

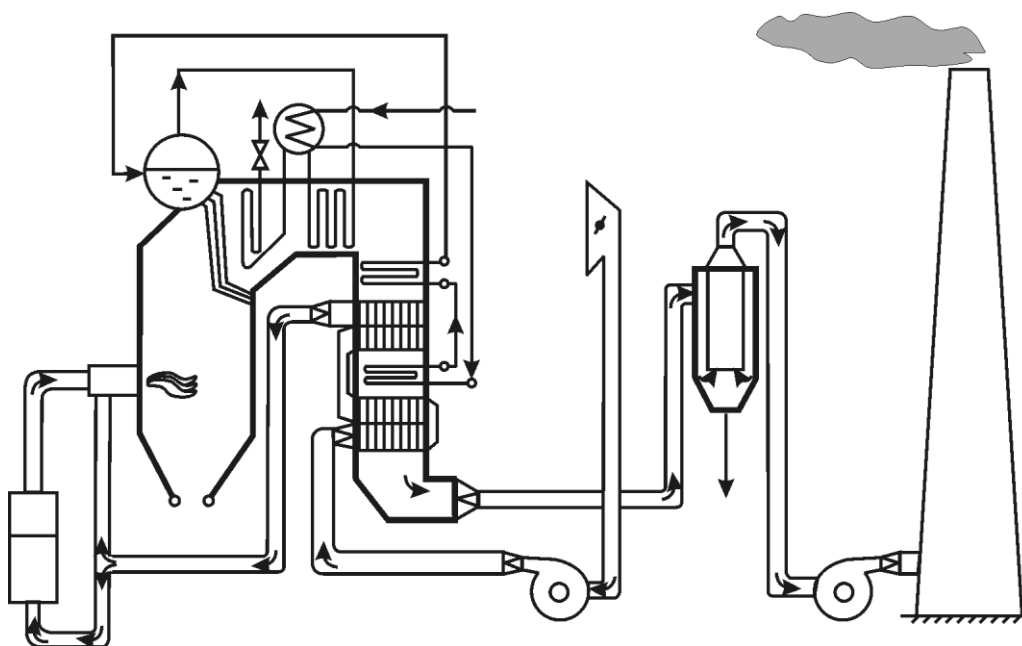
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛИМЕРОВ»

Кафедра промышленной теплоэнергетики

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Методические указания к выполнению контрольных работ
для студентов III курса заочной формы обучения



Санкт-Петербург
2015

УДК 621.18.01(075)

Котельные установки и парогенераторы: методические указания к выполнению контрольных работ для студентов III курса заочной формы обучения / сост. С.Н. Смородин, В.Н. Белоусов, С.В. Антуфьев; СПбГТУРП. - СПб., 2015. 32 с.

Настоящие методические указания по курсу «Котельные установки и парогенераторы» предназначены для студентов заочной формы обучения по направлению 13.03.01 и включают две контрольные работы. По каждой работе разработаны 10 вариантов и приведена методика их выполнения.

Рецензент: заведующий кафедрой ТСУ и ТД СПбГТУРП,
канд. техн. наук, доцент П.Н. Коновалов

Подготовлены и рекомендованы к печати кафедрой промышленной теплоэнергетики (протокол № 8 от 21 апреля 2015 г.).

Утверждены к изданию методической комиссией института энергетики и автоматизации (протокол № 1 от 8 октября 2015 г.).

© Санкт-Петербургский государственный
технологический университет
растительных полимеров, 2015
© Смородин С.Н., Белоусов В.Н.,
Антуфьев С.В. , 2015

Общие методические указания к контрольным работам

Курс «Котельные установки и парогенераторы» 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, протекающих в парогенераторах. Математические формулы и выводы расчетных уравнений имеют вспомогательное значение и должны способствовать более глубокому пониманию сущности явлений.

Учебным планом по курсу «Котельные установки и парогенераторы» предусмотрены один зачет и один экзамен. Для сдачи экзамена необходимо выполнить две контрольные работы, курсовой проект и предварительную сдачу зачета.

Контрольные работы выполняются по варианту задания, согласно шифру (номеру 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 с тщательным выполнением всех графических построений. 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 одной системой единиц измерения.
6. Графические работы производить четко, с соблюдением необходимых масштабов.

На обложке тетради каждой контрольной работы нужно написать разборчивым почерком фамилию и инициалы студента, шифр, кафедру, наименование изучаемой дисциплины, номер контрольного задания и адрес.

Общая схема котельной установки с естественной циркуляцией, работающей на твердом топливе

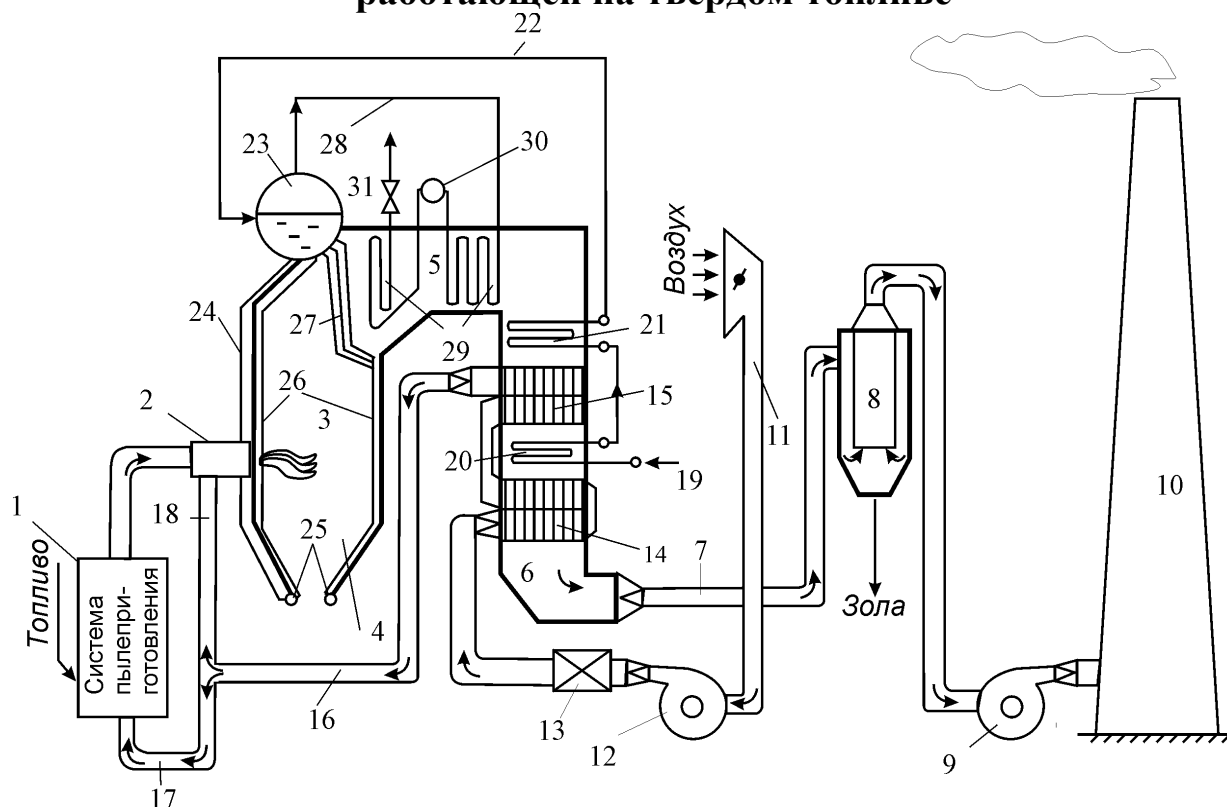


Рис. 1. Общая схема котельной установки с естественной циркуляцией,
работающей на твердом топливе:

топливный тракт:

1 – система пылеприготовления; 2 – пылеугольная горелка;

газовый тракт:

3 – топочная камера; 4 – холодная воронка; 5 – горизонтальный газоход;
6 – конвективная шахта; 7 – газоход; 8 – золоуловитель; 9 – дымосос;
10 – дымовая труба;

воздушный тракт:

11 – воздухозаборная шахта; 12 – вентилятор; 13 – калорифер;
14 – воздухоподогреватель 1-й ступени; 15 – воздухоподогреватель
2-й ступени; 16 – воздуховоды горячего воздуха; 17 – первичный воздух;
18 – вторичный воздух;

пароводяной тракт:

19 – подвод питательной воды; 20 – водяной экономайзер 1-й ступени;
21 – водяной экономайзер 2-й ступени; 22 – трубопровод питательной
воды; 23 – барабан; 24 – опускные трубы; 25 – нижние коллекторы;
26 – экранные (подъемные) трубы; 27 – фестон; 28 – паропровод сухого
насыщенного пара; 29 – пароперегреватель; 30 – пароохладитель;
31 – главная паровая задвижка (ГПЗ).

По курсу «Котельные установки и парогенераторы» выполняются 2 контрольные работы. Каждая контрольная работа состоит из пяти вопросов и четырех задач. Задания для контрольных работ выбираются из предлагаемых 10 вариантов по шифру зачетной книжки студента, причем номер варианта серии вопросов соответствует последней цифре шифра, а варианты исходных данных задач соответствуют предпоследней цифре шифра.

Контрольная работа № 1

Вопросы

Вариант 0

1. Схемы и принцип действия водотрубных котлов.
2. Факторы, влияющие на повышение температуры перегретого пара, и задачи регулирования температуры перегретого пара.
3. Условия, определяющие применение двухступенчатой схемы включения воздухоподогревателя.
4. Преимущества и недостатки Т-образной схемы компоновки.
5. Написать уравнение теплового баланса для поверхностей нагрева конвективных газоходов.

Вариант 1

1. Схемы и принцип действия газотрубных котлов.
2. Как влияет повышение параметров пара на тепловую схему котельного агрегата?
3. Характеристики работы конвективных, ширмовых и радиационных пароперегревателей. Дать графическую зависимость и обоснование.
4. Преимущества и недостатки П-образной схемы компоновки.
5. Уравнение конвективного теплообмена, используемое для расчета поверхностей нагрева конвективных газоходов парогенератора.

Вариант 2

1. Топочные устройства котлов, работающих на биотопливе.
2. Методы регулирования температуры перегретого пара. Схемы установки регулятора температуры перегретого пара и их влияние на надежность пароперегревателя.
3. Назначение водяного экономайзера и его значение в процессе генерации пара с повышением давления. Схемы и конструктивное выполнение водяных экономайзеров.
4. Преимущества и недостатки U-образной компоновки котлов.
5. Определение расчетных коэффициентов теплопередачи для поверхностей нагрева котельного агрегата.

Вариант 3

1. Показать на схемах различие между котлоагрегатами с естественной циркуляцией, многократной принудительной циркуляцией и прямоточными.
2. Парообразующие поверхности в котлоагрегатах низкого, среднего и высокого давления. Чем вызывается различное конструктивное оформление парообразующих поверхностей нагрева?
3. Вторичный перегрев пара. Промежуточные пароперегреватели, их конструктивное выполнение. При каких условиях они являются целесообразными?
4. Условия, определяющие выбор схемы включения воздухоподогревателя: одноступенчатой, двухступенчатой «врассечку» экономайзера и двухступенчатой «вполурассечку» экономайзера.
5. Определение коэффициента теплоотдачи от газа к стенке для расчета различных поверхностей нагрева котельного агрегата.

Вариант 4

1. Системы прямоточных котлоагрегатов.
2. Устройства и схемы парового регулирования температуры перегретого пара.
3. Водяные экономайзеры кипящего и некипящего типа.
4. Преимущества и недостатки башенной компоновки котлоагрегата (с восходящим потоком газов и инвертной компоновкой).
5. Определение температурных напоров в конвективных поверхностях нагрева.

Вариант 5

1. Параметры пара и их влияние на распределение тепловосприятия в котлоагрегате.
2. Конструкции и схемы рекуперативных воздухоподогревателей, их преимущества и недостатки.
3. Устройства и схемы газового регулирования температуры перегретого пара.
4. Чем определяется профиль парогенератора малой, средней и большой мощности?
5. Учет лучистого теплообмена при расчете конвективных поверхностей нагрева.

Вариант 6

1. Особенности парогенератора с многократной принудительной циркуляцией и обоснование наиболее целесообразной области его применения.
2. Конструкции и схемы регенеративных воздухоподогревателей. Их преимущества и основные недостатки.
3. Указать основные причины нарушения равномерного распределения пара по змеевикам пароперегревателя. Пути устранения температурной неравномерности по змеевикам пароперегревателя.
4. Дать основные схемы двухходовых компоновок котлоагрегатов.
5. Указать в общем виде основные уравнения, необходимые для расчета поверхности пароперегревателя.

Вариант 7

1. Рассмотреть основные положения, которые берутся за основу при выборе конструктивной схемы котлов-утилизаторов.
2. Радиационные пароперегреватели, их характеристика и конструктивное выполнение. Указать параметры пара, при которых их применение наиболее целесообразно.
3. Воздухоподогреватели с промежуточным теплоносителем. Их преимущества и недостатки. Конструктивное выполнение.
4. Дать основные схемы трехходовых компоновок котлоагрегатов и указать факторы, определяющие их выбор.
5. Указать в общем виде основные уравнения, необходимые для расчета поверхности экономайзера.

Вариант 8

1. Низкотемпературное сжигание твердых топлив.
2. Полурадиационные пароперегреватели, их характеристика и конструктивное выполнение. Объяснить, чем определяется их высокая тепловая эффективность.
3. Чугунные экономайзеры и область их применения.
4. Для каких условий башенная компоновка котлоагрегата становится наиболее целесообразной? Дать характеристику области применения таких котлоагрегатов.
5. Указать в общем виде основные уравнения, необходимые для расчета одноступенчатого и двухступенчатого воздухоподогревателей.

Вариант 9

1. Схемы и характеристики работы котлов с кипящим слоем.
2. Рассмотреть противоток и параллельный ток пара и газа и обосновать целесообразность комбинированных схем для пароперегревателей пара повышенных и высоких параметров.
3. Показать выбор оптимальных параметров воды, воздуха и газов, определяющих место расщепки экономайзера при выполнении двухступенчатых схем воздухоподогревателей.
4. Энерготехнологические агрегаты и котлоагрегаты специального назначения.
5. Чем характеризуется переходная зона проточного котлоагрегата и условия работы переходной зоны в топке и в конвективной шахте?

Задачи и методические указания к контрольной работе № 1

Задача 1

Определить расчетный расход топлива, подаваемого в топочную камеру парового котельного агрегата. Данные для расчета берутся из табл. 1, 2 для каждого варианта данной задачи.

Вид топлива, объемы продуктов сгорания и воздуха определяются по последней цифре шифра.

Таблица 1

Исходные данные к задаче 1

Вариант (последняя цифра шифра)	Бассейн, месторождение топлива	Марка топлива	Низшая теплота сгорания, Q_i^r , кДж/кг	Теоретический объем воздуха, $V_{в}^0$, м ³ /кг	Теоретический объем газа, $V_{г}^0$, м ³ /кг
0	Кузнецкий	Д	22860	6,01	6,58
1	"	Г	25250	6,56	7,08
2	"	ОС	27420	7,31	7,72
3	"	1СС	23570	6,23	6,70
4	"	Т	25120	6,95	7,37
5	"	Ж	18760	5,07	5,47
6	"	КЖ	19850	5,39	5,78
7	Аркагалинское	Д	19090	5,09	5,71
8	Минусинский	Д	20100	5,30	5,84
9	Черемховское	Д	17880	4,75	5,24

Дополнительные исходные данные определяются по предпоследней цифре шифра.

Таблица 2

Дополнительные исходные данные к задаче 1

Вариант (по предпоследней цифре шифра)	Паропроизводительность, $D_{пе}$, кг/с	Давление перегретого пара, $P_{пе}$, бар	Температура перегретого пара, $t_{пе}$, °C	Температура питательной воды, $t_{пв}$, °C	Температура уходящих газов, $\vartheta_{г}$, °C	Коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{ух}$	Температура холодного воздуха, $t_{хв}$, °C	Непрерывная продувка, p , %	Температура дымовых газов перед пароперегревателем, $\vartheta'_{пе}$, °C
0	10	40	440	140	120	1,49	30	3	900
1	11	39	430	145	130	1,49	30	3	890
2	12	40	440	150	140	1,49	30	3	910
3	19	39	450	140	130	1,33	30	3	890
4	20	40	430	145	140	1,33	30	3	900
5	21	39	440	150	120	1,33	30	3	910
6	58	100	520	190	120	1,33	30	3	980
7	59	110	510	200	130	1,33	30	3	990
8	60	100	520	210	140	1,33	30	3	1000
9	61	110	530	190	140	1,33	30	3	1030

Методические указания к выполнению задачи 1

1. Располагаемая теплота топлива. Для большинства видов достаточно сухих и малозольных топлив и газового топлива принимается

$$Q_p = Q_i^r, \text{ кДж/кг.}$$

2. Действительный объем дымовых газов

$$V_{г} = V_{г}^0 + (\alpha_{ух} - 1) V_{в}^0, \text{ м}^3/\text{кг.}$$

3. Энтальпия уходящих газов

$$I_{ух} = V_{г} c_{pг} \vartheta_{г}, \text{ кДж/кг,}$$

где $c_{pг}$ – теплоемкость дымовых газов среднего состава при температуре $\vartheta_{г}$ (табл. П1). При выполнении задачи можно воспользоваться значением теплоемкости газов среднего состава при данной температуре.

4. Энтальпия холодного воздуха

$$I_{хв}^0 = V_{в}^0 c_{pв} t_{хв}, \text{ кДж/кг,}$$

где $c_{pв}$ – теплоемкость воздуха (табл. П2).

5. Потери тепла от химического недожога q_3 , % (табл. П3).

6. Потери тепла от механического недожога q_4 , % (табл. П3).

7. Потери тепла с уходящими газами

$$q_2 = \frac{(I_{yx} - \alpha_{вп1} I_{xb}^0)(100 - q_4)}{Q_p}, \quad \%, \quad \text{где } \alpha_{yx} = \alpha_{вп1}.$$

8. Потери тепла от наружного охлаждения q_5 , % (рис. 2).

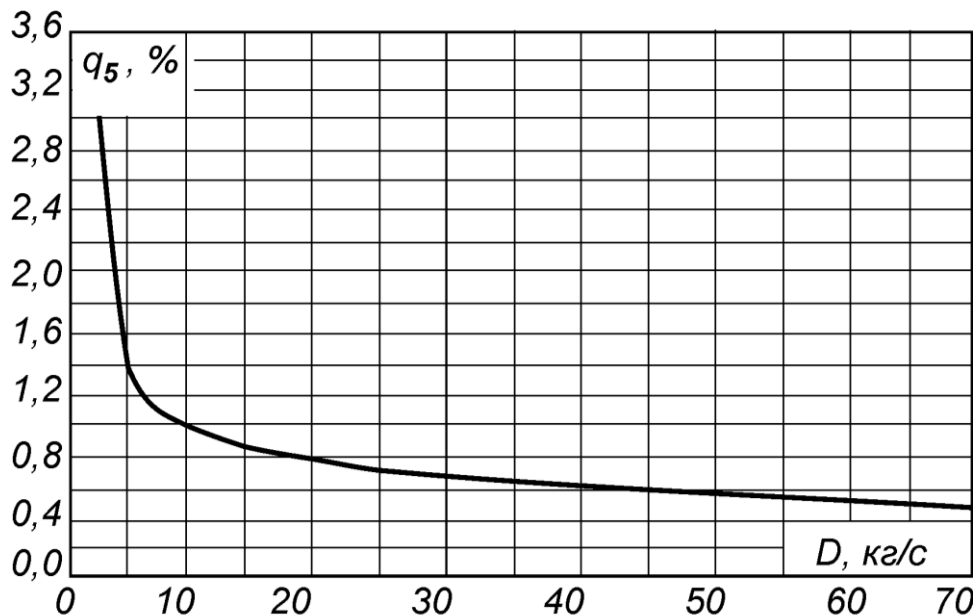


Рис. 2. Потери тепла от наружного охлаждения

9. Потери с теплом шлака $q_6 = 0$.

10. Сумма тепловых потерь

$$\Sigma q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, \quad \%.$$

11. КПД котлоагрегата «брутто»

$$\eta_{ка} = 100 - \Sigma q, \quad \%.$$

12. Коэффициент сохранения тепла

$$\varphi = 1 - \frac{q_5}{\eta_{ка} + q_5}.$$

13. Энтальпия перегретого пара $i_{пе}$, кДж/кг, определяется по давлению и температуре перегретого пара (табл. П4).

14. Энтальпия питательной воды $i_{пв}$, кДж/кг (табл. П5 при $P_3 = 1,2P_{пе}$).

15. Энтальпия продувочной воды $i_{кип}$, кДж/кг (табл. П6 при $P_6 = 1,1P_{пе}$).

16. Расход непрерывной продувки

$$D_{пр} = 0,01p D_{пе}, \quad \text{кг/с},$$

где p - процент продувки (по заданию).

17. Расход полезно использованной теплоты

$$Q_{\text{ка}} = D_{\text{пе}} (i_{\text{пе}} - i_{\text{пв}}) + D_{\text{пр}} (i_{\text{кип}} - i_{\text{пв}}), \text{ кВт}.$$

18. Полный расход топлива

$$B = \frac{Q_{\text{ка}}}{Q_{\text{р}} \eta_{\text{ка}}} 100, \text{ кг/с}.$$

19. Расчетный расход топлива

$$B_{\text{р}} = \frac{B (100 - q_4)}{100}, \text{ кг/с}.$$

Задача 2

Определить поверхность нагрева конвективного пароперегревателя без учета влияния лучистого тепла из топки, используя данные задачи 1. Коэффициент избытка воздуха в газоходе перед пароперегревателем $\alpha'_{\text{пе}}=1,2$; присос воздуха в газоходе пароперегревателя $\Delta \alpha_{\text{пе}}=0,03$.

Таблица 3

Исходные данные к задаче 2

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Поправочный коэффициент для определения температурного напора при схеме последовательно-смешанного тока, ψ	Коэффициент теплопередачи пароперегревателя, $k, \text{ Вт/}(\text{м}^2 \text{ К})$
0	0,95	50
1	0,96	51
2	0,97	52
3	0,98	53
4	0,95	54
5	0,96	55
6	0,97	56
7	0,98	57
8	0,95	58
9	0,96	59

Методические указания к выполнению задачи 2

1. Действительный объем дымовых газов перед пароперегревателем
$$V'_r = V^0_r + (\alpha'_{пе} - 1) V^0_v, \text{ м}^3/\text{кг}.$$
2. Энтальпия газов на входе в пароперегреватель
$$I' = V'_r c_{pг} \vartheta'_{пе}, \text{ кДж/кг},$$
где $c_{pг}$ – теплоемкость дымовых газов среднего состава при температуре $\vartheta'_{пе}$ (табл. П1).
3. Температура насыщенного пара на входе в пароперегреватель
$$t' = t_n, \text{ }^\circ\text{C} \text{ (табл. П6 при } P_6 = 1,1P_{пе}).$$
4. Энтальпия насыщенного пара на входе в пароперегреватель
$$i' = i_{np}, \text{ кДж/кг (табл. П6).}$$
5. Энтальпия перегретого пара на выходе из пароперегревателя
$$i'' = i_{пе}, \text{ кДж/кг (табл. П4 по давлению } P_{пе} \text{ и температуре } t_{пе} \text{ перегретого пара).}$$
6. Тепловосприятие пароперегревателя по балансу ($\Delta i_{по} = 63 \text{ кДж/кг}$ – тепловосприятие в пароохладителе)
$$Q_6 = \frac{D_{пе} (i'' - i' + \Delta i_{по})}{B_p}, \text{ кДж/кг}.$$
7. Энтальпия газов за пароперегревателем
$$I'' = I' - \frac{Q_6}{\phi} + \Delta \alpha_{пе} I^0_{хв}, \text{ кДж/кг}.$$
8. Коэффициент избытка воздуха за пароперегревателем
$$\alpha''_{пе} = \alpha'_{пе} + \Delta \alpha_{пе}.$$
9. Действительный объем дымовых газов за пароперегревателем
$$V''_r = V^0_r + (\alpha''_{пе} - 1) V^0_v, \text{ м}^3/\text{кг}.$$
10. Температура газов на выходе из пароперегревателя определяется методом подбора температуры и теплоемкости (табл. П1)
$$\vartheta''_{пе} = \frac{I''}{V''_r c_r}, \text{ }^\circ\text{C}.$$
11. Температурный напор на входе газов (противоток)
$$\Delta t_6 = \vartheta' - t'', \text{ }^\circ\text{C}.$$
12. Температурный напор на выходе газов (противоток)
$$\Delta t_m = \vartheta'' - t', \text{ }^\circ\text{C}.$$

13. Средний температурный напор при противотоке $\Delta t_{\text{прт}}$

$$\Delta t_{\text{прт}} = \frac{\Delta t_{\text{б}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{б}}}{\Delta t_{\text{м}}}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$$

14. Средний температурный напор $\Delta t = \psi \Delta t_{\text{прт}}, \text{ } ^\circ\text{C}.$

15. Необходимая поверхность нагрева

$$H = \frac{Q_{\text{б}} B_{\text{р}} \cdot 10^3}{k \Delta t}, \text{ } \text{м}^2.$$

Задача 3

Определить поверхность нагрева водяного экономайзера 2-й ступени по полученным результатам расчетов задач 1 и 2.

Таблица 4

Исходные данные к задаче 3

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Температура питательной воды на входе в ВЭ 2-й ст., $t'_{\text{пв}}, \text{ } ^\circ\text{C}$	Величина присоса холодного воздуха, $\Delta \alpha_{\text{вэ}}$	Коэффициент теплопередачи водяного экономайзера 2-й ст., $k, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$
0	200	0,08	45
1	195	0,08	46
2	200	0,08	47
3	205	0,02	48
4	200	0,02	49
5	200	0,02	50
6	265	0,02	51
7	270	0,02	52
8	270	0,02	53
9	275	0,02	54

Методические указания к выполнению задачи 3

1. Температура газов на входе во 2-ю ступень водяного экономайзера $\vartheta'_{\text{вэ}}, \text{ } ^\circ\text{C}$ (из расчета пароперегревателя).
2. Энтальпия газов $\Gamma', \text{ кДж/кг}$ (из расчета пароперегревателя).
3. Энтальпия питательной воды на входе во 2-ю ступень водяного экономайзера $i'_{\text{пв}}, \text{ кДж/кг}$ (табл. П5 при $P_{\text{э}} = 1,2 P_{\text{пе}}$ и $t'_{\text{пв}}$).

4. Энтальпия питательной воды на выходе из 2-й ступени водяного экономайзера

$$i''_{пв} = i'_{пв} + 150, \text{ кДж/кг.}$$

5. Температура воды на выходе $t''_в$, °C (табл. П5).

6. Тепловосприятие ступени по балансу

$$Q_{\dot{a}} = \frac{D_{\dot{a}}(i''_{\dot{a}} - i'_{\dot{a}})}{B_{\delta}}, \text{ кДж/кг,}$$

где $D_{вэ} = D_{пе} + D_{пр}$, кг/с.

7. Энтальпия газов на выходе из 2-й ступени экономайзера

$$I'' = I' + \Delta\alpha_{вэ} I_{хв}^0 - \frac{Q_{\delta}}{\phi}, \text{ кДж/кг.}$$

8. Коэффициент избытка воздуха дымовых газов за водяным экономайзером

$$\alpha_{вэ} = \alpha''_{пе} + \Delta\alpha_{вэ}.$$

9. Действительный объем дымовых газов за экономайзером 2-й ступени

$$V''_{г} = V^0_{г} + (\alpha_{вэ} - 1) V^0_{в}, \text{ м}^3/\text{кг.}$$

10. Температура газов на выходе из экономайзера определяется методом подбора температуры и теплоемкости (табл. П1)

$$\vartheta''_{вэ} = \frac{I''}{V''_{г} c''_{г}}, \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

11. Температурный напор на входе газов

$$\Delta t_{вх} = \vartheta'_{вэ} - t''_{пв}, \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

12. Температурный напор на выходе газов

$$\Delta t_{вых} = \vartheta''_{вэ} - t'_{пв}, \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

13. Средний температурный напор

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{м}}{\ln \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{м}}}, \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

14. Необходимая поверхность нагрева

$$H = \frac{Q_{\delta} B_p \cdot 10^3}{k \Delta t}, \text{ м}^2.$$

Задача 4

Определить поверхность нагрева воздухоподогревателя 1-й ступени, используя полученные результаты решений предыдущих задач.

Таблица 5

Исходные данные к задаче 4

Вариант (предпоследняя цифра шифра)	Температура горячего воздуха на выходе из ВП 1-й ст., $\vartheta_{\text{в}}''$, °С	Величина присоса холодного воздуха			Коэффициент теплопередачи воздухоподогревателя 1-й ст., k , Вт/(м ² К)
		$\Delta \alpha_{\text{пл}}$	$\Delta \alpha_{\text{т}}$	$\Delta \alpha_{\text{вп}}$	
0	150	0,04	0,07	0,05	14
1	150	0,04	0,07	0,05	15
2	150	0,04	0,07	0,05	16
3	150	0,04	0,07	0,03	17
4	150	0,04	0,07	0,03	18
5	150	0,04	0,07	0,03	16
6	200	0,04	0,07	0,03	17
7	200	0,04	0,07	0,03	18
8	200	0,04	0,07	0,03	19
9	200	0,04	0,07	0,03	20

Методические указания к выполнению задачи 4

1. Температура газов на выходе из воздухоподогревателя 1-й ступени
 $\vartheta'' = \vartheta_{\text{yx}}$, °С .
2. Энтальпия газов на выходе из воздухоподогревателя 1-й ступени
 $I'' = I_{\text{yx}}$, кДж/кг .
3. Температура воздуха на входе в 1-ю ступень воздухоподогревателя
 $\vartheta'_{\text{в}} = t_{\text{хв}}$, °С .
4. Энтальпия воздуха на входе в 1-ю ступень воздухоподогревателя
 $I_{\text{в}}^{0'} = I_{\text{хв}}^0$, кДж/кг .
5. Температура воздуха на выходе из 1-й ступени воздухоподогревателя
 $\vartheta''_{\text{в}}$, °С (см. по заданию).
6. Энтальпия воздуха на выходе из 1-й ступени воздухоподогревателя
 $I_{\text{в}}^{0''} = V_{\text{в}}^0 c_{\text{в}}'' \vartheta''_{\text{в}}$, кДж/кг,
где $c_{\text{в}}''$ – теплоемкость воздуха при температуре $\vartheta''_{\text{в}}$ (табл. П2).

7. Отношение количества воздуха за 1-й ступенью воздухоподогревателя к теоретически необходимому

$$\beta'' = \alpha_T - \Delta\alpha_T - \Delta\alpha_{пл} + \Delta\alpha_{вп} .$$

8. Тепловосприятие ступени по балансу

$$Q_{\bar{6}} = \left(\beta'' + \frac{\Delta\alpha_{вп}}{2} \right) (I_B^{o''} - I_B^{o'}) , \text{ кДж/кг} .$$

9. Средняя температура воздуха

$$\vartheta_B = \frac{\vartheta'_B + \vartheta''_B}{2} , \text{ } ^\circ\text{C} .$$

10. Энтальпия газов на входе в 1-ю ступень воздухоподогревателя

$$I' = I'' + \frac{Q_{\bar{6}}}{\varphi} - \Delta\alpha_{вп} I_{прс}^o , \text{ кДж/кг} ,$$

где энтальпия присосов при средней температуре воздуха

$$I_{прс}^o = V_B^0 c_B \vartheta_B , \text{ кДж/кг} .$$

11. Действительный объем дымовых газов

$$V_{\Gamma} = V_{\Gamma}^0 + (\alpha_{вп1} - 1) V_B^0 , \text{ м}^3/\text{кг} ,$$

где $\alpha_{вп1} = \alpha_{yx}$.

12. Температура газов на входе в 1-ю ступень воздухоподогревателя определяется методом подбора температуры и теплоемкости (табл. П1)

$$\vartheta' = \frac{I'}{V_{\Gamma} c_{\Gamma}} , \text{ } ^\circ\text{C} .$$

13. Температурный напор на входе газов

$$\Delta t_1 = \vartheta' - \vartheta''_B , \text{ } ^\circ\text{C} .$$

14. Температурный напор на выходе газов

$$\Delta t_2 = \vartheta'' - \vartheta'_B , \text{ } ^\circ\text{C} .$$

15. Средний температурный напор

$$\Delta t = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} , \text{ } ^\circ\text{C} .$$

16. Необходимая поверхность нагрева

$$H = \frac{Q_{\bar{6}} B_p \cdot 10^3}{k \Delta t} , \text{ м}^2 .$$

Контрольная работа № 2

Вопросы

Вариант 0

1. Условия надежности работы испарительной поверхности нагрева в котлоагрегатах с естественной циркуляцией и принудительным движением пароводяной смеси.
2. Что такое природная вода? Указать классифицирующий состав примесей, находящихся в ней.
3. Значение капельного уноса солей с паром и условия возникновения загрязнения пара за счет избирательного уноса.
4. Что такое самотяга и на каких участках воздушного тракта котлоагрегата П-образной компоновки она проявляется? Расчет самотяги воздушного тракта.
5. Что необходимо знать для выбора дымососа?

Вариант 1

1. Что такое «полная деминерализация воды» и когда она осуществляется?
2. Организация движения воды и пароводяной смеси в испарительных элементах котлоагрегатов с естественной и принудительной циркуляцией. Рассмотреть принципиальные схемы испарительных элементов котлоагрегатов.
3. Дать общее уравнение солевого баланса непрерывной продувки и способ определения количества продувочной воды.
4. Дать расчет необходимой высоты дымовой трубы при естественной тяге.
5. Указать, какие существуют способы регулирования дымососов и вентиляторов и как изменяются потребляемая мощность и КПД установки.

Вариант 2

1. Охарактеризовать простой контур циркуляции и дать общее уравнение движения пароводяной смеси в трубах котлоагрегата.
2. Привести показатели, характеризующие физико-химические свойства питательной воды и предъявляемые к ней требования.
3. Методы получения чистого пара. Нормы качества пара.
4. Схемы газо-воздушных трактов современных котлоагрегатов.
5. Дать расчет необходимой производительности и напора дымососа и вентилятора (дутьевого).

Вариант 3

1. Написать уравнение движущего напора в циркуляционном контуре и показать метод определения всех величин, входящих в это уравнение. Пояснить причины самоиспарения в подъемных трубах и торможения испарения в опускных.
2. Характеристика основных методов подготовки воды.
3. Объяснить назначение периодической и непрерывной продувки и дать схему осуществления продувки.
4. Указать влияние организации подвода и отвода пароводяной смеси, а также напряжения объема парового пространства и зеркала испарения на качество воды.
5. Расчет самотяги газового тракта. Где и с каким знаком учитывается самотяга в котлоагрегатах U-образной компоновки?

Вариант 4

1. Дать уравнения циркуляции для простого циркуляционного контура и метод их решения.
2. Условия, необходимые для достижения безнакипного режима котлоагрегата.
3. Пояснить назначение и дать схемы устройства для промывки пара.
4. Разъяснить процессы, происходящие при умягчении воды методами осаждения и катионирования. Указать конечный результат по качеству воды при умягчении воды.
5. Расчет сопротивлений по газовому и воздушному тракту.

Вариант 5

1. Расчет сопротивлений подъемных и опускных звеньев циркуляционного контура.
2. Требования к качеству котловой воды и пара. Ступенчатое испарение.
3. Методы получения чистого пара.
4. Определение перепада полных давлений по воздушному тракту.
5. Выбор тягодутьевых средств.

Вариант 6

1. Критерии надежности естественной циркуляции.
2. Объяснить, как производится удаление газов из питательной воды, и какие устройства для этого применяются.
3. Влияние высоты парового объема на качество пара.
4. Что такое анионирование, и когда оно применяется?
5. Определение перепада полных давлений по газовому тракту.

Вариант 7

1. Дать решение циркуляционной задачи для сложного циркуляционного контура, состоящего из параллельно работающих простых контуров.
2. Способ определения парообразующей высоты контура.
3. Указать три основных назначения сепарационных устройств, применяемых в современных барабанных котлах на отдельных этапах при осуществлении мероприятий по улучшению качества пара.
4. В каких случаях применяется обессоливание и обескремнивание воды? Дать разъяснение, в чем заключается сущность этих способов обработки воды.
5. Какие величины необходимо определить из аэродинамического расчета котлоагрегатов для выбора тягодутьевых средств, и по какой формуле производится расчет потребляемой мощности дымососа и вентилятора?

Вариант 8

1. Дать решение задачи для циркуляционного контура, состоящего из последовательно включенных звеньев.
2. Разъяснить, каким образом сказываются на надежности циркуляции кавитация и закипание в опускных трубах.
3. Указать, какие внутрикотловые процессы приводят к выпадению твердой фазы из котловой воды.
4. Что такое фосфатирование, и с какой целью оно применяется?
5. Какую роль играет дымовая труба в современных котлоагрегатах с искусственной тягой, и чем определяется ее высота?

Вариант 9

1. Гидродинамические особенности принудительного движения пароводяной смеси. Гидродинамическая неустойчивость. Тепловая неустойчивость.
2. Основные задачи водоподготовки. Состав питательной воды и количество добавочной воды.
3. Организация и условия выполнения непрерывной и периодической продувки котловой воды.
4. Почему недопустимы отложения накипи в котлах среднего и высокого давления?
5. Рассмотреть вопрос о влиянии на газовое сопротивление поверхности нагрева, скорости дымовых газов, их температуры, диаметра труб и степени загрязнения.

Задачи и методические указания к контрольной работе № 2

Задача 1

а) Определить среднее весовое и объемное напряжение парового пространства и зеркала испарения для данных, приведенных в табл. 6 и дать оценку полученным результатам. Уровень воды расположен точно посередине барабана. Расчет вести только для цилиндрической части барабана.

Таблица 6

Исходные данные к задаче 1

Вариант (последняя цифра шифра)	Производи- тельность котла, Д, т/ч	Избыточное давление в барабане, Р _б , бар	Внутренний диаметр барабана, d, мм	Длина цилиндрической части барабана, L, мм
0	35	39	1500	6560
1	50	13	1500	7000
2	50	39	1500	7000
3	75	39	1500	8400
4	220	100	1600	12400
5	400	100	1800	16080
6	420	140	1800	16200
7	500	140	1800	18500
8	640	140	1800	21000
9	20	39	1280	3560

б) Для тех же условий найти время (с), за которое регулировочный запас воды в барабане снизится от 100 мм выше середины до 100 мм ниже середины барабана.

Методические указания к выполнению задачи 1

1. Нагрузка зеркала испарения в объемных единицах

$$R_s = \frac{D \cdot \vartheta}{F}, \quad \text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ ч}),$$

где D - расход пара, кг/ч;

ϑ - удельный объем насыщенного пара, м³/кг (определяется по таблицам воды и пара на линии насыщения по Р_б) [Тепловой расчет котлоагрегата (Нормативный метод)/НПО ЦКТИ. СПб., 1998. С.179, табл. XXIII];

F - площадь зеркала испарения, м².

2. Нагрузка зеркала испарения в весовых единицах

$$R_s' = \frac{D}{F \cdot 10^3}, \text{ т/(м}^2 \text{ ч)},$$

3. Напряжение парового объема в объемных единицах

$$R_v = \frac{D \cdot \vartheta}{V}, \text{ м}^3/(\text{м}^3 \text{ ч)},$$

где V – объем парового пространства, м^3 .

4. Напряжение парового объема в весовых единицах

$$R_v' = \frac{D}{V \cdot 10^3}, \text{ т/(м}^3 \text{ ч)},$$

5. Регулировочный запас воды в барабане

$$V_a = 0,2 \cdot d \cdot L, \text{ м}^3,$$

6. Время срабатывания регулировочного запаса воды

$$t = \frac{3600 \cdot \rho_a \cdot V_a}{D}, \text{ с},$$

где $\rho_a = \frac{1}{\vartheta_a}$ – плотность воды, кг/м^3 , (удельный объем воды ϑ_a

определяется по таблицам воды и пара на линии насыщения по P_0), см. выше.

Задача 2

Для условий задачи 1 найти расход продувочной воды, кг/ч . В табл. 7 даны солесодержание питательной воды $S_{пв}$, солесодержание котловой воды $S_{кв}$ и солесодержание пара $S_{п}$.

Таблица 7

Исходные данные к задаче 2

Вариант (последняя цифра шифра)	$S_{пв}$, мг/кг	$S_{кв}$, мг/кг	$S_{п}$, мг/кг
0	50	2500	0,2
1	45	1800	0,3
2	40	2000	0,18
3	38	1600	0,22
4	30	2000	0,08
5	20	2300	0,085
6	30	2500	0,05
7	25	2000	0,06
8	20	1500	0,07
9	50	2000	0,25

Методические указания к выполнению задачи 2

Расход продувочной воды

$$D_{\text{пр}} = 0,01 \, p \, D, \text{ кг/ч,}$$

где p – величина продувки котла, %, которая определяется из уравнения солевого баланса котельного агрегата

$$(100+p)S_{\text{пв}} = 100 S_{\text{п}} + pS_{\text{пр}}.$$

Задача 3

Определить газовое сопротивление пучка труб шахматного расположения с диаметром $d_{\text{тр}}$, с числом труб по ходу газов n , с шагами в ряду S_1 и по ходу газов S_2 , при скорости газов $W_{\text{г}}$, средней температуре газов $\vartheta_{\text{г}}$ и $\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$. При определении сопротивления пучка внести поправку на удельный вес газов.

Таблица 8

Исходные данные к задаче 3

Вариант (последняя цифра шифра)	$d_{\text{тр}}$, мм	n , шт	S_1 , мм	S_2 , мм	$W_{\text{г}}$, м/с	$\vartheta_{\text{г}}$, °C	$\gamma_{\text{H}_2\text{O}}$
0	38	15	150	70	7,0	910	0,06
1	38	20	160	80	7,5	880	0,07
2	38	25	170	90	7,8	900	0,13
3	32	22	100	75	8,5	700	0,08
4	32	26	90	70	9,0	680	0,135
5	32	30	105	72	9,5	660	0,15
6	32	18	110	80	9,8	640	0,14
7	40	31	80	55	12,0	440	0,142
8	40	27	75	50	14,0	400	0,151
9	40	38	70	48	10,0	360	0,163

Методические указания к выполнению задачи 3

Сопротивление поперечно омываемого пучка с шахматным расположением труб определяется по формуле

$$\Delta h_{\text{поп}} = \xi \frac{W^2 \rho}{2}, \text{ Па,}$$

где ξ – коэффициент сопротивления шахматного пучка; W – скорость потока, м/с; ρ – плотность потока при расчетной температуре $\vartheta_{\text{г}}$, кг/м³.

Коэффициент сопротивления шахматного пучка определяется из выражения

$\xi = \xi_0 (n + 1)$, где n - число рядов труб по глубине пучка;

$$\xi_0 = C_s \text{Re}^{-0,27} ,$$

где C_s - коэффициент формы шахматного пучка, зависящий от отношений $\frac{s_1}{d}$ и $\varphi = \frac{s_1 - d}{s'_2 - d}$; s_1, s_2 - шаги труб по ширине и по глубине пучка; $s'_2 = \sqrt{0,25s_1^2 + s_2^2}$ - диагональный шаг труб.

При $0,14 \leq \varphi < 1,7$

для пучков с $s_1/d < 2,0$

$$C_s = 3,2 + (4,6 - 2,7\varphi) \left(2,0 - \frac{s_1}{d} \right) ;$$

для пучков с $s_1/d \geq 2,0$ $C_s = 3,2$.

При $1,7 \leq \varphi \leq 5,2$ («стесненные» пучки, у которых диагональное сечение почти равно поперечному или меньше его)

$$C_s = 0,44 (\varphi + 1)^2 ;$$

$\text{Re} = \frac{W d}{\nu}$, где ν - коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$ (табл. П1).

Библиографический список

Сморозин С.Н., Иванов А.Н., Белоусов В.Н. Котельные установки и парогенераторы: учебное пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2009.

Сморозин С.Н., Иванов А.Н., Белоусов В.Н., Лакомкин В.Ю. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок: учебное пособие / СПбГТУРП. – СПб., 2013.

Тепловой расчет котлов (Нормативный метод)/ НПО ЦКТИ. СПб., 1998.

Сидельковский Л.Н., Юренев А.Н. Парогенераторы промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1978.

Приложение

Таблица П1

Физические свойства дымовых газов среднего состава (В=760 мм рт. ст.)

$\vartheta_{г},$ °С	$c_{рг},$ кДж/(м ³ °С)	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	$\vartheta_{г},$ °С	$c_{рг},$ кДж/(м ³ °С)	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с	$\vartheta_{г},$ °С	$c_{рг},$ кДж/(м ³ °С)	$\nu \cdot 10^6,$ м ² /с
0	1,349	12,20	450	1,513	68,34	850	1,655	142,2
100	1,383	21,54	500	1,535	76,30	900	1,671	152,5
150	1,401	27,17	550	1,553	85,00	950	1,680	163,4
200	1,421	32,80	600	1,572	93,61	1000	1,691	174,3
250	1,437	39,31	650	1,588	102,9	1050	1,702	185,7
300	1,453	45,81	700	1,605	112,1	1100	1,713	197,1
350	1,472	53,10	750	1,621	122,0	1150	1,724	210,0
400	1,491	60,38	800	1,637	131,8	1200	1,735	221,0

Таблица П2

Теплоемкость сухого воздуха (В=760 мм рт.ст.)

$t_{возд.},$ °С	$c_{р в},$ кДж/(м ³ °С)	$t_{возд.},$ °С	$c_{р в},$ кДж/(м ³ °С)
0	1,299	120	1,305
30	1,299	150	1,312
50	1,299	200	1,327
80	1,305	250	1,342
100	1,305	300	1,354

Таблица ПЗ

Расчетные характеристики камерных топок котельных агрегатов

а) производительностью $D > 21$ кг/с, топливо - твердое ($q_3 = 0$)

Вид топочного устройства	Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки, α_T	Допустимое тепловое напряжение топочного объема, q_v , кВт/м ³	Потери теплоты, q_4 , %	Доля уноса золы из топки, $a_{ун}$
Камерная топка с твердым шлакоудалением	Антрациты	1,2 – 1,25	140	6	0,95
	Полуантрациты	— " —	160	4	0,95
	Тощие угли	— " —	160	2	0,95
	Каменные угли	1,15 – 1,2	175	1 – 1,5	0,95
	Отходы углеобогащения	— " —	160	2 - 3	0,95
	Бурые угли	— " —	185	0,5 - 1	0,95
	Фрезерный торф	— " —	160	0,5 – 1	0,95
	Сланцы	— " —	115	0,5 – 1	0,95
Камерная топка с жидким шлакоудалением	Антрациты и полуантрациты	1,2 – 1,25	145	3 – 4	0,85
	Тощие угли	— " —	185	1,5	0,8
	Каменные угли	1,15 – 1,2	185	0,5	0,8
	Бурые угли	— " —	210	0,5	0,7 – 0,8

б) производительностью $D > 21$ кг/с, топливо - горючие газы и мазут

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки, α_T	Допустимое тепловое напряжение топочного объема, q_v , кВт/м ³	Потери теплоты, $q_3 + q_4$, %
Мазут	1,02 – 1,05	290	0,1 – 0,5
Природный, попутный и коксовый газы	1,05 – 1,1	350	0,1 – 0,5

в) производительностью $D = 7-13$ кг/с при сжигании пылевидного топлива с твердым шлакоудалением

Топливо	Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки α_T	Допустимое тепловое напряжение топочного объема, q_v , кВт/м ³			Потери теплоты				Доля уноса золы из топки $a_{\text{ун}}$
					q_4 , %			q_3 , %	
		D , кг/с			D , кг/с				
		7	10	13	7	10	13		
Каменные угли	1,2	250	210	190	5	3	2-3	0,5	0,95
Бурые угли	1,2	290	240	210	3	1,5-2	1-2	0,5	0,95
Фрезерный торф	1,2	250	210	190	3	1,5-2	1-2	0,5	0,95

Таблица П4

Теплосодержание и удельные объемы перегретого пара

t, °C	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг	ν , м ³ /кг	i , кДж/кг
	Давление P, МПа															
	1,2		1,3		1,4		1,5		2,2		2,3		2,4		2,5	
200	0,1693	2816	0,1552	2810	0,1430	2803	0,1325	2797								
210	0,1741	2841	0,1597	2835	0,1473	2830	0,1366	2824								
220	0,1788	2865	0,1641	2860	0,1515	2855	0,1406	2850	0,0916	2810	0,0870	2803				
230	0,1834	2889	0,1684	2884	0,1556	2880	0,1445	2875	0,0946	2839	0,0900	2833	0,0857	2828	0,0817	2822
240	0,1879	2912	0,1727	2908	0,1596	2904	0,1482	2899	0,0975	2867	0,0928	2862	0,0884	2857	0,0844	2852
250	0,1923	2935	0,1768	2931	0,1635	2927	0,1520	2923	0,1004	2894	0,0955	2889	0,0911	2885	0,0870	2880
260	0,1967	2958	0,1809	2954	0,1674	2950	0,1556	2947	0,1031	2920	0,0982	2916	0,0937	2912	0,0895	2907
270	0,2011	2980	0,1850	2977	0,1711	2973	0,1592	2970	0,1057	2945	0,1007	2941	0,0962	2938	0,0920	2934
280	0,2053	3002	0,1890	2999	0,1749	2996	0,1627	2993	0,1083	2970	0,1033	2966	0,0986	2963	0,0943	2959
290	0,2096	3024	0,1929	3021	0,1786	3018	0,1662	3015	0,1109	2994	0,1057	2991	0,1010	2988	0,0966	2984
300	0,2138	3046	0,1968	3043	0,1823	3040	0,1697	3038	0,1134	3018	0,1081	3015	0,1033	3012	0,0989	3009
310									0,1159	3041	0,1105	3038	0,1056	3036	0,1011	3033
320									0,1183	3064	0,1129	3062	0,1079	3059	0,1033	3057
330									0,1207	3087	0,1152	3085	0,1102	3082	0,1055	3080
340									0,1231	3110	0,1175	3108	0,1124	3106	0,1076	3103
350									0,1255	3133	0,1198	3131	0,1146	3128	0,1098	3126
360									0,1278	3155	0,1220	3153	0,1167	3151	0,1119	3149
370									0,1302	3178	0,1243	3176	0,1189	3174	0,1139	3172
380									0,1325	3200	0,1265	3198	0,1210	3196	0,1160	3194
390									0,1348	3222	0,1287	3220	0,1232	3219	0,1181	3217
400									0,1371	3244	0,1309	3243	0,1253	3241	0,1201	3239

Продолжение табл. П4

t, °C	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
	Давление P, МПа															
	3,5		3,6		3,7		3,8		3,9		4,0		4,1		4,2	
310	0,0702	3004	0,0680	3001	0,0660	2998	0,0640	2995	0,0622	2992	0,0604	2988	0,0588	2985	0,0572	2982
320	0,0719	3030	0,0697	3027	0,0676	3024	0,0656	3021	0,0638	3018	0,0620	3015	0,0603	3012	0,0587	3010
330	0,0735	3055	0,0713	3052	0,0692	3050	0,0672	3047	0,0653	3044	0,0635	3042	0,0618	3039	0,0602	3036
340	0,0752	3080	0,0729	3077	0,0708	3075	0,0687	3072	0,0668	3070	0,0650	3067	0,0633	3065	0,0616	3062
350	0,0768	3104	0,0745	3102	0,0723	3099	0,0703	3097	0,0683	3095	0,0665	3092	0,0647	3090	0,0630	3088
360	0,0784	3128	0,0760	3126	0,0738	3124	0,0717	3122	0,0698	3119	0,0679	3117	0,0661	3116	0,0644	3113
370	0,0799	3152	0,0776	3150	0,0753	3148	0,0732	3146	0,0712	3144	0,0693	3142	0,0675	3140	0,0657	3138
380	0,0815	3176	0,0791	3174	0,0768	3172	0,0747	3170	0,0726	3168	0,0707	3166	0,0688	3164	0,0671	3162
390	0,0830	3199	0,0806	3197	0,0783	3195	0,0761	3193	0,0740	3193	0,0721	3190	0,0702	3188	0,0684	3186
400	0,0845	3222	0,0821	3221	0,0797	3219	0,0775	3217	0,0754	3216	0,0734	3214	0,0715	3212	0,0697	3210
410	0,0860	3245	0,0835	3244	0,0812	3242	0,0789	3240	0,0768	3239	0,0748	3237	0,0728	3235	0,0710	3234
420	0,0875	3268	0,0850	3267	0,0826	3265	0,0803	3264	0,0781	3262	0,0761	3261	0,0741	3259	0,0723	3257
430	0,0890	3291	0,0864	3290	0,0840	3288	0,0817	3287	0,0795	3285	0,0774	3284	0,0754	3282	0,0735	3281
440	0,0902	3314	0,0879	3313	0,0854	3311	0,0831	3310	0,0808	3309	0,0787	3307	0,0767	3306	0,0748	3304
450	0,0905	3337	0,0893	3336	0,0868	3334	0,0844	3333	0,0822	3332	0,0800	3330	0,0780	3329	0,0760	3327
460	0,0934	3360	0,0907	3359	0,0882	3357	0,0858	3356	0,0835	3355	0,0813	3353	0,0793	3352	0,0773	3351
470	0,0949	3383	0,0922	3381	0,0896	3380	0,0871	3379	0,0848	3378	0,0826	3376	0,0805	3375	0,0785	3374

t, °C	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	ν , м ³ /кг	i , $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
	Давление P, МПа															
	9,2		9,4		9,6		9,8		10,0		10,5		11,0		11,5	
400	0,0292	3116	0,0284	3111	0,0277	3107	0,0271	3103	0,0264	3099	0,0249	3088	0,0235	3076	0,0222	3065
410	0,0299	3145	0,0292	3141	0,0285	3137	0,0278	3133	0,0271	3129	0,0256	3119	0,0242	3108	0,0229	3098
420	0,0306	3173	0,0299	3169	0,0291	3166	0,0285	3162	0,0278	3158	0,0262	3149	0,0248	3139	0,0235	3129
430	0,0313	3201	0,0306	3197	0,0298	3194	0,0291	3190	0,0285	3187	0,0269	3178	0,0255	3169	0,0242	3160
440	0,0320	3228	0,0312	3225	0,0305	3221	0,0298	3218	0,0291	3215	0,0275	3206	0,0261	3198	0,0248	3189
450	0,0327	3255	0,0319	3252	0,0311	3249	0,0304	3245	0,0297	3242	0,0281	3234	0,0267	3226	0,0253	3218
460	0,0333	3281	0,0325	3278	0,0318	3275	0,0311	3272	0,0304	3269	0,0287	3262	0,0273	3254	0,0259	3246
470	0,0340	3307	0,0332	3305	0,0324	3302	0,0317	3299	0,0310	3296	0,0293	3289	0,0278	3282	0,0265	3274
480	0,0346	3333	0,0338	3330	0,0330	3328	0,0323	3325	0,0316	3322	0,0299	3316	0,0284	3309	0,0270	3302
490	0,0353	3359	0,0344	3356	0,0337	3354	0,0329	3351	0,0322	3348	0,0305	3342	0,0290	3335	0,0276	3327
500	0,0359	3384	0,0351	3382	0,0343	3379	0,0335	3377	0,0328	3374	0,0311	3368	0,0295	3362	0,0281	3355
510	0,0365	3409	0,0357	3407	0,0349	3405	0,0341	3402	0,0334	3400	0,0316	3394	0,0301	3388	0,0286	3382
520	0,0371	3434	0,0363	3432	0,0355	3430	0,0347	3427	0,0339	3425	0,0322	3419	0,0306	3414	0,0291	3408
530	0,0377	3459	0,0369	3457	0,0360	3455	0,0353	3453	0,0345	3450	0,0327	3445	0,0311	3439	0,0296	3434
540	0,0383	3484	0,0375	3482	0,0366	3480	0,0358	3478	0,0351	3475	0,0333	3470	0,0316	3465	0,0301	3460
550	0,0389	3509	0,0380	3507	0,0372	3504	0,0364	3502	0,0356	3500	0,0338	3495	0,0322	3490	0,0306	3485
560	0,0395	3533	0,0386	3531	0,0378	3529	0,0370	3527	0,0362	3525	0,0343	3520	0,0327	3516	0,0311	3511

Таблица П5

Теплосодержание питательной воды, кДж/кг

t, °C	Давление Р, МПа															
	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0
90	377,6	377,8	377,9	378,1	378,2	378,4	378,5	378,7								
100	419,7	419,8	420,0	420,1	420,3	420,4	420,6	420,7	420,9	421,1	421,2	421,4	421,5	421,7	421,8	422,0
110	461,9	462,0	462,2	462,3	462,5	462,6	462,8	462,9	463,1	463,2	463,4	463,5	463,6	463,8	463,9	464,1
120	504,3	504,4	504,5	504,7	504,8	505,0	505,1	505,2	505,4	505,5	505,7	505,8	505,9	506,1	506,2	506,4
130	546,8	546,9	547,1	547,2	547,3	547,5	547,6	547,7	547,9	548,0	548,1	548,3	548,4	548,5	548,7	548,8
140	589,5	589,7	589,8	589,9	590,0	590,2	590,3	590,4	590,6	590,7	590,8	591,0	591,1	591,2	591,3	591,5
150	632,5	632,6	632,8	632,9	633,0	633,1	633,2	633,4	633,5	633,6	633,7	633,9	634,0	634,1	634,2	634,4
160	675,8	675,9	676,0	676,1	676,2	676,3	676,5	676,6	676,7	676,8	676,9	677,0	677,2	677,3	677,4	677,5
170	719,3	719,4	719,5	719,6	719,7	719,9	720,0	720,1	720,2	720,3	720,4	720,5	720,6	720,7	720,8	721,0
180		763,3	763,4	763,5	763,6	763,7	763,8	763,9	764,0	764,1	764,2	764,3	764,4	764,5	764,6	764,7
190			807,7	807,8	807,9	807,9	808,0	808,1	808,2	808,3	808,4	808,5	808,6	808,7	808,8	808,9
200				852,5	852,5	852,6	852,7	852,8	852,9	852,9	853,0	853,1	853,2	853,3	853,4	853,4
210						897,8	897,8	897,9	898,0	898,1	898,1	898,2	898,3	898,3	898,4	898,5
220								943,6	943,7	943,7	943,8	943,9	943,9	944,0	944,0	944,1
230										990,1	990,1	990,2	990,2	990,3	990,3	990,3
240														1037,0	1037,0	1037,0

t, °C	Давление P, МПа															
	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0
100	422,1	422,3	422,4	422,6	422,7	422,9	423,0	423,2								
110	464,2	464,4	464,5	464,7	464,8	465,0	465,1	465,3								
120	506,5	506,7	506,8	506,9	507,1	507,2	507,4	507,5								
130	549,0	549,1	549,2	549,4	549,5	549,6	549,8	549,9								
140	591,6	591,7	591,9	592,0	592,1	592,3	592,4	592,5								
150	634,5	634,6	634,7	634,9	635,0	635,1	635,2	635,4								
160	677,6	677,7	677,9	678,0	678,1	678,2	678,3	678,5								
170	721,1	721,2	721,3	721,4	721,5	721,6	721,7	721,8	724,0	724,3	724,6	724,9	725,1	725,4	725,7	726,0
180	764,8	764,9	765,0	765,1	765,2	765,3	765,4	765,5	767,6	767,8	768,1	768,4	768,6	768,9	769,2	769,4
190	809,0	809,1	809,1	809,2	809,3	809,4	809,5	809,6	811,5	811,7	812,0	812,2	812,4	812,7	812,9	813,2
200	853,5	853,6	853,7	853,8	853,8	853,9	854,0	854,1	855,8	856,0	856,2	856,4	856,6	856,8	857,1	857,3
210	898,5	898,6	898,7	898,8	898,8	898,9	899,0	899,0	900,5	900,7	900,9	901,1	901,2	901,4	901,6	901,8
220	944,1	944,2	944,2	944,3	944,4	944,4	944,5	944,5	945,7	945,9	946,0	946,2	946,4	946,5	946,7	946,8
230	990,4	990,4	990,5	990,5	990,5	990,6	990,6	990,7	991,5	991,7	991,8	991,9	992,0	992,2	992,3	992,4
240	1037	1037	1037	1037	1037	1037	1038	1038	1038	1038	1038	1038	1038	1038	1039	1039
250	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1085	1086	1086	1086
260				1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1134	1133
270									1183	1183	1183	1183	1183	1183	1183	1182
280									1234	1234	1234	1234	1233	1233	1233	1233
290									1287	1287	1287	1286	1286	1286	1285	1285
300									1343	1342	1342	1341	1341	1340	1340	1339
310											1400	1399	1399	1398	1397	1396
320														1460	1458	1457

Теплосодержание воды и пара на линии насыщения

Р, МПа	t _н , °С	i' (i _{кип}), кДж кг	i'' (i _{нп}), кДж кг	Р, МПа	t _н , °С	i' (i _{кип}), кДж кг	i'' (i _{нп}), кДж кг	Р, МПа	t _н , °С	i' (i _{кип}), кДж кг	i'' (i _{нп}), кДж кг
1,0	179,9	763	2778	4,4	256,1	1115	2799	10,7	316,1	1437	2711
1,1	184,1	781	2782	4,5	257,5	1122	2798	10,8	316,8	1442	2710
1,2	188,0	799	2785	4,6	258,8	1129	2798	10,9	317,5	1446	2708
1,3	191,6	815	2788	4,7	260,1	1135	2797	11,0	318,1	1450	2706
1,4	195,1	830	2790	4,8	261,5	1142	2796	11,1	318,8	1454	2704
1,5	198,3	845	2792	4,9	262,7	1148	2795	11,2	319,5	1458	2702
1,6	201,4	859	2794	5,0	264,0	1154	2794	11,3	320,2	1463	2700
1,7	204,3	872	2796	5,1	265,2	1160	2793	11,4	320,8	1467	2698
1,8	207,1	885	2797	5,2	266,5	1167	2793	11,5	321,5	1471	2695
1,9	209,8	897	2798	5,3	267,7	1173	2792	11,6	322,2	1475	2693
2,0	212,4	909	2800	5,4	268,8	1179	2791	11,7	322,8	1479	2691
2,1	214,9	920	2800	5,5	270,0	1185	2790	11,8	323,5	1483	2689
2,2	217,3	931	2801	5,6	271,2	1190	2789	11,9	324,1	1487	2687
2,3	219,6	942	2802	5,7	272,3	1196	2788	12,0	324,7	1491	2685
2,4	221,8	952	2803	5,8	273,4	1202	2787	12,1	325,4	1495	2683
2,5	224,0	962	2803	5,9	274,5	1208	2785	12,2	326,0	1499	2680
2,6	226,1	972	2803	6,0	275,6	1213	2784	12,3	326,6	1503	2676
2,7	228,1	981	2804	9,0	303,4	1363	2742	12,4	327,3	1507	2674
2,8	230,1	991	2804	9,1	304,2	1368	2740	12,5	327,9	1511	2671
2,9	232,0	1000	2804	9,2	305,0	1372	2739	12,6	328,5	1515	2669
3,0	233,9	1008	2804	9,3	305,8	1377	2737	12,7	329,1	1519	2667
3,1	235,7	1017	2804	9,4	306,5	1381	2735	12,8	329,7	1523	2665
3,2	237,5	1025	2804	9,5	307,3	1386	2734	12,9	330,3	1527	2662
3,3	239,2	1034	2804	9,6	308,1	1390	2732	13,0	330,9	1531	2660
3,4	240,9	1042	2804	9,7	308,8	1394	2730	13,1	331,5	1535	2657
3,5	242,6	1050	2803	9,8	309,6	1399	2728	13,2	332,1	1539	2655
3,6	244,2	1058	2803	9,9	310,3	1403	2726	13,3	332,7	1543	2653
3,7	245,8	1065	2803	10,0	311,1	1408	2725	13,4	333,3	1547	2650
3,8	247,4	1073	2802	10,1	311,8	1412	2723	13,5	333,9	1551	2648
3,9	248,9	1080	2802	10,2	312,5	1416	2721	13,6	334,5	1555	2645
4,0	250,4	1087	2801	10,3	313,2	1420	2719	13,7	335,0	1559	2643
4,1	251,9	1094	2801	10,4	314,0	1425	2717	13,8	335,6	1563	2641
4,2	253,3	1101	2800	10,5	314,7	1429	2715	13,9	336,2	1567	2640
4,3	254,7	1108	2800	10,6	315,4	1433	2713	14,0	336,7	1571	2638

Сергей Николаевич Смородин
Владимир Николаевич Белоусов
Сергей Васильевич Антуфьев

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ И ПАРОГЕНЕРАТОРЫ

Методические указания к выполнению контрольных работ
для студентов III курса заочной формы обучения

Редактор и корректор Н.П.Новикова
Техн. редактор Л.Я.Титова

Темплан 2015 г., поз.50

Подп. к печати 15.09.2015. Формат 60х84/16. Бумага тип. №1.
Печать офсетная. Печ.л. 2,0 . Уч.-изд. л. 2,0.
Тираж 100 экз. Изд. № 50 . Цена “С”. Заказ

Ризограф Санкт-Петербургского государственного технологического университета
растительных полимеров, 198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.