

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики
Кафедра промышленной теплоэнергетики

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Выполнение контрольной работы

Методические указания для студентов заочной формы обучения
по направлению подготовки
13.03.01 — Теплоэнергетика и теплотехника

Составители:
С. Н. Смородин
В. Н. Белоусов
К. Г. Живаева
С. В. Антуфьев

Санкт-Петербург
2026

Утверждено
на заседании кафедры ПТЭ
19.01.2026 г., протокол № 5

Рецензент В. Г. Злобин

Методические указания соответствуют программе и учебному плану дисциплины «Проектирование источников энергии в промышленной теплоэнергетике» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». В методических указаниях приведены контрольные вопросы и методики решения задач, необходимые при выполнении контрольной работы.

Методические указания предназначены для подготовки бакалавров заочной формы обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД
в качестве методических указаний.

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 17.03.2026 г. Рег. № 5042/26

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	4
1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	5
2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ.....	6
3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА.....	10
3.1. Вопросы для контрольной работы.....	10
3.2. Задачи и методические указания к контрольной работе.....	11
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	19

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Курс «Проектирование источников энергии в промышленной теплоэнергетике» необходимо изучать по темам и разделам в той последовательности, которая дается в рабочей программе. При изучении курса необходимо добиваться полного уяснения изучаемого материала. Прежде всего следует уяснить физическую сущность явлений и процессов. Математические формулы и выводы расчетных уравнений имеют вспомогательное значение и должны способствовать более глубокому пониманию сущности явлений.

Учебным планом по курсу «Проектирование источников энергии в промышленной теплоэнергетике» предусмотрен зачет. Для сдачи зачета необходимо выполнить контрольную работу.

Контрольные работы выполняются по варианту задания в соответствии с последней цифрой шифра (номера зачетной книжки) студента. Работы, выполненные не по установленному варианту, рассматриваться не будут, они возвращаются студенту без зачета.

При выполнении контрольных работ необходимо руководствоваться следующими указаниями:

1. Каждая контрольная работа должна быть выполнена полностью и содержать квалифицированные ответы на поставленные вопросы, а также решение всех задач. Пропуски решений отдельных задач или ответов на вопросы не допускаются. Профилирующая кафедра организует консультации для студентов-заочников.
2. В каждой контрольной работе необходимо обязательно выписывать полностью условие задачи и содержание поставленного вопроса.
3. Решение задач нужно сопровождать краткими пояснениями и ссылками на источник, откуда взяты исходные формулы, коэффициенты и пр.
4. Вычисления при решении задач давать в развернутом виде, показывая все подстановки и преобразования.
5. Необходимо строго следить за исходными данными, их размерностью и за размерностью вычисленных величин. При выполнении контрольных заданий необходимо пользоваться международной системой единиц измерения СИ.

На титульном листе контрольной работы нужно написать фамилию и инициалы студента, шифр, кафедру, наименование изучаемой дисциплины, вариант контрольного задания.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Котельная – здание (в том числе блок-модульного типа) или комплекс зданий и сооружений с котельными установками и вспомогательным технологическим оборудованием, предназначенными для выработки тепловой энергии.

Котельная блочно-модульная – отдельно стоящая котельная, состоящая из блоков технологического оборудования, размещенных в строительном модуле.

Котельная установка – котел (котлоагрегат) совместно с горелочными, топочными тягодутьевыми устройствами, механизмами для удаления продуктов горения и использования тепловой энергии уходящих газов и оснащенный средствами автоматики безопасности, сигнализации, контроля и автоматического регулирования процесса выработки теплоносителя заданных параметров.

Потребитель тепловой энергии – лицо, приобретающее тепловую энергию (мощность), теплоноситель для использования принадлежащих ему на праве собственности или ином законном основании теплопотребляющих установок либо для оказания коммунальных услуг в части горячего водоснабжения и отопления.

Система теплоснабжения – комплекс систем, сооружений и устройств, предназначенных для обеспечения потребителей тепловой энергией, теплоносителем.

Система теплоснабжения открытая – водяная система теплоснабжения, в которой происходит водоразбор горячей воды для нужд горячего водоснабжения потребителей непосредственно из тепловой сети.

Система теплоснабжения закрытая – водяная система теплоснабжения, в которой вода, циркулирующая в тепловой сети, используется только как теплоноситель и из сети не отбирается.

Система теплоснабжения централизованная – теплоснабжение крупного жилого массива промышленного комплекса, объединенного общей тепловой сетью от одного или нескольких источников тепловой энергии.

Система теплоснабжения децентрализованная (автономная) – теплоснабжение одного потребителя от одного источника тепловой энергии.

Территория котельной – участок земли, отведенный для строительства и эксплуатации котельной в соответствии с градостроительным законодательством Российской Федерации либо выделенный на территории земельного участка распорядительным документом собственника участка или уполномоченного им лицом.

Энергетическая эффективность системы теплоснабжения – показатель, характеризующий отношение полезно используемой потребителем физической тепловой энергии (полезно используемого энергетического ресурса) к тепловой энергии всего сжигаемого топлива (затраченному энергетическому ресурсу).

2. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОТЕЛЬНЫХ

Проектирование, строительство, реконструкция, капитальный ремонт, консервация и ликвидация котельных осуществляются на основании законодательства о градостроительной деятельности.

Оборудование и материалы, используемые при проектировании котельных, должны иметь предусмотренные законодательством России необходимые сертификаты соответствия, и отвечать требованиям технических регламентов и национальных стандартов.

Проектирование новых и реконструируемых котельных следует осуществлять в соответствии с разработанными и согласованными в установленном порядке схемами территориального планирования городов, поселков, сельских поселений, жилых, промышленных и других функциональных зон или отдельных объектов.

Вид топлива и его классификация (основное, резервное или аварийное) определяют по согласованию с региональными уполномоченными органами власти. Количество и способ доставки необходимо согласовывать с топливоснабжающими организациями. Проектирование котельных, для которых не определен вид топлива, не допускается.

Котельные по целевому назначению в системе теплоснабжения подразделяют на:

- центральные – в системе централизованного теплоснабжения;
- децентрализованные (автономные) – в системе децентрализованного (автономного) теплоснабжения.

Котельные по назначению подразделяют на:

- отопительные – для обеспечения тепловой энергией систем отопления, вентиляции, кондиционирования и горячего водоснабжения;
- отопительно-производственные – для обеспечения тепловой энергией систем отопления, вентиляции, кондиционирования, горячего водоснабжения, технологического теплоснабжения промышленных объектов;
- производственные – для обеспечения тепловой энергией систем технологического теплоснабжения промышленных объектов.

Потребители теплоты по надежности теплоснабжения делятся на три категории.

Первая категория – потребители, не допускающие перерывов в подаче расчетного количества теплоты и снижения температуры воздуха в помещении ниже предусмотренных действующими нормативными документами (больницы, родильные дома, детские дошкольные учреждения с круглосуточным пребыванием детей, картинные галереи, химические и специальные производства, шахты и т. п.).

Вторая категория – потребители, допускающие снижение температуры в отапливаемых помещениях на период ликвидации аварии, но не более 54 ч:

- жилые и общественные здания – до 12°C;
- промышленные здания – до 8°C.

Третья категория – все остальные потребители.

Котельные по надежности отпуска тепловой энергии потребителям подразделяются на котельные первой и второй категорий.

К первой категории относят котельные, являющиеся единственным источником тепловой энергии системы теплоснабжения, обеспечивающей потребителей первой категории, не имеющей резервных источников тепловой энергии.

Вторая категория – все остальные котельные.

Перечни потребителей по категориям устанавливаются в задании на проектирование.

В котельных с паровыми и пароводогрейными котлами общей установленной тепловой мощностью более 100 МВт рекомендуется установка паровых турбогенераторов малой мощности с напряжением 0,4 кВ с паровыми противодавленческими турбинами для обеспечения покрытия электрических нагрузок собственных нужд котельных и (или) предприятий, на территории которых они находятся. Отработавший пар после турбин может быть использован на технологическое пароснабжение потребителей, для нагрева воды систем теплоснабжения и на собственные нужды котельной.

В водогрейных котельных, работающих на жидком и газообразном топливе, для этих целей допускается использование газотурбинных или дизельных установок.

При проектировании блочно-модульных котельных для теплоснабжения зданий и сооружений следует предусматривать возможность работы оборудования котельной без постоянно присутствующего обслуживающего персонала.

Расчетную тепловую мощность котельной определяют как сумму максимальных часовых нагрузок тепловой энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование, средних часовых нагрузок тепловой энергии на горячее водоснабжение и нагрузок тепловой энергии на технологические цели. При определении расчетной мощности котельной следует учитывать также нагрузки тепловой энергии на собственные нужды котельной, потери в котельной и в тепловых сетях системы теплоснабжения.

Расчетные нагрузки тепловой энергии на технологические цели следует принимать по заданию на проектирование с учетом возможности несовпадения максимальных нагрузок тепловой энергии для отдельных технологических потребителей.

Максимальные тепловые нагрузки на отопление, вентиляцию и средние тепловые нагрузки на горячее водоснабжение жилого, общественного и производственного здания или группы зданий, обеспечиваемых тепловой энергией от одной котельной, следует принимать по соответствующим разделам проектной документации, выполненной с учетом удельных норм расхода тепловой энергии на указанные цели, утвержденных в установленном порядке и действующих на момент проектирования. Значения тепловых нагрузок на технологические цели следует определять по данным генеральной проектной организации.

Тепловые нагрузки для расчета и выбора оборудования котельной следует определять для обеспечения устойчивой работы при трех режимах:

- максимального – при температуре наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку;
- среднего – при средней температуре наружного воздуха холодного месяца;
- минимального, летнего – при минимальной нагрузке горячего водоснабжения.

Число и производительность котлов, установленных в котельной, следует выбирать, обеспечивая:

- расчетную мощность котельной;
- стабильную работу котлов при минимально допустимой нагрузке в теплый период года.

При выходе из строя наибольшего по производительности котла в котельных первой категории оставшиеся котлы должны обеспечивать отпуск тепловой энергии потребителям первой категории в количестве, определяемом:

- минимально допустимыми нагрузками (независимо от температуры наружного воздуха) на технологическое теплоснабжение и системы вентиляции;
- режимом наиболее холодного месяца – на отопление и горячее водоснабжение.

Число котлов, устанавливаемых в котельных, и их производительность следует определять по расчетной максимальной и минимальной мощности на основании технико-экономических расчетов.

В котельных следует предусматривать установку не менее двух котлов, в производственных котельных второй категории допускается установка одного котла.

В проектах котельных следует использовать поставляемые заводами-изготовителями котлы, экономайзеры, воздухоподогреватели, турбины с противодавлением, газотурбинные и газопоршневые установки с генераторами напряжением 0,4 кВ, золоуловители и другое оборудование в блочном транспортабельном исполнении полной заводской и монтажной готовности. Проекты блоков вспомогательного оборудования с трубопроводами, системами автоматического контроля, регулирования, сигнализации и электротехническим оборудованием повышенной заводской готовности разрабатывают по заказу и заданиям монтажных организаций.

Открытая установка оборудования в различных климатических зонах возможна, если это допускается инструкциями заводов-изготовителей и отвечает по шумовым характеристикам.

Компоновка и размещение технологического оборудования котельной должны обеспечивать:

- условия для механизации ремонтных работ;
- возможность использования при ремонтных работах напольных подъемно-транспортных механизмов и устройств.

Для ремонта узлов оборудования и трубопроводов массой более 50 кг следует предусматривать инвентарные грузоподъемные устройства. При невозможности использования инвентарных грузоподъемных устройств следует предусматривать стационарные грузоподъемные устройства (тали, тельферы, подвесные и мостовые краны).

В котельных по заданию на проектирование следует предусматривать ремонтные участки или помещения для проведения ремонтных работ. При этом следует учитывать возможность выполнения работ по ремонту указанного оборудования соответствующими службами промышленных предприятий или специализированными организациями.

Принятые в проекте основные технические решения должны обеспечивать:

- надежность и безопасность работы оборудования;
- требования по обеспечению пожарной безопасности;
- требования по обеспечению безопасного уровня воздействия на окружающую среду;
- максимальную энергетическую эффективность котельной;
- требования по обеспечению безопасных для здоровья человека условий пребывания в котельной;
- требования по охране труда;
- требования по обеспечению максимальной энергетической эффективности;
- экономически обоснованные затраты на строительство, эксплуатацию и ремонт.

3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

3.1. Вопросы для контрольной работы

Вариант 0

1. Тепловые схемы котельных смешанного типа с паровыми и водогрейными котлами.
2. Аварийное топливоснабжение.

Вариант 1

1. Тепловые схемы котельных с водогрейными котлами.
2. Схема мазутного хозяйства. Назначение и характеристики оборудования

Вариант 2

1. Тепловые схемы котельных с паровыми котлами.
2. Оборудование ГРП (ГРУ).

Вариант 3

1. Конструкции и типы теплообменных аппаратов в котельных.
2. Схемы ХВО котельных.

Вариант 4

1. Усовершенствование тепловых схем котельных и повышение эффективности их работы.
2. Водогрейные котлы котельных

Вариант 5

1. Режимы потребления теплоты. Расчет потребления тепла на отопление, на горячее водоснабжение и вентиляцию.
2. Паровые котлы котельных.

Вариант 6

1. Конструкции и назначение насосов, устанавливаемых в котельных.
2. Характеристики выбросов вредных веществ в атмосферу при работе котельных.

Вариант 7

1. Конструкции жаротрубных котлов.
2. Мероприятия по снижению загрязнения окружающей среды.

Вариант 8

1. Дымовые трубы. Методики расчета высоты дымовых труб.
2. Схема топливоснабжения котельных, работающих на биотопливе.

Вариант 9

1. Газовая рампа котлов.
2. Тепловые схемы котельных смешанного типа с паровыми и водогрейными котлами.

3.2. Задачи и методические указания к контрольной работе

Задача 1. Выполнить расчет потребности котельной в топливе. Топливо – природный газ, теплота сгорания газа $Q_i^d = 35588$ МДж/тыс. м³.

Исходные данные приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Исходные данные к задачам 1, 2

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Расход тепла на отопление и вентиляцию $Q'_{ов}$, МВт	Расход тепла на ГВС $Q'_{гвс}$, МВт	Город
0	5	1	Архангельск
1	5,5	1,2	Екатеринбург
2	6	1,5	Казань
3	7	1,2	Киров
4	7,5	1,9	Москва
5	8	1,4	Мурманск
6	9	2,1	Пермь
7	10,2	1,8	Петрозаводск
8	11,4	2,2	Санкт-Петербург
9	11,6	1,2	Саратов

Таблица 2. Исходные данные к задаче 1, 2

Город	Отопительный период			
	Продолжительность отопительного периода, сут	Температура воздуха, °С		
		Расчетная для проекти- рования отопления $t_{но}$	Средняя отопительного периода	Средняя самого холодного месяца
Архангельск	250	-33	-4,5	-12,5
Екатеринбург	221	-35	-5,4	- 15,3
Казань	208	-31	-5,4	- 13,5
Киров	223	-32	-5,0	-14,2
Москва	205	-25	-2,2	-9,4
Мурманск	278	-30	-3,4	- 10,1
Пермь	225	-35	-5,5	- 15,1
Петрозаводск	235	-28	-3,2	-12,2
Санкт-Петербург	213	-24	-1,3	-6,6
Саратов	188	-25	-3,5	- 11,9

Методические указания к выполнению задачи 1

Исходные данные

Расход тепла на отопление и вентиляцию: $Q'_{ов}$, МВт.

Расход тепла на горячее водоснабжение: $Q'_{гвс}$, МВт.

Продолжительность отопительного периода: $P_{от}$, суток.

Число часов работы систем отопления и вентиляции в сутки: $P_{ов} = 24$ часа.

Расчетная температура воздуха внутри помещения: $t_{вп} = 20$ °С.

Расчетная температура наружного воздуха для проектирования систем отопления: $t_{нро}$, °С.

Средняя температура наружного воздуха за отопительный период: $t_{вср.от.}$, °С.

Температура воды на ГВС $t_{гвс} = 65$ °С.

Температура холодной воды в зимний и летний периоды соответственно: $t_{х.з.} = 5$ °С, $t_{х.л.} = 15$ °С.

Расчет

Средний расход тепла на отопление и вентиляцию:

$$Q_{ов} = Q'_{ов} \cdot \frac{t_{вп} - t_{ср.от.}}{t_{вп} - t_{нро}}, \text{ МВт.}$$

Средний расход тепла на горячее водоснабжение в летний период:

$$Q_{гвс}^л = Q'_{гвс} \cdot \frac{t_{гвс} - t_{х.л.}}{t_{гвс} - t_{х.з.}} \cdot \beta, \text{ МВт,}$$

где $t_{гвс}$ – температура горячей воды °С; β – коэффициент, учитывающий снижение среднечасового расхода воды на ГВС в летний период года, $\beta = 0,8$;

Годовой расход тепла на отопление и вентиляцию:

$$Q_{ов}^{год} = Q_{ов} \cdot 24 \cdot P_{от} \cdot 3600, \text{ МДж/год,}$$

где $P_{от}$ – продолжительность отопительного периода суток за год;

Годовой расход тепла на горячее водоснабжение:

$$Q_{гвс}^{год} = Q'_{гвс} \cdot 24 \cdot P_{от} \cdot 3600 + Q_{гвс}^л \cdot 24 \cdot (350 - P_{от}) \cdot 3600, \text{ МДж/год,}$$

где 350 – расчетное число суток в году работы системы горячего водоснабжения; $(350 - P_{от})$ – продолжительность неотапливаемого периода суток за год.

Суммарный годовой отпуск тепла:

$$Q_{отп}^{год} = Q_{ов}^{год} + Q_{гвс}^{год}, \text{ МДж/год.}$$

Суммарный годовой расход тепла с учетом потерь (годовая выработка тепла котельной):

$$Q_{выр}^{год} = 1,1 \cdot Q_{отп}^{год}, \text{ МДж/год.}$$

Годовой расход условного топлива:

$$B_{\text{усл}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{выр}}^{\text{год}}}{Q_{\text{иусл}}^{\text{г}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \text{ т/год},$$

где $Q_{\text{иусл}}^{\text{г}}$ – теплота сгорания условного топлива, $Q_{\text{иусл}}^{\text{г}} = 29330$ МДж/т; $\eta_{\text{к}}$ – КПД котлоагрегата.

Годовой расход газа:

$$B_{\text{г}}^{\text{год}} = \frac{Q_{\text{выр}}^{\text{год}}}{Q_{\text{и}}^{\text{г}} \cdot \eta_{\text{к}}}, \text{ тыс. м}^3/\text{год},$$

где $Q_{\text{и}}^{\text{г}}$ – теплота сгорания газа, МДж/тыс.м³.

Задача 2. Выполнить расчет тепловой схемы котельной (рис.) на максимально-зимний режим. Температура воды на ГВС 65 °С. Температурный график теплосети для вариантов с 0 по 4 – 95/70 °С, для вариантов с 5 по 9:– 105/70 °С. Температура прямой воды в циркуляционном контуре $\tau_1 = 110$ °С, температура обратной воды в циркуляционном контуре $\tau_2 = 75$ °С.

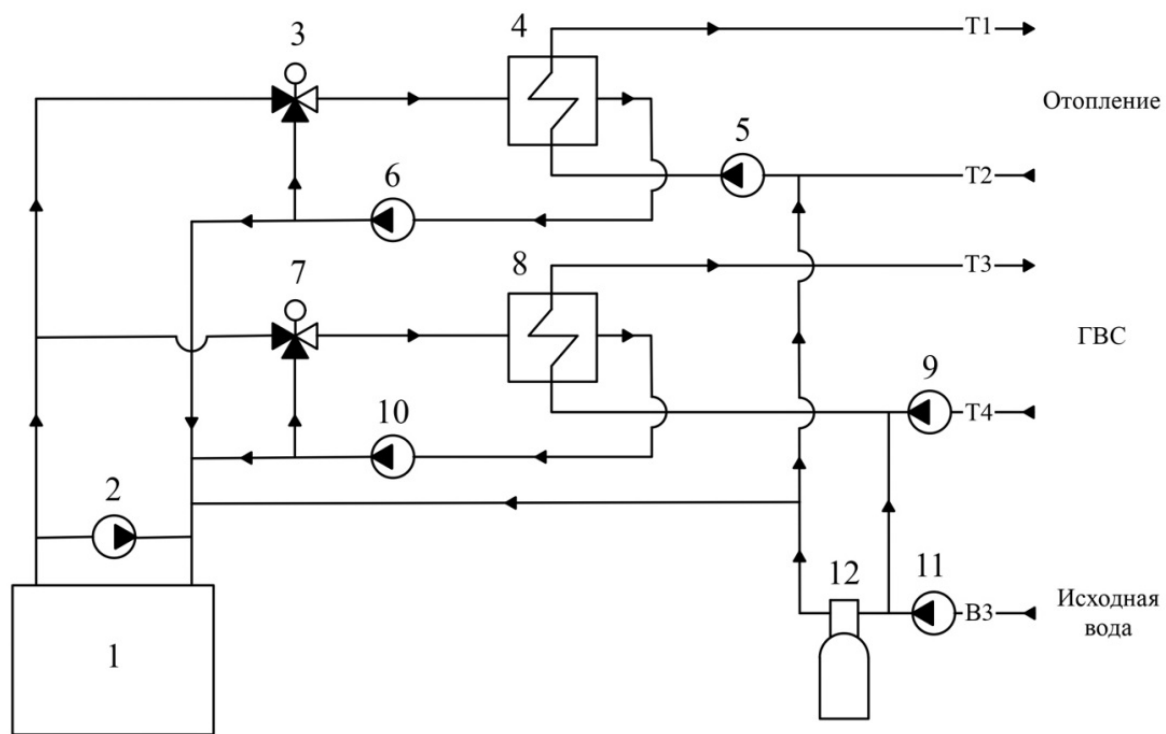


Рисунок. Принципиальная тепловая схема отопительной котельной водогрейным котлом:

1 – водогрейный котел; 2 – рециркуляционный насос; 3 – регулятор температуры отопительного контура; 4 – теплообменник отопительного контура; 5 – сетевой насос; 6 – циркуляционный насос отопительного контура; 7 – регулятор температуры контура ГВС; 8 – теплообменник контура ГВС; 9 – рециркуляционный насос системы ГВС; 10 – циркуляционный насос контура ГВС; 11 – насос исходной воды; 12 – химводоочистка

Методические указания к выполнению задачи 2

Исходные данные

Тепловые нагрузки котельной при максимально-зимнем режиме:

- на отопление и вентиляцию: $Q_{\text{ОВ}} = Q'_{\text{ОВ}}$, МВт,
- на горячее водоснабжение: $Q'_{\text{ГВС}}$, МВт.

Параметры теплоносителя в данном расчетном режиме следующие:

- температура прямой сетевой воды: t_1 , °С;
- температура обратной сетевой воды: t_2 , °С;
- температура воды для горячего водоснабжения: $t_{\text{ГВС}} = 65^\circ\text{С}$.

Потери тепла в теплосетях на собственные нужды:

$$Q_{\text{ПОТ}} = 0,1 \cdot (Q_{\text{ОВ}} + Q_{\text{ГВС}}), \text{ МВт.}$$

Суммарная тепловая нагрузка котельной:

$$Q_{\text{КОТ}} = Q_{\text{ОВ}} + Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{ПОТ}}, \text{ МВт.}$$

Расчетный расход сетевой воды для нужд отопления и вентиляции:

$$G_{\text{ОВ}} = \frac{1,1 \cdot Q_{\text{ОВ}} \cdot 10^3}{(t_1 - t_2) \cdot C}, \text{ кг/с,}$$

где C – теплоемкость воды кДж/кг°С.

Расчетный расход воды для нужд горячего водоснабжения:

$$G_{\text{ГВС}} = \frac{1,1 \cdot Q_{\text{ГВС}} \cdot 10^3}{(t_{\text{ГВС}} - t_{\text{х.з}}) \cdot C}, \text{ кг/с,}$$

где $t_{\text{х.з}}$ – температура исходной воды, $t_{\text{х.з}} = 5^\circ\text{С}$.

Расчетный расход воды для подпитки теплосети:

$$G_{\text{ПОД}} = 1,2 \cdot G_{\text{ГВС}} + \frac{0,75}{100} \cdot (Q_{\text{ГВС}} + Q_{\text{ОВ}}) \text{ кг/с.}$$

Температура прямой воды в циркуляционном контуре: τ_1 , °С.

Температура обратной воды в циркуляционном контуре: τ_2 , °С.

Расход котловой воды на теплообменник ГВС:

$$G_{\text{ТОГВС}} = \frac{G_{\text{ПОД}} \cdot (t_{\text{ГВС}} - t_{\text{х.з}})}{(\tau_1 - \tau_2) \cdot \eta}, \text{ кг/с,}$$

где η – КПД теплообменника, $\eta = 0,98$.

Расход котловой воды на блок подогревателей сетевой воды:

$$G_{\text{ТОСВ}} = \frac{1,1 \cdot Q_{\text{ОВ}} \cdot 10^3}{(\tau_1 - \tau_2) \cdot C \cdot \eta}, \text{ кг/с.}$$

Расход воды через котлы:

$$G_{\text{К}} = G_{\text{ТОГВС}} + G_{\text{ТОСВ}}, \text{ кг/с.}$$

Задача 3. Выполнить расчет выбросов вредных веществ в атмосферу при работе котельной.

Таблица 3. Исходные данные к задаче 3

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Тип котла	Тепловая мощность котла, Q_k , кВт	Кол-во котлов, N	Топливо	Коэффициент избытка воздуха за котлом, α
0	LAVART Reverse	450	2	Табл. 4	1,1
1		450	3	Табл. 4	1,1
2		450	4	Табл. 4	1,1
3		700	2	Табл. 4	1,1
4		700	3	Табл. 4	1,1
5		700	4	Табл. 4	1,1
6		1000	2	Табл. 4	1,1
7		1000	3	Табл. 4	1,1
8		1000	4	Табл. 4	1,1
9		1500	2	Табл. 4	1,1

Таблица 4. Исходные данные к задаче 3

а) Топливо – природный газ

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Q_i^d , МДж/м ³	V_B^o	V_Γ^o
		м ³ /м ³	
0	37,31	9,91	11,11
1	36,17	9,54	10,72
2	36,47	9,68	10,86
3	35,84	9,51	10,69
4	36,8	9,74	10,98
5	37,01	9,81	11
6	38,02	10,05	11,25

б) Топливо – жидкое топливо

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	S_Γ , %	Q_i^r , МДж/кг	V_B^o	V_Γ^o
			м ³ /кг	
7	0,85	40,53	10,91	11,76
8	1,8	39,57	10,7	11,51
9	2,55	39,06	10,44	11,22

Предполагается установка индивидуальных дымовых труб для каждого котла. Предварительно задаемся трубой высотой H , м и диаметром устья

дымовой трубы D_y , м. Для обоснования выбора этих параметров необходимо произвести расчет выбросов вредных веществ в атмосферу. Правильность выбора высоты дымовой трубы определяется концентрацией выбросов в приземном слое, а диаметр устья – скоростью газов на выходе из дымовой трубы, которая должна составлять 5–8 м/с.

Методические указания к выполнению задачи 3

Исходные данные

Теплота сгорания топлива: Q_i^r (Q_i^d), кДж/кг(кДж/м³).

Максимальный расход топлива на один котел:

$$B_p = \frac{Q_k \cdot 100}{Q_i^r \cdot \eta_k}, \text{ кг/с (м}^3/\text{с)},$$

где Q_k , η_k – тепловая мощность и КПД котла $\eta_k = 92\%$.

Количество работающих котлов: N , шт.

Теоретический объем воздуха, необходимый для процесса горения: $V_{\text{в}}^o$, м³/кг (м³/м³)

Объем продуктов сгорания: $V_{\text{г}}^o$, м³/кг(м³/м³).

Температура дымовых газов на выходе из дымовой трубы: t_r , °С.

Коэффициент избытка воздуха за котлом: $\alpha = 1,1$.

Расчет

Перепад между температурой уходящих дымовых газов и температурой окружающего воздуха:

$$\Delta T = t_r - t_{\text{ср.от}}, \text{ °С.}$$

Объем дымовых газов, выходящих из дымовой трубы:

$$V_r = B_p \cdot [V_{\text{г}}^o + (\alpha - 1) \cdot V_{\text{в}}^o] \cdot \frac{(t_r + 273)}{273}, \text{ м}^3/\text{с.}$$

Скорость дымовых газов, выходящих из устья дымовой трубы:

$$W_r = \frac{V_r}{F_y} = \frac{4 \cdot V_r}{\pi \cdot D_y}, \text{ м/с.}$$

Если скорость газов W_r выходит за пределы 5–8 м/с, то необходимо принять новый диаметр устья D_y .

Количество окислов азота выбрасываемых в атмосферу от всех котлов:

$$M_{\text{NO}_2} = N \cdot B_p \cdot Q_i^d \cdot K_{\text{NO}_2}^r \cdot \beta_r \cdot \beta_t \cdot \beta_{\alpha}, \text{ г/с,}$$

где $K_{\text{NO}_2}^r$ – коэффициент выхода оксидов азота на 1 МДж газа, г/МДж;
 $K_{\text{NO}_2}^r = 0,0113 \cdot \sqrt{a_r} + 0,03 = 0,0113 \cdot \sqrt{1,1} + 0,03 = 0,042$; B_p – расход газа м³/с;
 Q_i^d – теплота сгорания газа, МДж/ м³; β_r – коэффициент, учитывающий конструкцию горелки, $\beta_r = 1$; β_t – коэффициент, учитывающий температуру воздуха на горелки, $\beta_t = 1$; β_{α} – коэффициент, учитывающий влияние избытка воздуха, $\beta_{\alpha} = 1$.

Концентрация окислов азота в приземном слое:

$$C_{\text{NO}_2} = \frac{A \cdot M_{\text{NO}_2} \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_r \cdot \Delta T}}, \text{ мг/м}^3,$$

где A – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы, $A = 160$; F – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе, для газообразных веществ $F = 1$; m , n – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса; η – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности, в случае ровной или слабо пересеченной местности с перепадом высот, не превышающих 50 м на 1 км, $\eta = 1$.

Значения коэффициентов m и n определяются в зависимости от параметров f и v_m :

$$f = 1000 \frac{W_r^2 D_y}{H^2 \Delta T};$$

$$v_m = 0,65 \sqrt[3]{\frac{V_r \Delta T}{H}}.$$

Коэффициент m определяется в зависимости от f по формулам:

$$m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34\sqrt[3]{f}}, \text{ при } f < 100;$$

$$m = \frac{1,47}{\sqrt[3]{f}}, \text{ при } f > 100.$$

Коэффициент n при $f < 100$ определяется в зависимости от v_m по формулам:

$$n = 1 \text{ при } v_m > 2;$$

$$n = 0,532v_m^2 - 2,13v_m + 3,13 \text{ при } 0,5 < v_m < 2;$$

$$n = 4,4v_m \text{ при } v_m < 0,5.$$

Расчет выбросов окислов серы выполняется, если в состав топлива входит сера (жидкое и твердое топливо).

Количество окислов серы, выбрасываемых в атмосферу (в пересчете на SO_2) для всех котлов:

$$M_{\text{SO}_2} = N \cdot 20 \cdot B_p \cdot S^p \cdot (1 - \eta_{\text{SO}_2}), \text{ г/с},$$

где N – количество работающих котлов; B_p – расход дизельного топлива, кг/с; S^p – содержание серы в топливе на рабочую массу, для дизельного топлива $S^p = 0,3\%$; η_{SO_2} – для окислов серы, связываемых летучей золой топлива, для дизельного топлива $\eta_{\text{SO}_2} = 0,02$.

Концентрация окислов серы в приземном слое:

$$C_{\text{SO}_2} = \frac{A \cdot M_{\text{SO}_2} \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_r \cdot \Delta T}}, \text{ мг/м}^3.$$

Безразмерная концентрация:

$$q = \frac{C_{\text{NO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{NO}_2}} + \frac{C_{\text{SO}_2}}{\text{ПДК}_{\text{SO}_2}} < 1.$$

Предельно допустимые концентрации: $\text{ПДК}_{\text{NO}_2} = 0,085 \text{ мг/м}^3$;
 $\text{ПДК}_{\text{SO}_2} = 0,5 \text{ мг/м}^3$.

Вывод

Из расчета выбросов вредных веществ в атмосферу при работе котельной на газе (дизельном топливе) можно сделать вывод о том, что предварительный выбор высоты и диаметра устья дымовой трубы произведен верно, т. к. безразмерная концентрация вредных веществ q меньше единицы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проектирование источников энергии в промышленной теплоэнергетике : учебное пособие / С. Н. Смородин, В. Н. Белоусов, А. Н. Иванов, К. Г. Мисютина. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2021. – 88 с. – URL: <https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1636919921.pdf> (дата обращения: 15.01.2026). – Текст: электронный.

2. Проектирование источников энергии в промышленной теплоэнергетике. Практические занятия : методические указания / сост. С. Н. Смородин, В. Н. Белоусов, А. Н. Иванов, К. Г. Мисютина. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 66 с. – URL: <https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/1649274027.pdf> (дата обращения: 15.01.2026). – Текст: электронный.