4. Красников В.И., Сагутдинов Р.Ш. К вопросу контроля неполнофазных режимов в электрических сетях 0,38 кВ сельскохозяйственного назначения // Известия вузов, серия «Энергетика». 1983. – № 8.

5. Костинский С.С. Обзор и результаты исследований гармонического состава тока осветительных электроприемников // Промышленная энергетика. – 2018. – № 9. – С. 25-32.

6. Наумов И.В., Багаев А.А. Исследования несимметричных режимов работы низковольтных электрических сетей Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 9 (215). – С. 106-114.

7. Виноградов А.В., Виноградова А.В., Букреев А.В., Лансберг А.А. Анализ загрузки и распределения потерь электроэнергии в силовых трансформаторах напряжением 6–10 кВ // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25. – № 6. – С. 67-75.

8. Хлопова А.В., Горожанкин А.Н. Повышение электробезопасности сети 10/0,38 кВ за счет уточнения уставок устройств защиты при обрыве провода воздушной линии 10 кВ // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2024. – Т. 24. – № 1. – С. 99-108.

Лунякин Максим Владимирович
Студент Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
maksim.lunyakin@gmail.com

Крайсвитний Сергей Павлович
Студент Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
infinixaxax@ gmail.com

Демченко Мария Станиславовна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института –
филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
24marija04@mail.ru

Анализ работы системы воздушного лучистого отопления на базе вторичных энергетических ресурсов

Аннотация. Приведена схема и описание работы схемы воздушного лучистого отопления с использованием теплоты отработавших газов котельных установок. Описан характер регулирования тепловых нагрузок. Представлены уравнения и проведен расчет температуры дымовых газов на входе в теплоутилизатор. Определены зависимости расхода дымовых газов в теплоутилизаторе и изменения температуры воздуха в системе воздушного отопления от величины отопительной нагрузки. Показаны графические зависимости полученных функций.

Ключевые слова: воздушное лучистое отопление, тепловая нагрузка, дымовые газы, теплоутилизатор.

Lunyakin Maksim V.
Kraysvitniy Sergey P.
Demchenko Mariya S.

Analysis of the operation of an air radiant heating system based on secondary energy resources

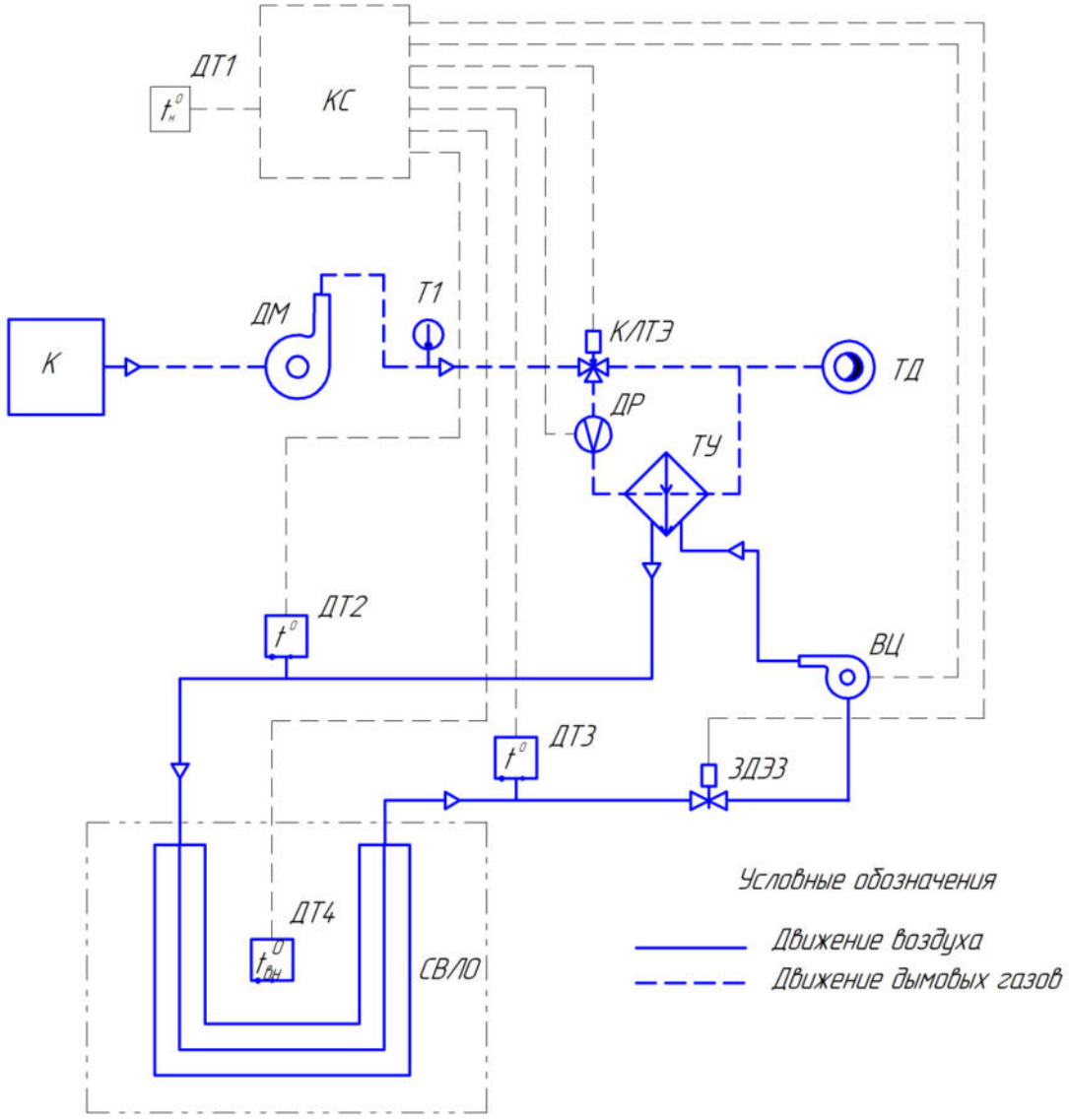
Abstract. A diagram and description of the operation of an air radiant heating system utilizing the heat from boiler exhaust gases is presented. The nature of heat load regulation is described. Equations are presented and the flue gas temperature at the heat recovery unit inlet is calculated. The dependences of flue gas flow rate in the heat recovery unit and changes in air temperature in the air heating system on the heating load are determined. Graphical dependencies of the resulting functions are shown.
Key words: air radiant heating, heat load, flue gases, heat recovery unit

В помещениях павильонного типа высотой 6м и более для обеспечения требуемых параметров микроклимата требуется значительное количество тепловой энергии. С целью экономии энергетических затрат в производственных зданиях внедряются энергосберегающие системы отопления, к которым относятся и системы лучистого отопления [1–3].

Если отапливаемый объект находится в непосредственной близости от котельной, то целесообразно усовершенствовать систему воздушного лучистого отопления [4] путем использования теплоты отработавших дымовых газов. Схема такой системы приведена на рисунке 1.

Выходящие из котельных агрегатов дымовые газы направляются в теплоутилизатор ТУ, где нагревают воздух, циркулирующий по системе воздушного лучистого отопления СВЛО. Нагрузка системы отопления меняется в зависимости от температуры наружного воздуха. Регулирование тепловой мощности можно осуществить путем изменения количества дымовых газов, проходящих через теплоутилизатор ТУ, при помощи трехходового клапана КРТЭ. Сигнал на клапан поступает от контроллера КС, который в свою очередь принимает сигнал от датчика температуры воздуха в помещении ДТ4. Контроль параметров энергоносителей осуществляется при помощи датчика расхода в контуре дымовых газов ДР и датчиков температуры ДТ2 и ДТ3 в контуре системы воздушного отопления. Таким образом, регулирование тепловой нагрузки осуществляется следующими способами: количественное регулирование расхода дымовых газов в первом контуре и качественное регулирование в контуре СВЛО путем изменения температуры теплоносителя.

Для расчета параметров теплоутилизатора и температурных полей в помещении при различных климатических условиях необходимо знать зависимость изменения расхода дымовых газов и температурного напора в системе воздушного отопления от температуры наружного воздуха. Установление данных функций применительно к цеху по производству электрооборудования ЗАО «Полимет» Целинского района Ростовской области было выполнено в следующей последовательности. При проведении исследований были использованы паспортные данные котельных агрегатов «Зиосаб-2500» и результаты расчетов характеристик дымовых газов, выполненных по традиционной методике [5].



ВЦ – вентилятор центробежный; ДМ – дымосос; ДР – датчик расхода; ДТ1…ДТ4 – датчики температуры; ЗДЭ –задвижка с электроприводом; К–котельный агрегат; КЛТЭ – клапан трехходовой с электроприводом; КС – контроллер сетевой; СВЛО – систем воздушного лучистого отопления; Т–термометр; ТД–труба дымовая; ТУ–теплоутилизатор

Рисунок 1 – Схема системы воздушного лучистого отопления с использованием вторичных энергетических ресурсов

Таблица 1 – Исходные данные для расчета параметров системы воздушного лучистого отопления

Показатель	Значение	Показатель	Значение
Расстояние от котельной до цеха, $l_{тр}$, м	15	Глубина закладки дымовой трубы h, м	1,0
Тепловая нагрузка системы отопления $Ф_{от}$ при расчетной температуре наружного воздуха $t_н = -19^0 C$	294314,5	Диаметр дымовой трубы, $d_{ви}, мм$	377
Температура уходящих дымовых газов, $t_{дым\,н}, ^0 C$	180	Диаметр дымовой трубы в изоляции из пенополиуретана, $d_{ни}, мм$	487,6
Объемный расход дымовых газов, $V_{дым}, \frac{м^3}{с}$	2,73	Коэффициент теплопроводности пенополиуретана, $\lambda_и, \frac{Вт}{м \cdot ^0 C}$ [6]	0,035

Объемная изохорная теплоемкость дымовых газов, $C_p^{/}, \frac{кДж}{м^3 \cdot {}^0C}$	1,417	Коэффициент теплопроводности грунта, $\lambda_{гр}, \frac{Вт}{м \cdot {}^0C}$	1,75
Энтальпия уходящих дымовых газов, $h, \frac{кДж}{кг}$	289	Средняя температура грунта на глубине h=1м , ^0C [7]	9,9

Термическое сопротивление тепловой изоляции рассчитаем следующим образом [5]:

$$R_u = \frac{1}{2\pi\lambda_u}\ln\frac{d_{ни}}{d_{ви}} = \frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot 0{,}035}\ln\frac{487{,}6}{377} = 1{,}77\frac{м\cdot{}^0C}{Вт} \quad (1)$$

Термическое сопротивление грунта составит

$$R_{гр} = \frac{1}{2\pi\lambda_{гр}}\ln\frac{4h}{d_{ви}} = \frac{1}{2\cdot 3{,}14\cdot 1{,}75}\ln\frac{4\cdot 1}{0{,}4876} = 0{,}196\frac{м\cdot{}^0C}{Вт} \quad (2)$$

Тогда общее термическое сопротивление трубопроводов дымовых газов составит

$$R = R_u + R_{гр} = 1{,}17 + 0{,}196 = 1{,}36\frac{м\cdot{}^0C}{Вт} \quad (3)$$

Удельные потери теплоты по длине трубопроводов будут равны

$$q = \frac{t_{дым\,н} - t_{гр}}{R} = \frac{480 - 9{,}9}{136} = 125\frac{Вт}{м} \quad (4)$$

Тогда потери тепловой энергии на участке трубопроводов дымовых газов от котельной до цеха составят

$$\Delta Ф = ql_{тр} = 125\cdot 15 = 1875Вт \quad (5)$$

Температура дымовых газов на входе в теплоутилизатор будет равна

$$t_{дым\,вх} = t_{дым\,н} - \frac{\Delta Ф}{V_{дым}\cdot C_p^{/}} = 180 - \frac{1{,}875}{2{,}73\cdot 1{,}417} = 179{,}5^0C \quad (6)$$

Объемный расход дымовых газов и температурный напор в системе воздушного отопления определяем из уравнения

$$Ф_{от} = V_{дым}\cdot C_p^{/}\left(t_{дым\,н} - t_{дым\,к}\right) \quad (7)$$

где $t_{дым\,к}$ – конечная температура дымовых газов.

Конечную температуру дымовых газов принимаем на 20 ^{0}C выше температуры точки росы во избежание коррозии дымовой трубы.

Температуру точки росы $t_{т.р.}$ определяем при помощи h-d диаграммы по энтальпии и температуре дымовых газов [8]. Согласно данной диаграммы, температура точки росы для рассматриваемых условий составляет $t_{т.р.} = 20^0C$. Тогда конечная температура дымовых газов будет равна

$$t_{дым\,к} = 20 + 20 = 40^0C$$

Зависимость расхода дымовых газов от отопительной нагрузки будет иметь следующий вид

$$V_{дым} = \frac{Ф_{от}}{C_p^{/}\left(t_{дым\,н} - t_{дым\,к}\right)} = \frac{Ф_{от}}{1{,}417\left(179{,}5 - 40\right)} = \frac{Ф_{от}}{198{,}38} \quad (8)$$

Для надежного функционирования системы воздушного отопления температура энергоносителя должна быть не менее 100^{0}C [4]. С учетом температуры дымовых газов принимаем начальную и конечную температуру воздуха соответственно равными $t_{возд\,н} = 150^0C; t_{возд\,к} = 100^0C$. Следовательно, расход теплоносителя в системе отопления составит

$$G_{возд} = \frac{Ф_{от}}{C_{возд}\left(t_{дым\,н} - t_{дым\,к}\right)} = \frac{294{,}31}{1\cdot\left(150 - 100\right)} = 5{,}886\frac{кг}{с} \quad (9)$$

где Свозд – массовая изобарная теплоемкость воздуха, $C_{возд} = 1\frac{кДж}{кг\cdot{}^0C}$

Тепловая нагрузка системы отопления может быть определена также как

$$\Phi_{от} = G_{возд} \cdot C_{возд} \cdot \Delta t \quad (10)$$

Тогда температурный напор составит

$$\Delta t = \frac{\Phi_{от}}{G_{возд} \cdot C_{возд}} = \frac{\Phi_{от}}{5{,}886 \cdot 1} = \frac{\Phi_{от}}{5{,}886} \quad (11)$$

Тепловая нагрузка на отопления зависит от температуры наружного воздуха. Для нескольких значений температур в диапазоне $t_н$= -19 +8^{0}С по традиционной методике [8–9] был проведен калорический расчет, в результате которого установлена функция изменения тепловой нагрузки помещения от температуры наружного воздуха (рис. 2). Из выражений (8) и (11) следует, что расход дымовых газов и температурный напор зависят от мощности отопительной системы, и как следствие также от температуры наружного воздуха. После соответствующих преобразований были получены зависимости, графическая интерпретация которых приведена на рисунке 2.

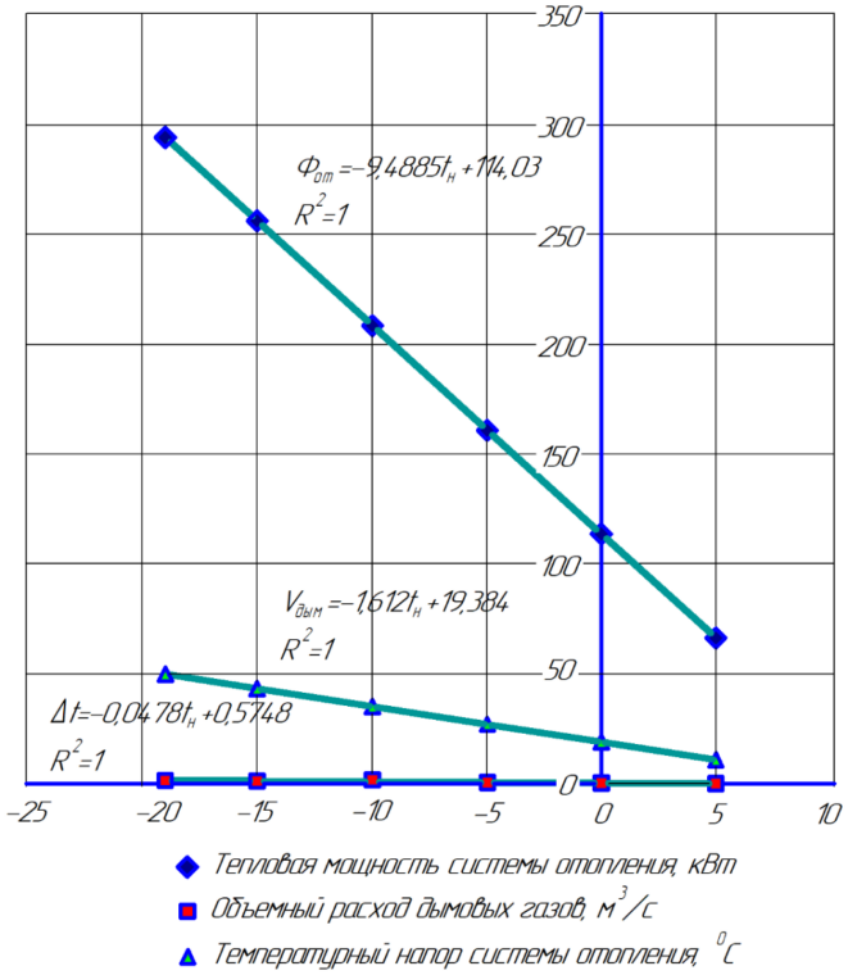


Рисунок 2 – Изменение тепловой нагрузки системы отопления, расхода дымовых газов в теплоутилизаторе и температурного напора в системе отопления в зависимости от температуры наружного воздуха

Как видно из представленных на рисунке 2 зависимостей, коэффициент аппроксимации для всех трех графиков равен единице. Это позволяет с достаточно высокой степенью точности установить настройки приборов автоматического регулирования и провести оценку распределения температурных полей в отапливаемом помещении.

Литература и источники

1. Смыков И.И. Оценка эффективности применения лучистого отопления производственных зданий // Студенческий. – 2022. – № 42-6 (212). – С. 23-24.
2. Аралов Е.С., Михайлов А.А. Влияние высоты потолков на эффективность потолочных панелей лучистого отопления // Теория и практика современной науки: сб. мат. XIV междунар. науч.-практ. конференции. – М.: Издание, 2024. – С. 40-42.
3. Парамонова О.Н., Елистратова М.П. Сравнительный анализ систем лучистого отопления производственных объектов // Общество. – 2024. – № 2-1(33). – С. 121-128.
4. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление / пер. с венг. – М.: Стройиздат, 1985. – 464 с.
5. Эстеркин Р.И. Котельные установки. Курсовое и дипломное проектирование. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.
6. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200095525.
7. Волков М.М., Михеев А.Л., Конев К.А. Справочник работника газовой промышленности. – М.: Недра, 1989. – 286 с.
8. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа. – Л.: Недра, 1990. – 280 с.
9. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий: учебное пособие / В.П. Титов, Э.В. Сазонов, Ю.С. Краснов, В.И. Новожилов. – М.: Стройиздат, 1995. – 208 с.

Марков Алексей Васильевич
Слушатель командного факультета Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия», г. Воронеж, Россия
Cool.ded12@yandex.ru

Лаврухина Ирина Михайловна
Доктор философских наук, профессор, профессор кафедры «Гуманитарные дисциплины и иностранные языки» Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
Lavruhina_i@inbox.ru

Логика развития научных представлений об электромагнетизме в XVI–XIX вв.

Аннотация. В статье представлены основные этапы в развитии научных представлений об электричестве, магнетизме и электромагнитном поле. Перечислены наиболее значимые научные открытия и опыты в физике XVI–XIX вв. Описаны научные достижения таких великих ученых, как Б. Франклин, Ш. Кулон, Л. Гальвани, А. Ампер, Г. Ом, М. Фарадей, Дж.К. Максвелл. Это позволило выявить некоторую последовательность в познавательных шагах, приведших к созданию электродинамики.
Ключевые слова: электричество, электромагнетизм, электродинамика, Б. Франклин, Ш. Кулон, Л. Гальвани, А. Ампер, Г. Ом, М. Фарадей, Дж.К. Максвелл.