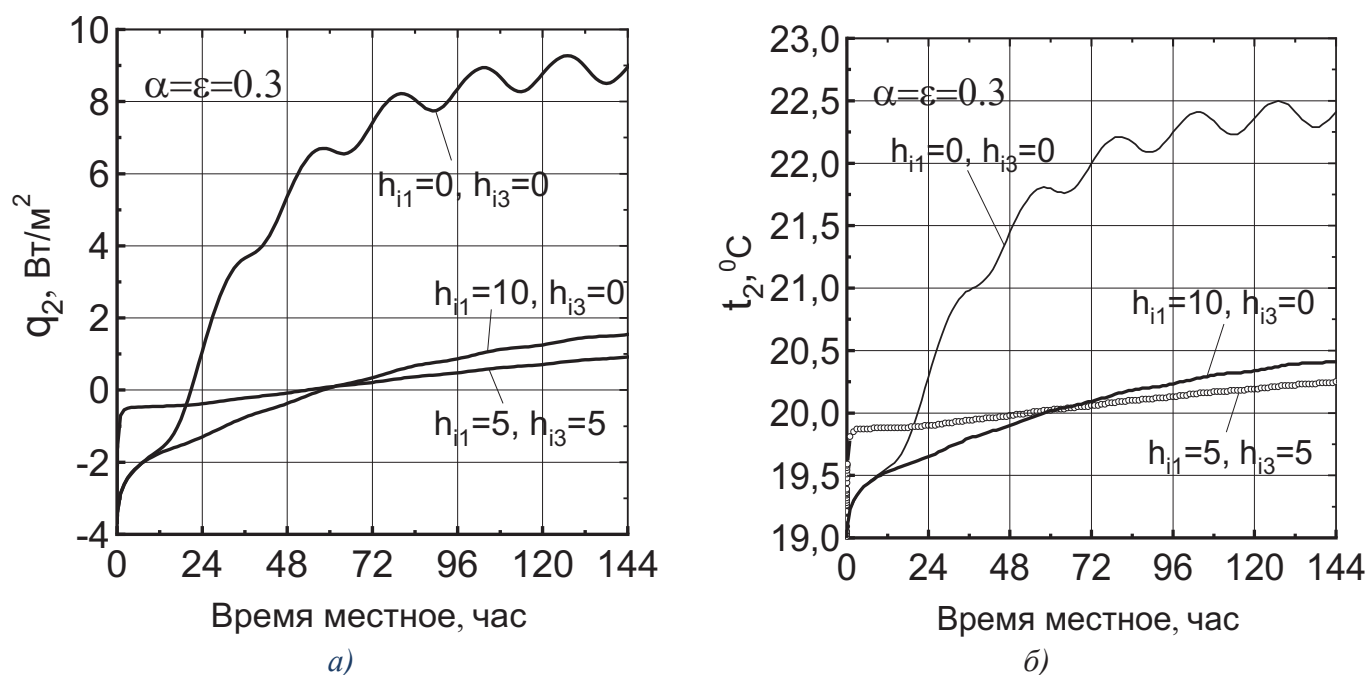


Рис. 6. Влияние толщины теплоизоляции и её перераспределения на теплоступления (а) и температуру внутренней поверхности стены (б) в летний период времени

но перераспределение теплоизоляции. Можно отметить, что выход на регулярный режим теплотер q_2 и температур t_2 для стены с теплоизоляцией существенно больше трех суток.

Начальное уменьшение теплотер (рис. 5 (а)) объясняется вначале ростом t_2 и далее её снижением (рис. 5 (б)).

На рис. 6 (а, б) приведены теплоступления через стену в летнее время (t_{cl} изменяется от 45°C до 20°C).

Как и ожидалось теплоизоляция существенно уменьшает теплоступления, однако здесь эффект её перераспределения меньше и зависит от начальной температуры стены, предыстория которой заметна до 2,5 суток, далее она может несколько уменьшить теплоступления.

Выводы

Итогом проведения научного исследования стала программа расчета нестационарной теплопроводности многослойных теплоизолированных стен, а основные выводы сведены к следующему:

1. Перераспределение теплоизоляции достаточно эффективно с точки зрения, как теплотер, так и теплоступлений для стен с большой тепловой инерцией (толщиной), а также обеспечения более комфортных температур на внутренней поверхности стены.

2. Разработанная программа может быть использована не только для выбора теплоизоляции, но и для исследования сезонных теплотер (теплоступлений) при заданных сезонных изменениях внешних условий.

Финансирование

Работа выполнена в рамках бюджетного и грантового финансирования Академии наук Республики Узбекистан.

Список литературы

1. Сергеев, Н.Н. Теоретические аспекты энергосбережения и повышения энергетической эффективности промышленных предприятий / Н.Н. Сергеев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. – 2013. – №. 1. – С. 29-36.
2. Использование солнечной энергии для повышения энергоэффективности жилых зданий: справочное пособие / исполн.: В.В.Покотиллов, М.А.Рутковский. – Минск : 2014. – 51 с.
3. Об утверждении градостроительных норм и правил ГНП 2.01.18-24 «Нормы энергозатрат на отопление, проветривание и кондиционирование зданий и сооружений»
4. Повышение тепловой защиты зданий при новом строительстве, капитальном ремонте и ре-

конструкции: методические указания для самостоятельной работы / О.Л. Викторова, С.А. Холькин; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 47 с.

5. Расчеты тепловой защиты зданий. Методическое пособие. Федеральное автономное учреждение «Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве» Москва 2017. – 94 с.

6. Семенов, Б.А. Нестационарная теплопередача и эффективность теплозащиты ограждающих конструкций зданий / Б.А. Семенов. – Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т. 1996. – 176 с.

7. Нагорная, А.Н. Математическое моделирование и исследование нестационарного теплового режима зданий, автореф. к.т.н. – Челябинск, 2008. – 18 с.

8. Табунщиков, Ю.А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.

9. Математическое моделирование процесса нестационарной теплопередачи через строительные ограждающие конструкции в условиях прерывистого отопления / Ю.С. Вытчиков, И.Г. Беляков, М.Е. Сапарёв. International Research Journal. – 2016. – №6 (48). – Часть 2. – С. 42-48.

10. Математическое моделирование теплопередачи через ограждающую конструкцию / А.А. Гражданкин, В.Т. Иванченко, А.В. Письменский // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2020. – № 6. – С. 29-39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-6-29-39.

11. Ибрагимов, А.М. Нестационарный тепло- и массоперенос в многослойных ограждающих конструкциях, автореф. д.т.н. – М., 2007. – 46 с.

12. Корниенко, С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет совершенствования методов расчета температурно-влажностного режима ограждающих конструкций, автореф. д.т.н. – Волгоград, 2018. – 35 с.

13. Решение задач нестационарной теплопроводности в многослойных конструкциях методом конечных разностей / А.Н. Токарева, В.Н. Литвинов, С.В. Панченко, М.С. Демченко / Методические указания – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донской ГАУ, 2021. – 22 с.

14. Теплозащита зданий при солнечном отоплении / Ш.И. Клычев, И.Г. Кенжаев, М.М. Захидов, Ш.А. Маразаков, Ш.С. Ташева // Проблемы

энерго- и ресурсосбережения. – Ташкент, 2022. – №3. – С. 185-192.

15. Heating Capacity of Single-Story Passive Solar Houses / Sh. I. Klychev, S. A. Bakhramov, M. M. Zahidov, I. G. Kenzhaev, Zh. Zh. Tursunbaev, Sh. A. Marazakov, Sh. S. Tasheva // Applied Solar Energy, 2024. – Vol. 60.- No. 5. – Pp. 736-742.

16. Леонтьев, А.И. Теория тепломассообмена / А.И. Леонтьев. – М., Высшая школа, 1979. – 495 с.

References

1. Sergeev, N.N. Theoretical aspects of energy saving and increasing the energy efficiency of industrial enterprises / N.N. Sergeev // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Economy. - 2013. - No. 1. - P. 29-36.

2. Using solar energy to improve the energy efficiency of residential buildings: a reference manual / compiled by: V.V. Pokotilov, M.A. Rutkovsky. - Minsk: 2014. - 51 p.

3. On approval of urban planning norms and rules GNP 2.01.18-24 «Energy consumption standards for heating, ventilation and air conditioning of buildings and structures»

4. Improving thermal protection of buildings during new construction, major repairs and reconstruction: guidelines for independent work / O.L. Viktorova, S.A. Kholkin; under the general editorship of Doctor of Engineering Sciences, Professor Yu.P. Skachkov. - Penza: PSUAS, 2015.

5. Calculations of Thermal Protection of Buildings. Methodological Guide. Federal Autonomous Institution «Federal Center for Normation, Standardization and Conformity Assessment in Construction» Moscow 2017. - 94 p.

6. Semenov, B.A. Non-stationary Heat Transfer and Efficiency of Thermal Protection of Building Enclosing Structures / B.A. Semenov. - Saratov: Saratov State Tech. University. 1996. - 176 p.

7. Nagornaya, A.N. Mathematical Modeling and Study of Non-stationary Thermal Regime of Buildings, author's abstract of Candidate of Engineering Sciences. – Chelyabinsk, 2008. - 18 p.

8. Tabunshchikov, Yu.A. Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings / Yu.A. Tabunshchikov, M.M. Brodach. - M.: AVOK-PRESS, 2002. - 194 p.

9. Mathematical modeling of the process of non-stationary heat transfer through building enclosing structures under intermittent heating conditions

/ Yu.S. Vytchikov, I.G. Belyakov, M.E. Saparev. International Research Journal. - 2016. - No. 6 (48). - Part 2. - P. 42-48.

10. Mathematical modeling of heat transfer through the enclosing structure / A.A. Grazhdankin, V.T. Ivanchenko, A.V. Pismensky // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2020. - No. 6. - P. 29-39. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-6-29-39.

11. Ibragimov, A.M. Non-stationary heat and mass transfer in multilayer enclosing structures, author's abstract of Doctor of Engineering Sciences. - M., 2007. - 46 p.

12. Kornienko, S.V. Increasing the energy efficiency of buildings by improving the methods for calculating the temperature and humidity conditions of enclosing structures, author's abstract of Doctor of Engineering Sciences. - Volgograd, 2018. - 35 p.

13. Solving problems of non-stationary thermal

conductivity in multilayer structures using the finite difference method / A.N. Tokareva, V.N. Litvinov, S.V. Panchenko, M.S. Demchenko / Methodical instructions - Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute - branch of the Don State Agrarian University, 2021. - 22 p.

14. Thermal protection of buildings with solar heating / Sh. I. Klychev, I. G. Kenzhaev, M. M. Zakhidov, Sh. A. Marazakov, Sh. S. Tasheva // Problems of energy and resource saving. - Tashkent, 2022. - No. 3. - P. 185-192.

15 Heating Capacity of Single-Story Passive Solar Houses / Sh. I. Klychev, S. A. Bakhramov, M. M. Zahidov, I. G. Kenzhaev, Zh. Zh. Tursunbaev, Sh. A. Marazakov, Sh. S. Tasheva // Applied Solar Energy, 2024. - Vol. 60.- No. 5. - Pp. 736-742.

16. Leontiev, A.I. Theory of heat and mass transfer / A.I. Leontiev. - M., Higher School, 1979. - 495 p.

Сведения об авторах

Клычев Шавкат Исхакович – доктор технических наук, с.н.с., директор Научно-технического центра с конструкторским бюро и опытным производством Академии наук РУз, klichevsh@list.ru.

Бахрамов Сагдулла Абдуллаевич – доктор физико-математических наук, академик АН РУз, заведующий лабораторией «Лазеров и лазерных технологий» Научно-технического центра с конструкторским бюро и опытным производством АН РУз, bakhramov@mail.ru.

Абдурахманов Борис Маликович – доктор технических наук, с.н.с., старший научный сотрудник Института ионно-плазменных технологий АН РУз, bogarabdu@gmail.com.

Кенжаев Идирисбек Гуламович – доктор технических наук, проф., зав. лаб. Ошский государственный технический университет, kenjaevig@rambler.ru.

Багышев Алтынбек Сартмаматович – с.н.с. Ошского государственного технического университета, oshtu.adyshev@mail.ru.

Маразакوف Шавкат Адылбекович – с.н.с. Ошского государственного технического университета, marazakov.shavkat@mail.ru.

Дата поступления рукописи: 08.05.2025

Дата принятия рукописи: 16.06.2025

Турбوماшины и поршневые двигатели

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТВОДИМОЙ ТЕПЛОТЫ ОТ ДВС. ЧАСТЬ 1. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ЯМЗ-238

- **Попов Е.В.**, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия

POSSIBILITIES OF USING HEAT REMOVED FROM INTERNAL COMBUSTION ENGINES. PART 1. RESULTS OF CALCULATION OF THE COOLING SYSTEM OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE YAMZ-238

- **Popov E.V.**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

Одним из наиболее распространенных и востребованных двигателей в России является ЯМЗ-238, который используется в большом количестве сельскохозяйственной, строительной и транспортной техники. Однако, с учетом современных требований к эффективности и надежности, возникает необходимость в исследовании новых режимов работы данного двигателя, в частности, в режиме когенерации. Когенерация, или совместное производство тепла и электроэнергии, представляет собой перспективное направление, позволяющее значительно повысить общий коэффициент полезного действия (КПД) системы, что особенно актуально в условиях растущих цен на энергоносители и необходимости снижения выбросов углекислого газа. Когенерационные установки распространены в промышленности для условий автономной работы по производству теплоты и электроэнергии, обычно используются стационарные газопоршневые установки (ГПУ). Однако, в виду фактора импортозамещения, следует рассмотреть и варианты использования сбросного тепла от двигателей внутреннего сгорания отечественного производства, например, ЯМЗ-238, режимы работы которого хорошо изучены исследователями в области двигателестроения.

Ключевые слова: двигатель, сбросная теплота, использование теплоты, когенерация.

One of the most common and popular engines in Russia is the YaMZ-238, which is used in a large number of agricultural, construction and transport equipment. However, given modern requirements for efficiency and reliability, there is a need to study new operating modes of this engine, in particular, in the cogeneration mode. Cogeneration, or joint production of heat and electricity, is a promising area that allows you to significantly increase the overall efficiency of the system, which is especially important in the context of rising energy prices and the need to reduce carbon dioxide emissions. Cogeneration units are common in industry for autonomous operation for the production of heat and electricity, usually using stationary gas piston units (GPU). However, in view of the import substitution factor, it is necessary to consider options for using waste heat from domestically produced internal combustion engines, for example, the YaMZ-238, the operating modes of which have been well studied by researchers in the field of engine building.

Key words: engine, waste heat, heat use, cogeneration.

Введение

Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания представляет собой совокупность устройств, обеспечивающих принудительный отвод теплоты от нагретых деталей и передающих ее окружающей среде с целью поддержания оптимального теплового состояния двигателя [1, 2].

К системе охлаждения предъявляют следующие требования: предупреждение перегрева или переохлаждения двигателя на всех режимах его работы в различных рельефных и климатических условиях работы мобильных машин; сравнительно небольшие затраты мощности на охлаждение; компактность и малая масса; эксплуатационная надежность; малая материалоемкость и себестоимость [3, 4].

Исходные данные для расчета

Ориентируясь на прототип Д-244 принимаем охлаждение дизеля жидкостное с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости от центробежного насоса, объединенного в один агрегат с вентилятором. Валик насоса и вентилятор приводятся во вращение от шкива коленчатого вала дизеля с помощью клинкового ремня. Для регулирования температуры в системе охлаждения установлен термостат ТС – 109 с твердым наполнителем [5].

Расчет системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ-238

Определяем количество теплоты $Q_{ж}$ (кДж/с), отводимой через систему охлаждения двигателя при его работе на режиме номинальной мощности:

$$Q_{ж} = \frac{q_{ж} \cdot H_u \cdot G_T}{3600}, \quad (1)$$

где $q_{ж} = Q_{ж}/Q_0$ – относительная теплоотдача в охлаждающую жидкость, обычно $q_{ж}$ для дизелей лежит в пределах 0,16...0,36 от теплоты сгорания топлива, принимаем среднее значение $q_{ж} = 0,26$, таким образом:

$$Q_{ж} = \frac{0,26 \cdot 10,9 \cdot 42500}{3600} = 33,46 \text{ кДж/с}. \quad (2)$$

Расчетное количество теплоты с учетом изменения коэффициента теплоотдачи из-за засорения наружной поверхности решетки радиатора и отложения накипи внутри $Q_{жс}$ (кДж/с):

$$Q_{жр} = Q_{ж} \cdot 1,1, \quad (2)$$

$$Q_{жр} = 33,46 \cdot 1,1 = 36,8 \text{ кДж/с}.$$

Количество теплоты, отводимой от двигателя охлаждающей жидкостью ($Q_{жср}$), принимается равным количеству теплоты, передаваемой охлаждающему воздуху ($Q_{возд}$): $Q_{возд} = 36,8 \text{ кДж/с}$.

Расход воздуха ($\text{м}^3/\text{с}$), проходящего через радиатор:

$$V_{возд} = \frac{Q_{возд}}{c_{рв} \cdot \rho_v \cdot \Delta t_v} = 1,30 \text{ м}^3/\text{с} \quad (3)$$

Циркуляционный расход (л/с) охлаждающей жидкости, проходящей через радиатор:

$$V_{ж} = \frac{Q_{ж}}{c_{рж} \cdot \rho_{ж} \cdot \Delta t_{ж}} = 0,88 \text{ л/с}. \quad (4)$$

Оптимальное значение температуры $t_{ж\text{вх}}$, характеризующей температурный режим жидкостного охлаждения, принимается в интервале 80...95 °С. Принимаем $t_{ж\text{вх}} = 92$ °С, $\Delta t_{жс} = 10$ °С, тогда средняя температура жидкости в радиаторе:

$$t_{ж\text{ср}} = \frac{t_{ж\text{вх}} - \Delta t_{жс}}{2} = 87 \text{ °С} \quad (5)$$

Средняя температура воздуха, проходящего через радиатор, при условии, что $t_{возд\text{вх}} = 40$ °С:

$$t_{в\text{ср}} = \frac{t_{возд\text{вх}} + \Delta t_v}{2} = 52,5 \text{ °С}. \quad (6)$$

Необходимая площадь (м^2) поверхности охлаждения радиатора:

$$F = \frac{Q_{жр} \cdot 10^3}{k \cdot (t_{ж\text{ср}} - t_{в\text{ср}})} = 11,85 \text{ м}^2. \quad (7)$$

Выводы

Система охлаждения представляет собой важный элемент, обеспечивающий надежную работу двигателя внутреннего сгорания. Для дизеля ЯМЗ-238 выбран жидкостный метод охлаждения с принудительной циркуляцией, что позволяет эффективно отводить тепло от его деталей. При расчете радиатора были учтены параметры относительной теплоотдачи, теплопередачи, расхода охлаждающей жидкости и воздуха. Максимальные значения температуры жидкости и воздухоудные характеристики обеспечивают оптимальную эффективность охлаждения.

В ходе расчетов получено значение площади поверхности охлаждения радиатора $F=11,85 \text{ м}^2$.

Список литературы

1. Хрипченко, М. С. Интеллектуальная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания / М. С. Хрипченко, М. А. Лебедева // Воронежский научно-технический Вестник. – 2017. – Т. 2, № 2(20). – С. 103-109. – EDN YTPJAR.
2. Интенсификация теплообмена в полях массовых сил, градиента давления, пульсаций скорости и импактных струй / А. В. Ильинков, А. В. Щукин, В. В. Такмовцев [и др.] // Теплоэнергетика. – 2020. – № 1. – С. 44-52. – DOI 10.1134/S0040363620010026. – EDN IIDMIP.
3. Исследование плотности антифризов для силовых агрегатов различными методами / А. Н. Кувшинов, О. А. Кувшинова, А. В. Фильченков, И. П. Павкина // Сельский механизатор. – 2023. – № 6. – С. 32-35. – DOI 10.47336/0131-7393-2023-6-32-33-34-35. – EDN ZUUTUG.
4. Петров, А. П. Аспекты компоновок вентиляторных установок систем охлаждения двигателя внутреннего сгорания и кондиционирования воздуха в автомобиле / А. П. Петров, С. Н. Банников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2018. – № 12(705). – С. 45-57. – DOI 10.18698/0536-1044-2018-12-45-57. – EDN YSFVED.

Сведения об авторе

Попов Евгений Владимирович – магистрант кафедры «Промышленная теплоэнергетика», ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», evgen-23@inbox.ru.

Дата поступления рукописи: 11.06.2025

5. Терехов, А. С. Аэродинамические свойства вентиляторных установок различных конструктивных решений / А. С. Терехов, А. П. Петров // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 3. – С. 11. – EDN PBDWHV.

References

1. Khripchenko, M. S. Intelligent cooling system of an internal combustion engine / M. S. Khripchenko, M. A. Lebedeva // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2017. - Vol. 2, No. 2(20). - Pp. 103-109. - EDN YTPJAR.
2. Intensification of heat transfer in the fields of mass forces, pressure gradient, velocity pulsations and impact jets / A. V. Ilyinkov, A. V. Shchukin, V. V. Takmoltsev [et al.] // Thermal Power Engineering. - 2020. - No. 1. - Pp. 44-52. - DOI 10.1134/S0040363620010026. - EDN IIDMIP.
3. Study of the density of antifreezes for power units by various methods / A. N. Kuvshinov, O. A. Kuvshinova, A. V. Filchenkov, I. P. Pavkina // Rural mechanic. - 2023. - No. 6. - P. 32-35. - DOI 10.47336/0131-7393-2023-6-32-33-34-35. - EDN ZUUTUG.
4. Petrov, A. P. Aspects of the layout of fan units of internal combustion engine cooling systems and air conditioning in a car / A. P. Petrov, S. N. Bannikov // News of higher educational institutions. Mechanical engineering. - 2018. - No. 12 (705). - P. 45-57. - DOI 10.18698/0536-1044-2018-12-45-57. - EDN YSFVED.
5. Terekhov, A. S. Aerodynamic properties of fan units of various design solutions / A. S. Terekhov, A. P. Petrov // Science and education: scientific publication of Bauman Moscow State Technical University. – 2012. – No. 3. – P. 11. – EDN PBDWHV.

Дата принятия рукописи: 16.06.2025

